

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чернігівський національний технологічний університет
Кафедра технологій зварювання та будівництва

СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ЗВАРЮВАННЯ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів за
напрямом підготовки 6.050504 «Зварювання»

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри технологій
зварювання та будівництва
протокол № 11 від 22.05.2014 року

Чернігів ЧНТУ 2014

Спеціальні методи зварювання. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів за напрямом підготовки 6.050504 «Зварювання» / Укл: Ганєєв Т.Р., Болотов М.Г. – Чернігів: ЧНТУ, 2014. - 29с.

Укладачі: Ганєєв Тімур Рашитович, кандидат технічних наук, доцент
Болотов Максим Геннадійович, кандидат технічних наук,
доцент

Відповідальний за випуск: Харченко Геннадій Костянтинович, завідувач кафедри технологій зварювання та будівництва, доктор технічних наук, професор

Рецензент: Новомлинець Олег Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва Чернігівського національного технологічного університету

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Лабораторна робота №1. Одержання і вимірювання вакууму.....	5
2 Лабораторна робота №2. Визначення продуктивності вакуумних насосів методом постійного об'єму.....	9
3 Лабораторна робота №3. Вивчення технології дифузійного зварювання неметалічних матеріалів.....	13
4 Лабораторна робота №4 Вивчення технології дифузійного зварювання металічних матеріалів.....	16
5 Лабораторна робота №5. Дослідження процесу мікрозварювання розщепленим електродом комутаційних з'єднань в вузлах радіоелектронних приладів.....	21
6 Лабораторна робота №6. Мікрозварювання комутаційних з'єднань термоолівцем.....	26
Рекомендована література.....	29

ВСТУП

Мета методичних вказівок – допомогти студентам доповнити теоретичні знання практичними дослідженнями з питань зварювання різнорідних матеріалів. Кожна робота має ряд дослідів, які стосуються теоретичних питань, пов'язаних з методикою виконання лабораторної роботи. Майже в кожній роботі представлений розрахунковий матеріал, який повинен супроводжувати послідовний експериментальний. В більшості робіт має місце таблична форма представлення результатів дослідів, яка дозволяє їх розгляд в порівняльній формі. Там, де це потрібно, студентам рекомендується наводити графіки залежностей, які дозволяють більш наочно показати результати досліджень. Кожна робота закінчується переліком контрольних запитань і додатком з питань техніки безпеки.

Представлений цикл робіт охоплює питання з теоретичних основ зварювання і технології зварювання електрохімічних та конструкційних з'єднань.

Лабораторні роботи розраховані на бригадний принцип виконання, що в кінцевому результаті дасть більш ефективно їх сприйняття і вивчення.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ОДЕРЖАННЯ І ВИМІРЮВАННЯ ВАКУУМУ

Мета роботи - ознайомитись з сучасним обладнанням та приборами одержання і вимірювання вакууму.

1.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

За молекулярне кінетичною теорією газоподібний стан речовини відрізняється від рідкого і твердого станів тим, що молекули газів знаходяться на значних відстанях одна від одної і тому практично не зв'язані між собою. Взаємодія між молекулами газоподібної речовини зводиться до миттєвих зіткнень, обумовлених станом неперервного хаотичного руху. Стикаючись з стінками посудини, яка обмежує речовину, молекули створюють на стінки посудини тиск, величину якого можна обчислити за формулою:

$$P = \frac{2}{3} n W_k, \quad (1.1)$$

де n – концентрація молекул, м^{-3} ;

W_k – середньокінетична енергія хаотичного руху, Дж.

Для позначення величини тиску використовують різні одиниці:

1 атмосфера фізична (атм) = 760 мм. рт. ст. = $1.013 \cdot 10^5$ Па ;

1 бар = 10^5 Па; 1 кгс/м² = 9.8 Па ; 1 мм. рт. ст. = 133.3 Па ;

1 тор = 1 мм. рт. ст. ; 1 атмосфера технічна = $9.8 \cdot 10^4$ Па \approx 1 бар.

Газоподібний стан речовини прийнято поділяти на газ і пар. В основу цього поділу покладено поняття про критичну температуру речовини. Газоподібну речовину, яка в природних умовах перебуває при температурах, вищих за критичну температуру цієї речовини, називають газом, і навпаки, якщо газоподібна речовина має температуру нижчу за критичну, її називають парою.

В сучасній науці розрізняють фізичні і технічні поняття вакууму. Технічним вакуумом називають стан газу чи пару при тисках, нижчих за атмосферні. При зміні тиску газу змінюється середня довжина вільного пробігу його молекул. В досить широкому інтервалі (від 1 до 10^{-7} мм. рт. ст.) між тиском газу (P) і середньою довжиною вільного пробігу (λ) його молекул існує зв'язок:

$$P\lambda = \text{const.} \quad (1.2)$$

Для повітря $P\lambda = 5 \cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст.

Порівнюючи середню довжину вільного пробігу молекул (λ) з лінійними розмірами посудини (ℓ), в якій утворено вакуум, вводять поняття при низькій, середній, високій і надвисокий вакуум (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1-Характеристики вакууму

Співвідношення між λ і ℓ	Вакуум	Співвідношення між λ і ℓ	Вакуум
$\lambda \ll \ell$	Низький	$\lambda > \ell$	Високий
$\lambda < \ell$	Середній	$\lambda \gg \ell$	Надвисокий

Залежно від ступеня розрідження газу буває суттєво різний характер перебігу тих чи інших фізичних процесів у газі. Наприклад: при відкачуванні повітря з під ковпака вакуумної установки з часом змінюється характер течії газового потоку у з'єднувальних трубках вакуумної системи. Із зниженням тиску турбулентна течія газу змінюється ламінарною, шаристою – цей режим називають в'язкісною течєю. При досягненні високого вакууму в системі виникає молекулярна течія – переміщення газових молекул вздовж з'єднувальних трубок відбувається з середньою швидкістю хаотичного руху шляхом багаторазових зіткнень молекул з стінками вакуумної системи.

Швидкість дифузії молекули газу також залежить від тиску: при зниженні тиску газу зростає довжина вільного пробігу молекули, а разом з цим зростає і швидкість дифузії. При високому вакуумі, коли довжина вільного пробігу молекули газу перевищує лінійні розміри посудини, в якій утворено вакуум, зіткнення між молекулами практично не відбуваються, швидкість дифузії вже не залежить від тиску і визначається лише тепловим рухом молекул газу. У таблиці 1.2 показано деякі характеристики різних ступенів вакууму.

Таблиця 1.2-Характеристики різних ступенів вакууму

Характеристика	Ступінь вакууму			
	Низький	Середній	Високий	Надвисокий
Діапазон тисків, мм. рт. ст.	760-1	$1 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^{-7}$	$< 10^{-8}$
Режим течії	В'язкісний	Перехідний	Молекулярний	
Явища переносу	Від тиску не залежить	Від тиску залежить пропорційно	Пропорційний тиску	
Концентрація молекул газу, см^{-3}	$10^{19} - 10^{16}$	$10^{16} - 10^{13}$	$10^{13} - 10^{10}$	10^{10}
Середня довжина вільного пробігу молекул (повітря)	0,06 – 47 мкм	0,047 - 47 мм	47 мм - 0,5км	4,7 км

В сучасній вакуумній техніці використовуються дуже широкі діапазони тисків (від 10^{-1} до 10^{-11} мм. рт. ст.). Для створення потрібного розрідження

застосовуються різноманітні методи відкачування газів. Низький і середній вакуум отримують за допомогою форвакуумних насосів. Для утворення високого вакууму призначенні дифузійні пароструменеві насоси. Надвисокого вакууму досягають за допомогою спеціальних електророзрядних та іонно-сорбційних (гетеро-іонних) насосів.

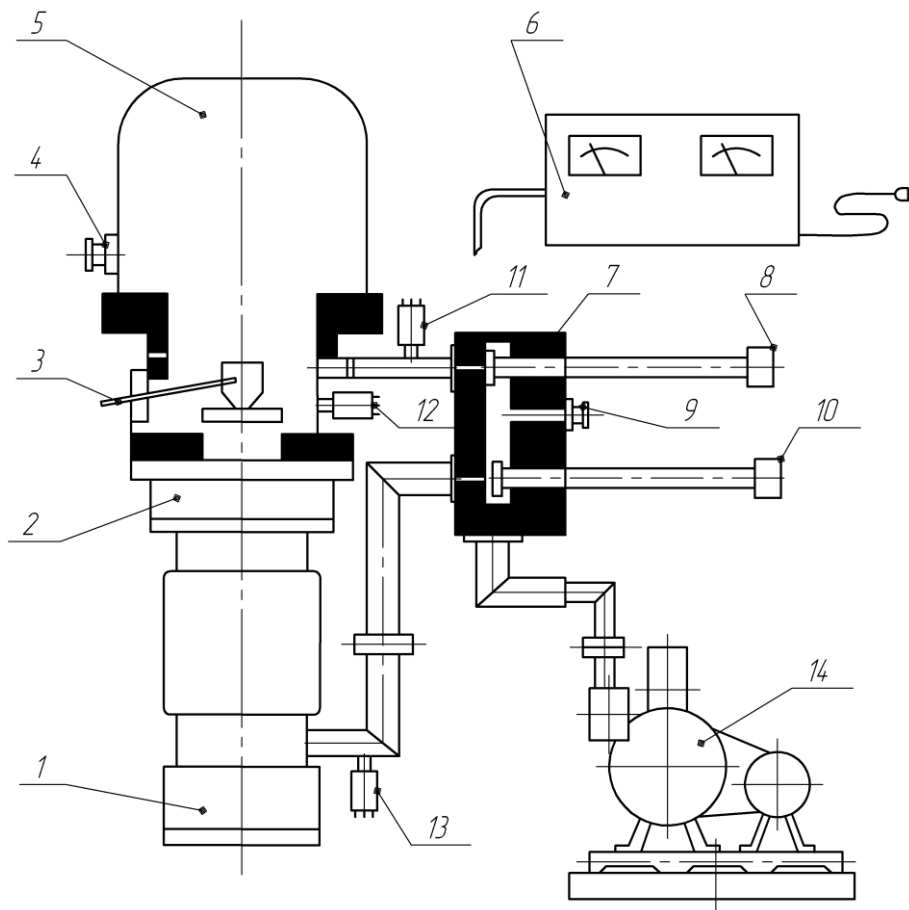
1.2 ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

Вакуумна установка типу УВН-2М-1, відкачувальні насоси, вакуумметр, датчики тиску (лампи).

1.3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1.3.1 Ознайомитись з питаннями техніки безпеки.

1.3.2 Вивчити схему відкачувальної системи відповідно до рисунка 1.1.



1 – електрична плітка; 2 – дифузійний насос Н-2Т; 3 – високовакуумний затвор; 4 – натікач; 5 – ковпак; 6 – вакуумметр ВИТ; 7 – клапанна коробка; 8 – рукоятка ковпака; 9 – електротехнічний клапан натікача; 10 – рукоятка дифузійного насоса; 11 – термопарна лампа ПМТ-4М ковпака; 12 – іонізаційна лампа ПМІ-2; 13 – термопарна лампа ПМТ-4М дифузійного насоса; 14 – форвакуумний насос НВР-5Д

Рисунок 1.1 – Схема відкачувальної системи вакуумної установки

1.4 ЗМІСТ ЗВІТУ

- 1.4.1 Назва роботи й мета.
- 1.4.2 Короткі теоретичні відомості.
- 1.4.3 Порядок виконання роботи.
- 1.4.4 Результати дослідів.
- 1.4.5 Аналіз отриманих результатів та висновки.

1.5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1.5.1 Що таке технічний вакуум?
- 1.5.2 Що називають в'язкісною течєю?
- 1.5.3 В яких одиницях вимірюють вакуум?
- 1.5.4 Методи відкачування газів.
- 1.5.5 Характеристика різних ступенів вакууму.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВАКУУМНИХ НАСОСІВ МЕТОДОМ ПОСТІЙНОГО ОБ'ЄМУ

Мета роботи – дослідити продуктивність форвакуумних насосів методом постійного об'єму і тривалості відкачування .

2.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Метод постійного об'єму можна використовувати для визначення продуктивності і швидкості дії вакуумних насосів. Відповідно до закону Бойля-Маріотта зменшення кількості газу при постійному об'ємі і температурі супроводжується зменшенням тиску. Таким чином, в вакуумній системі створюється вакуум. Зменшення тиску в вакуумній системі не є рівномірним, в відкачуваному об'ємі тиск (P_1) завжди вище, аніж тиск (P_2) на вході в насос, тобто виникає різниця тисків на кінцях трубопроводу, який з'єднує об'єм, що відкачується, і насос. Різниця ($P_1 - P_2$) називається рухомою різницею тисків.

Процес відкачування газів із будь-якого об'єму характеризується наступними параметрами: швидкістю відкачування, швидкістю дії насосу, потоком газу, опором трубопроводу потоку газів.

Поняття швидкості відкачування об'єкта (S_o) і швидкість дії насосу (S_n) виникає у зв'язку з нерівномірністю зниження тиску в об'ємі, що відкачується, і на вході насосу.

Швидкістю відкачування об'єкта (S_o) називається об'єм газу, що надходить з об'єкта, що відкачується, в трубопровід за одиницю часу при тиску P_1 в об'єкті, що відкачується.

Швидкістю дії вакуумного насосу (S_n) називається об'єм газу, що надходить за одиницю часу із трубопроводу в насос при тиску P_2 на вході в насос.

Кількість газу, що проходить через поперечний переріз трубопроводу за одиницю часу, називається потоком газу (Q).

Потік газу в будь-якому перерізі постійний і дорівнює добутку тиску газу в цьому перерізі (P_i) на швидкість відкачування (S_i) в даному перерізі, тобто

$$Q = P_i S_i = \text{const} . \quad (2.1)$$

Потоку газу, який приходить з об'єкту, що відкачується, у насос, всі елементи вакуумної системи чинять опір, завдяки якому виникає різниця тисків ($P_1 - P_2$). Опір трубопроводу визначається співвідношенням :

$$Q = U(P_1 - P_2) , \quad (2.2)$$

де U – сумарна пропускна спроможність.

звідки

$$U = \frac{Q}{P_1 - P_2} \quad (2.3)$$

Для реальної вакуумної системи відкачування об'єкту частіше користуються ефективною швидкістю відкачування (S_e). Це означає, що ефективна швидкість S_e є тією швидкістю з якою насос, володіючи швидкістю дії S_n , відкачує даний об'єм через всі елементи вакуумної системи з сумарною пропускною спроможністю U .

$$S_e = \frac{U}{1 + U/S_n}. \quad (2.4)$$

Із рівняння (2.4) витікає, що режим відкачування вакуумної системи в значній мірі залежить від пропускної спроможності трубопроводів U і тому необхідно достатньо точно встановити величину провідності для різних режимів течії газів по трубопроводу.

В умовах молекулярної течії газу

$$U = 12.1 \frac{d^3}{L}, \quad (2.5)$$

де d – діаметр трубопроводу;

L – довжина трубопроводу.

По експериментальній кривій відкачування визначають в кожний момент часу t_i значення P_i і по $\ln(\varphi)$ – значення $\frac{dP_i}{dt_i}$.

Швидкість відкачування насоса можна обчислити:

$$S_{n_i} = \frac{Q_i}{P_i}. \quad (2.6)$$

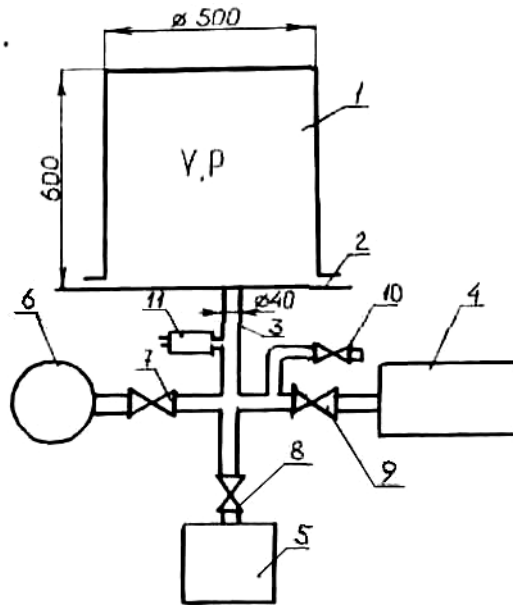
2.2 ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

Установка вакуумна типу УВН-2М-1, насоси 2НВР-5-ОН, ВН-468 і ДВИ-50, секундомір, вакуумметр ВИТ.

2.3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.3.1 Ознайомитись з питаннями техніки безпеки.

2.3.2 Вивчити вакуумну систему відповідно до рисунку (2.1).



1 – ковпак; 2 – плита; 3 – трубопровід; 4 – форвакуумний насос 2НВР-5ДН; 5 – форвакуумний насос ВН-468; 6 – форвакуумний насос ДВИ-50; 7,8,9,10 – клапани; 11 – термопарна лампа ПМТ-4М

Рисунок 2.1 – Схема вакуумної системи

2.3.3 Ознайомитись з роботою вакуумметра ВИТ.

2.3.4 Перед проведенням дослідів упевнитись, що система заповнена повітрям. Для цього відкрити клапан 10.

2.3.5 Провести дослід №1. «Відкачування ємності паромасляного насосу».

2.3.5.1 Увімкнувши вакуумметр ВИТ для вимірювання тиску лампою ПМТ-2М.

2.3.5.2 Встановити значення струму розжарення нагрівача лампи ПМТ-2М відповідно до паспортних даних на лампу попередньо поставивши перемикач вакуумметра в положення "струм розжарення". Перемкнути прилад для вимірювання термоелектрорушійної сили.

2.3.5.3 Увімкнути форвакуумний насос НВР і одночасно включити секундомір. Через кожних 10-20 с знімати значення термо-е.р.с. в мілівольтах. Знімання значень термо-е.р.с. закінчити при 2 мВ.

2.3.6 Провести дослід №2. «Відкачування ємності ковпака».

Провести послідовно відкачування іншими насосами. За здобутими значеннями термо-е.р.с. визначити тиск в ковпаку в певні моменти часу, використавши для цього градирувальну криву. Результати вимірювання занести до таблиці 2.1

Таблиця 2.1-Результати дослідів 2НВР-5ДН

№ п-п	Час, с	Термо-е.р.с., мВ	Тиск, мм рт.ст.
		2ПВР-5ДП	

За даними таблиці 2.1 побудувати криву відкачування в вигляді графіку $P=f(\tau)$ рисунок 2.2 в напівлогаритмічних координатах, за яким визначити швидкість відкачування методом дотичних (формула 2.7,2.8).

$$S_H = 2.3 \cdot V \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.7)$$

де $\operatorname{tg} \alpha$ – тангенс кута нахилу графіка функції $P=f(\tau)$;

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d \lg P}{d \phi},$$

де V – заданий об'єм системи, а також швидкість відкачування (цю величину ще називають продуктивністю насоса) можна обчислити теоретично за вимірюванням з експерименту величини.

2.4 ЗМІСТ ЗВІТУ

- 2.4.1 Назва роботи і її мета.
- 2.4.2 Короткі теоретичні відомості.
- 2.4.3 Порядок виконання роботи.
- 2.4.4 Результати дослідів.
- 2.4.5 Аналіз отриманих результатів та висновки.

2.5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 2.5.1 Що таке вакуум?
- 2.5.2 Де використовується вакуум?
- 2.5.3 Якими одиницями вимірюються вакуум?
- 2.5.4 Ступені вакуумування.
- 2.5.5 Характеристика різних ступенів вакууму.
- 2.5.6 Як залежить швидкість відкачування від об'єму об'єктів?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДИФУЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ НЕМЕТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

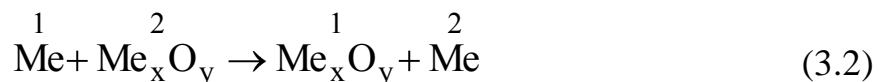
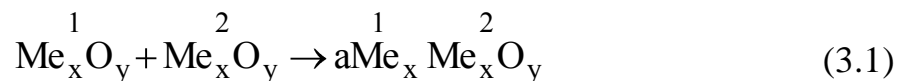
Мета роботи - вивчення процесу дифузійного зварювання в твердій фазі скла з коваром.

3.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Вивчення явищ, які виникають в зоні з'єднання металів з склом показало, що в основі взаємодії лежить теорія топохімічних реакцій, що протікають на активних центрах. Процес взаємодії включає три етапи. На першому етапі відбувається зближення з'єднувальних поверхонь за рахунок тиску, що прикладається, з утворенням фізичних сил взаємодії, обумовлених силами Ван-дер-Ваальса, тобто утворення фізичного контакту.

На другому етапі відбувається активація поверхонь, наслідком якої є утворення активних центрів і перехід атомів (іонів) із стану фізичної адсорбції в стан хімічної адсорбції. З утворенням активних центрів починається заключний етап взаємодії, в результаті якого розвиваються процеси дифузії, котрі в свою чергу надають розвитку з'єднання об'ємний характер. Топохімічна реакція на заключній стадії проходить не тільки по фронту взаємодії, але й по тілу зерна. При цьому дифузійні процеси є головними, оскільки забезпечують тільки перенос речовини через продукти взаємодії в зоні реакції.

При з'єднанні металу зі склом потрібно враховувати вид топохімічної реакції. В умовах дифузійного зварювання найбільш вірогідними можуть бути дві топохімічні реакції: приєднання і заміщення:



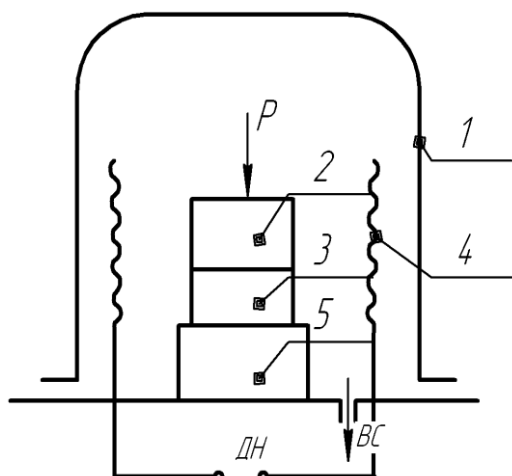
Для того, щоб могла протікати сильна хімічна взаємодія, потрібно, щоб комплекси Me_xO_y отримали відповідну енергію активації. При цьому буде мати місце перерозподілу валентних зв'язків зі створенням нових стійких електронних конфігурацій, що відповідають утворенню нового комплексу. Енергія активації може бути отримана за рахунок теплової, механічної, хімічної дії і т.д..

Схема процесу дифузійного зварювання показана на рисунку 3.1.

Температуру зварювання можна розрахувати відповідно до формули:

$$T_{зв} = 0,8 \cdot T_p \quad (3.3)$$

де T_p – температура розм'якшення скла.



1 – ковпак; 2 – зразок зі скла С52-1; 3 – зразок з ковару; 4 – нагрівач; 5 – стіл; ДН – джерело нагріву; P – зусилля тиску; ВС – вакуумна система.

Рисунок 3.1 – Схема зварювання скла з коваром в твердій фазі

3.2 ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

Промислова установка для дифузійного зварювання, пінцет, секундомір, зразки з сплаву 29НК (ковар), зразки з скла С52-1, ацетон, бязь.

3.3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.3.1 Ознайомитись з інструкцією по ТБ.

3.3.2 Ознайомитись з зварювальною установкою.

3.3.3 Ввімкнути установку і підготувати її до роботи (дивись інструкцію).

3.3.4 Встановити на робочий стіл зразки з ковару і скла Використовуючи систему стиснення, стиснути їх питомим зусиллям 5 МПа (таблиця 3.1).

3.3.5 Приєднати термопару.

3.3.6 Встановити і закріпити нагрівачі.

3.3.7 Встановити і закріпити захисні екрани.

3.3.8 Закрити ковпак.

3.3.9 Відкачати робочу камера до тиску 0.0133 Па ($1 \cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст.) (дивись інструкцію).

3.3.10 Ввімкнути нагрівачі і нагріти зразки до температури 590°C. Витримати зразки при цій температурі 20 хвилин.

3.3.11 Відключити нагрівачі і дати зразкам охолонути до кімнатної температури, після чого заповнити ковпак установки повітрям виконавши попередньо всі необхідні операції (дивись інструкцію).

3.3.12 Підняти ковпак.

3.3.13 Виключити систему стиснення і вийняти вузол.

Таблиця 3.1- Режим зварювання

З'єднана пара	$T_{зв}$, °C	$P_{зв}$, МПа	Вакуум, Па	Час, хв.
C52-1+Ковар	590	5	0.0133	20

Провести контроль вузла випробуванням на згин.

3.4 ЗМІСТ ЗВІТУ

- 3.4.1 Назва роботи й мета.
- 3.4.2 Короткі теоретичні відомості.
- 3.4.3 Порядок виконання роботи.
- 3.4.4 Результати дослідів.
- 3.4.5 Аналіз отриманих результатів та висновки.

3.5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 3.5.1 Назвати стадії зварювання ковару з склом
- 3.5.2 Що покладено за основу процесу зварювання?
- 3.5.3 Які реакції мають місце при зварюванні?
- 3.5.4 Які якості повинні мати зварювальні поверхні матеріалів.
- 3.5.5 Яка роль тиску при зварюванні?
- 3.5.6 Яка роль температури при зварюванні?
- 3.5.7 Роль розрідження в камері при зварюванні?

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДИФУЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи – ознайомлення з основними положеннями технології дифузійного зварювання та технічними вимогами до виробів електронної техніки.

4.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Дифузійне зварювання в електронній промисловості набуло найбільшого поширення, тому в цій галузі накопичено найбільшу кількість прикладів промислового його застосування. Дана лабораторна робота створена на базі галузевого стандарту.

Цей стандарт поширюється на технологічний процес дифузійного зварювання металевих деталей та складальних одиниць у вакуумі і не поширюється на дифузійне зварювання керамічних, скляних, ситалових, феритових напівпровідникових матеріалів.

Зварні з'єднання в залежності від вимог, що до них пред'являються, та умов експлуатації поділяються на дві категорії:

- зварні з'єднання I категорії повинні забезпечувати вакуумну щільність виробів відповідно до технічних вимог на стадіях його виготовлення, експлуатації та зберігання;
- зварні з'єднання II категорії повинні задовольняти технічним вимогам механічної міцності за відсутності вимог до вакуумної щільності.

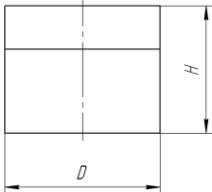
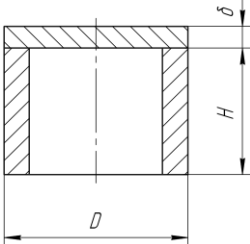
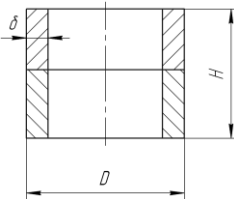
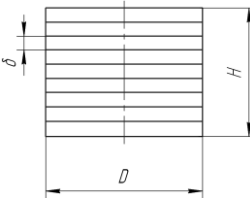
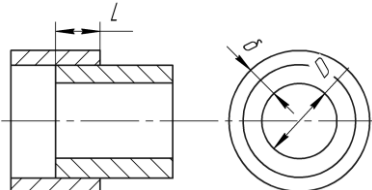
Вимоги до зварного з'єднання:

- розміри та якість зварного з'єднання повинні відповідати вимогам креслення і технологічного процесу;
- зварне з'єднання не повинно мати зовнішніх дефектів, тріщин, розшарувань;
- механічна міцність зварних з'єднань I та II категорій не повинна бути гірше нижньої границі, вказаної у технічних вимогах і повинна складати не менше 0,8 границі міцності найменш міцного із матеріалів, що зварюються;
- зварні з'єднання I категорії повинні бути вакуумно-міцними при перевірці мас-спектрометричним гелієвим течешукачем з чутливістю вимірювання течі не нижче $1,33 \cdot 10^{-8}$ Па/с.

Вакуумна щільність і міцність з'єднань повинна зберігатись: в процесі наступних технологічних операцій; в умовах тривалого знегажування у вакуумі або захисному газовому середовищі при температурах, які не перевищують $0,6 T_{пл}$ найбільш легкоплавкого матеріалу з тих, що використовуються в з'єднанні;

в процесі експлуатації згідно технічним вимогам на виріб; при тривалому зберіганні згідно загальних та індивідуальних технічних вимог на виріб; в процесі та після дії на виріб механічних та кліматичних факторів, які передбачені індивідуальними технічними вимогами на виріб.

Таблиця 4.1-Основні типи та конструктивні елементи зварних з'єднань

Тип з'єднання	Конструктивні елементи	Рекомендовані співвідношення	Рекомендовані розміри для установки
Стикове		$\frac{H}{D} \leq 6$	H ≤ 150 мм; D = 80 мм.
Кутове		–	H = 100 мм; D = 80 мм; δ ≥ 0,8 мм.
Стикове		$\frac{\delta}{D} < 0,2$ $\frac{H}{D} \leq 6$	H = 150 мм; D = 80 мм; δ ≥ 0,8 мм.
Багатошарове		$\frac{\delta}{D} < 0,2$ $\frac{H}{D} \leq 6$	H = 100 мм; D = 60 мм; δ ≥ 0,005 мм.
Напусткове		$\frac{L}{D} < 5$	H = 60 мм; D = 80 мм; δ = 0,8 мм.

Вимоги до виробів, що зварюються:

- елементи зварних з'єднань виробів І категорії повинні конструюватися з врахуванням того, щоб волокна метала, які визначаються текстурою деформації, не виходили за границі вакуумної порожнини, а починалися в вакуумній порожнині або вакуумних з'єднаннях;
- основні типи та конструктивні елементи зварних з'єднань, які використовуються в приладах, повинні відповідати таблиці 4.1;

- поверхні виробів, що зварюються, повинні бути оброблені не нижче Ra=1,25 мкм по ГОСТ 2789-73. Не дозволяється обробка поверхонь, що зварюються, абразивним інструментом (шліфувальною шкуркою, шліфувальними кругами і т.д.);
- вироби, що поступають на збирання після очищення, не повинні мати жирових та оксидних плівок, залишків солей, відбитків пальців та інших забруднень;
- строки, правила зберігання та транспортування виробів, що підготовлені до зварювання, повинні відповідати вимогам креслення.

Якість зварних з'єднань повинна відповідати вимогам креслення, технічним вимогам на виріб.

Контроль зварних з'єднань в залежності від конкретних вимог може здійснюватись наступними методами:

- зовнішнім оглядом та вимірюванням;
- перевіркою на вакуумну щільність;
- ультразвуковим та рентгенівськими методами;
- випробуванням на механічну міцність;
- випробуванням на працездатність.

Зварне з'єднання може бути додатково піддано іншим методам контролю і випробуванням згідно технічних вимог на виріб.

Контроль якості зовнішнім оглядом проводиться для виявлення зовнішніх дефектів, тріщин, здуттів, розшарувань та визначення чистоти поверхні деталей неозброєним оком або за допомогою оптичних засобів (лупи, бінокулярних мікроскопів і т.д.). Візуальному контролю підлягають 100% зварних з'єднань.

Контроль точності розмірів геометричної форми і взаємного розташування елементів, що з'єднуються, слід виконувати спеціальними шаблонами або вимірювальним інструментом, що забезпечує точність вимірювань не гірше $\pm 0,01$ мм. Контролю підлягають 100% зварних з'єднань.

Контроль якості зварних з'єднань з метою виявлення скритих дефектів необхідно проводити методами ультразвукової і рентгенотелевізійної дефектоскопії з використанням ультразвукових дефектоскопів типу ДУК-88, ДУК-66П, Уд-10УА, а також рентгенотелевізійних установок РУП-60, РУП 200-20-5, РУП-150-10 та ін. Контролю підлягають 10-15% зварних з'єднань від партії.

Контроль зварного з'єднання на вакуумну щільність виконується мас-спектрометричним гелієвим течешукачем типу ПТИ-7, ПТИ-8, СТИ-11.

Випробування зварного з'єднання на механічну міцність проводять на розривних машинах РМ-5, РМ-50, РМ-500 або інших типів, що забезпечують точність визначення розривного зусилля не гірше, ніж РМ-5.

Випробування на механічну міцність проводиться також при відпрацюванні режиму зварювання.

Для найбільш відповідальних одиниць випробування на механічну міцність піддаються зварні з'єднання або випробувальні зразки. Випробуванню підлягає 10-15% зварних з'єднань від партії.

Зварні з'єднання з різнорідних металів і сплавів, коефіцієнти термічного розширення яких відрізняються більш ніж на $2 \cdot 10^{-8}$ град⁻¹, перевіряють на працездатність або термостійкість вибірково випробуванням їх в робочих умовах чи в умовах, що їх імітують, з врахуванням усіх наступних після зварювання термічних впливів на деталь.

4.2 ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

Промислова установка для дифузійного зварювання, пінцет, секундомір, зразки з міді МБ, зразки із сталі Ст3, ацетон, бязь.

4.3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.3.1 Ознайомитись з питаннями техніки безпеки

4.3.2 Ознайомитись зі зварювальною установкою.

4.3.3 Ввімкнути установку і підготувати її до роботи (дивись інструкцію).

4.3.4 Встановити на робочий стіл зразки з міді і сталі. Використовуючи систему стиснення, стиснути їх питомим зусиллям (таблиця 4.2).

4.3.5 Приєднати термопару.

4.3.6 Встановити і закріпити нагрівачі.

4.3.7 Встановити і закріпити захисні екрани.

4.3.8 Закрити ковпак.

4.3.9 Відкачати робочу камера до тиску 0.0133 Па ($1 \cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст.) (дивись інструкцію).

4.3.10 Ввімкнути нагрівачі і нагріти зразки до температури зварювання. Витримати зразки при цій температурі 15 хвилин.

4.3.11 Відключити нагрівачі і дати зразкам охолонути до кімнатної температури, після чого заповнити ковпак установки повітрям виконавши попередньо всі необхідні операції (дивись інструкцію).

4.3.12 Підняти ковпак.

4.3.13 Виключити систему стиснення і вийняти вузол.

4.3.14 Провести контроль вузла випробуванням на згин.

Таблиця 4.2-Режим зварювання

Матеріали, що зварюються		Режими зварювання			
		Температура нагріву, °С	Питоме зусилля, МПа	Час зварювання, хв.	Тиск залишкових газів в камері, Па
Мідь МБ	мідь МБ	850-900	7	20	$1,3 \cdot 10^{-2}$
АМц	АМц	590	5	20	
Мідь МВ	сталь Ст3	950	10	15	
титан ВТ1-0	алюміній А6	560	12	10	$1,3 \cdot 10^{-3}$
титан ВТ-1	титан ВТ-1	800	7	6	
молібден МЧ	молібден МЧ	1900	10	20	
Мідь МВ	молібден МЧ	900	7,5	20	
Сталь10	10Х18Н9Т	1000	15	10	$1,3 \cdot 10^{-4}$

4.4 ЗМІСТ ЗВІТУ

- 4.4.1 Назва роботи й мета.
- 4.4.2 Короткі теоретичні відомості.
- 4.4.3 Порядок виконання роботи.
- 4.4.4 Результати дослідів.
- 4.4.5 Аналіз отриманих результатів та висновки.

4.5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 4.5.1 Як обирають швидкість нагрівання та охолодження виробу при зварюванні?
- 4.5.2 Які способи нагрівання можуть бути використані при дифузійному зварюванні?
- 4.5.3 Яким чином усуваються дефекти зварювання?

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

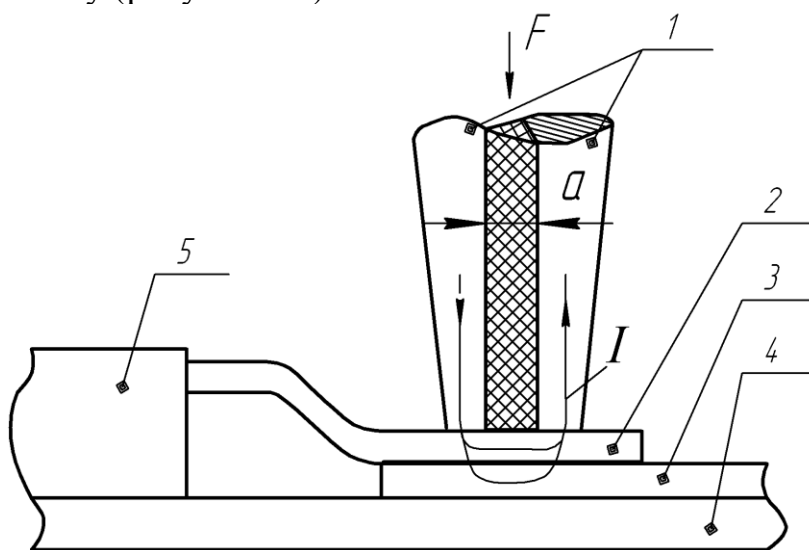
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МІКРОЗВАРЮВАННЯ РОЗЧЕПЛЕНИМ ЕЛЕКТРОДОМ КОМУТАЦІЙНИХ З'ЄДНАНЬ В ВУЗЛАХ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИБЛАДІВ

Мета роботи – вивчити і дослідити технологічний процес мікрозварювання розщепленим електродом різнорідних металів.

5.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Технологія мікрозварювання розщепленим електродом знаходить широке застосування в виробництві мікросхем і є одним з прогресивніших методів електромонтажу комутаційних виводів навісних мікроелементів до контактних площадок півочних мікросхем.

Принцип зварювання оснований на нагріві зварювальних металів, протікаючим по U-образному шляху, електричним струмом з прикладенням до них зовнішнього тиску (рисунок 5.1).



1 – електрод; 2 – дротяний вивід; 3 – металева контактна площадка; 4 – підложка; 5 – інтегральна мікросхема.

Рисунок 5.1 – Схема зварювання розщепленим електродом

При наявності цих процесів створюються умови утворення однорідних чи різнорідних твердих розчинів.

Зварювальний струм, проходячи через контакт металів, нагріває їх в відповідності до закону Джоуля-Ленца:

$$Q = \int_0^{t_{зв}} I_{зв}^2(t) \cdot R(t) dt, \quad (5.1)$$

де $I_{зв}$ – зварювальний струм, А;
 R – електричний опір металів, що зварюються.

Величина зазору між електродом має суттєвий вплив на глибину проходження струму. Внаслідок шунтування струму через верхній з'єднуєний метал, зварювання розщепленим електродом використовується тільки для тонких дрітчастих виводів і провідників (товщиною до 100 мкм). При зварюванні має важливе значення залежність зварювального струму і опору металів (рисунок 5.2).

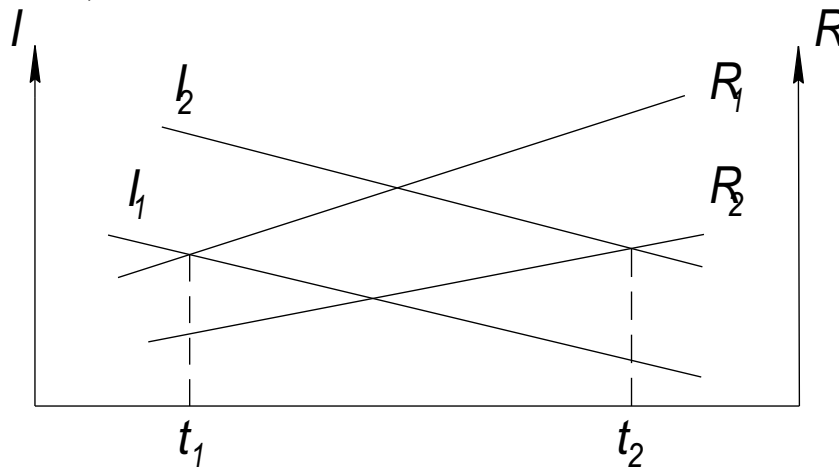


Рисунок 5.2 – Часова залежність зварювального струму і опору

Метали з малим електричним опором (R_2) зварюються при більших струмах зварювання (I_2) і часі зварювання (t_2). Для металів з великим електричним опором (R_1) швидкість зварювання вище, але при цьому збільшується можливість пригорання з'єднань. В зв'язку з цим використовують автоматичне обмеження часу роботи зварювального імпульсу.

В кожному конкретному випадку необхідно визначити оптимальну величину сили тиску електродів. Сила тиску встановлюється так, щоб отримати оптимальний контактний опір і невелику деформацію дроту (виводу) після прикладення імпульсу струму.

Параметри зварювання виводів ІС залежить від базового матеріалу, на якому монтується ІС; розмірів контактної площадки; товщини шару міді на печатній платі (до 70 мкм); матеріалу виводів і їх товщин; величини зазору між електродами, тощо.

5.2 ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

Промислова зварювальна установка УСМ-1М, пінцет, зразки матеріалів.

5.3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.3.1 Ознайомитись з питаннями техніки безпеки.

5.3.2 Ознайомитись зі зварювальною установкою і підготувати її до

роботи (рисунок 5.3).

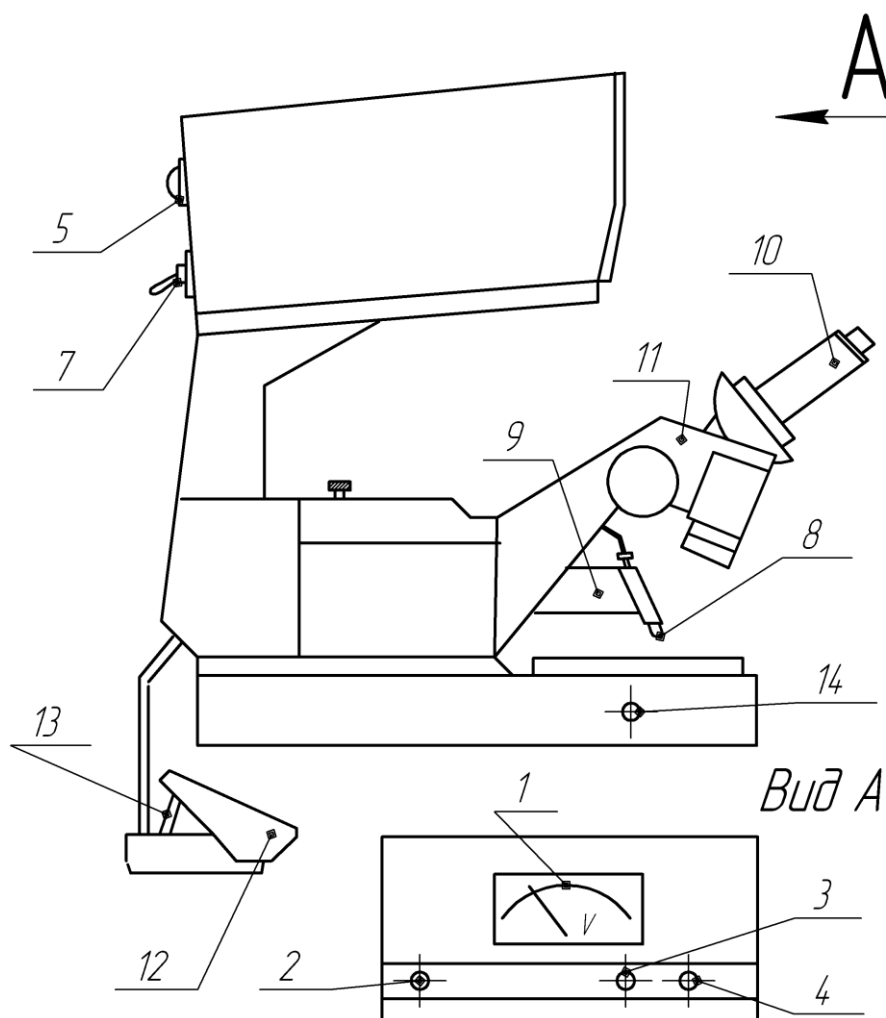


Рисунок 5.3 – Будова і зовнішній вигляд установки для зварювання розчепленим електродом

5.3.3 Відключити тумблер 7, який служить для відключення робочої частини під час пусконаладжувальних і регулювальних робіт.

5.3.4 Встановити резистор 2 "регулювання напруги" обертанням проти годинникової стрілки в крайнє положення.

5.3.5 Підключити штепсель дроту 15 до мережі 220 В.

5.3.6 Перевірити наявність дроту заземлення.

5.3.7 Включити установку вимикачем 4, пересвідчившись в горінні індикаторної лампи 3. Якщо лампа 4 не горить, відключити установку і перевірити запобіжник.

5.3.8 Відрегулювати необхідну яскравість ламп мікроскопа МБС-10 резисторами 5,6. Попередньо опустити предметний стіл 16, натиснувши педаль 12 до упору.

5.3.9 Сфокусувати мікроскоп на кінчику електродів.

5.3.10 Встановити зварювальні зразки на предметний стіл і плавно підвести вгору до зіткнення з кінчиками електродів. Потім продовжувати

під'єм разом з електродами на 1...1,5 мм і зафіксувати ручкою, розташованою з лівої сторони стола. Ще раз сфокусувати мікроскоп на об'єкті зварювання і кінчиках електродів.

5.3.11 Відрегулювати сили притискання електродів і зварювальних деталей ручкою 17. Відлік величини тиску вести по лімбу 18 через отвір корпусу.

5.3.12 Підключити силову частину тумблером 7 і виставити потрібну величину електричної напруги в системі управління зварювальним струмом.

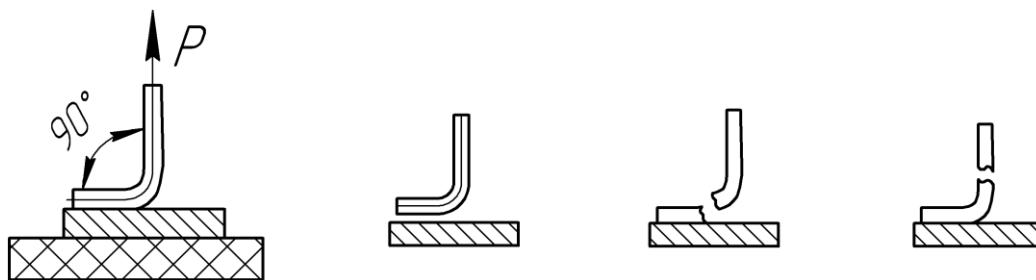
При дослідженні процесу зварювання основну увагу треба звернути на зварювальну напругу, струм в електродах, силу тиску і тривалість зварювального імпульсу (1...8 мс, встановлюється автоматично).

Дослід 1. Провести зварювання мідного провідника діаметром 50 мкм до мідної площадки плати, міняючи тиск на електродах і величину електричної напруги відповідно до таблиці 5.1.

Випробувати зразки відповідно до рисунку 5.4 і записати вид руйнування в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1-Результати дослідів

Напруга, В	Зусилля на електродах, г	Якість з'єднання
	150	
	300	
	400	
	150	
	300	
	400	
	150	
	300	
	400	



а)

б)

а – вид зварного з'єднання ; б – види руйнувань з'єднань.

Рисунок 5.4 – Схема випробування зразків

5.4 ЗМІСТ ЗВІТУ

- 5.4.1 Назва роботи й мета.
- 5.4.2 Короткі теоретичні відомості.
- 5.4.3 Порядок виконання роботи.
- 5.4.4 Результати дослідів.
- 5.4.5 Аналіз отриманих результатів та висновки.

5.5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 5.5.1 Механізм зварювання розщепленим електродом.
- 5.5.2 Область використання зварювання розщепленим електродом.
- 5.5.3 Основні параметри режиму зварювання.
- 5.5.4 Види випробувань зварних з'єднань.
- 5.5.5 Технологічні операції при зварюванні.

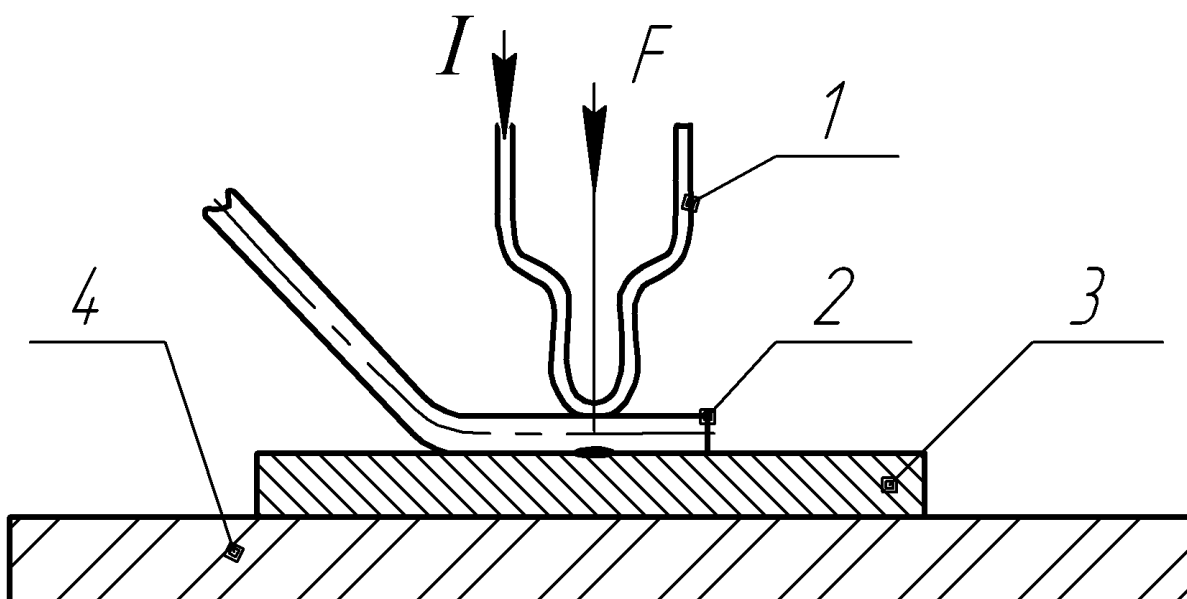
6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

МІКРОЗВАРЮВАННЯ КОМУТАЦІЙНИХ З'ЄДНАНЬ ТЕРМООЛІВЦЕМ

Мета роботи – вивчити і дослідити процес зварювання металів тиском з побічним імпульсним нагрівом.

6.1 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Метод мікрозварювання тиском з побічним імпульсним нагрівом (рисунок 6.1) використовується для виконання монтажних мікроз'єднань в інтегральних мікросхемах і напівпровідникових приладах.



1 – електрод молібденовий; 2 – дріт; 3 – контактна площадка; 4 – підложка (напівпровідникові чи керамічні).

Рисунок 6.1 – Схема мікрозварювання з побічним нагрівом

Робочий інструмент (термоолівець) складається з U-образного електрода, виконаного з молібденового сплаву. Зусилля тиску електрода визначається індивідуально і може складати 50...150 гс. При проходженні імпульсу струму тривалістю від 0.01 до декількох секунд через електрод, останній розігрівається до температури 400...500 °С і локально підігріває дріт. Нагрів забезпечує пластичну деформацію дроту. Під дією зусилля відбувається деформація дроту і формується зварне з'єднання. Цим методом з'єднують золоті, мідні і алюмінієві дроти діаметром 20... 100 мкм з контактними площадками, отриманими напиленням золота, срібла, алюмінію або нікелю.

6.2 ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

Установка з термоолівцем, мікроскоп МБС-9, пінцет, ножиці, зразки дроту з алюмінію, підложки (плати).

6.3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

6.3.1 Ознайомитись з питаннями техніки безпеки.

6.3.2 Ознайомитись з роботою установки (рисунок 6.2).

6.3.3 Підготувати установку до роботи. Для цього ввімкнути установку в мережу 220 В. Ручку 2 "Регулятор напруги зварювання" повернути проти годинникової стрілки до упору. Тумблером 3 "Мережа" ввімкнути напругу живлення мережі Стрілка вольтметра 4 повинна після цього знаходитись проти відмітки "0".

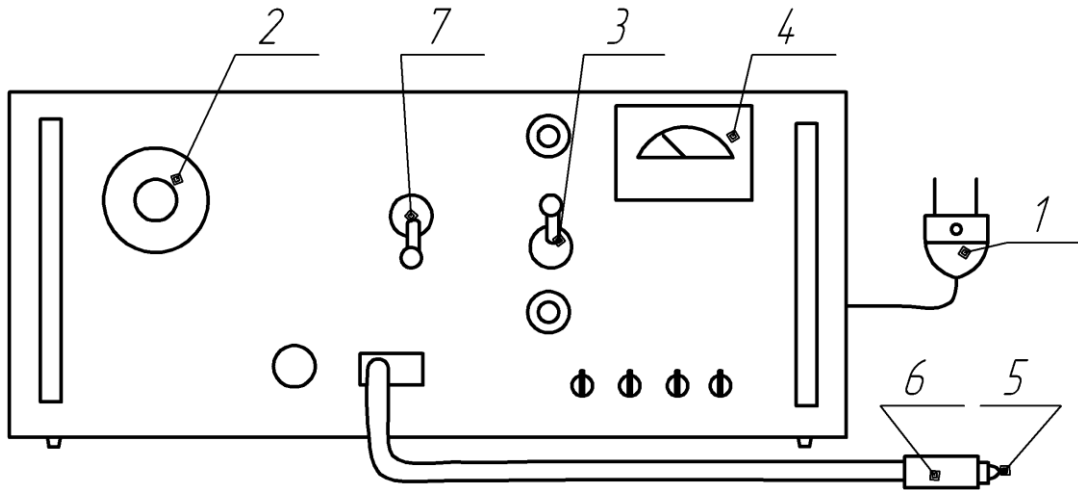


Рисунок 6.2 - Вид установки з боку передньої панелі

6.3.4 Перевірити стан електрода 5 в термоолівці 6.

6.3.5 Підготувати до зварювання дроту, плату.

Досліди. Провести зварювання серії зразків керуючись режимами наведеними в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1-Рекомендовані режими зварювання

Напруга U,В	Зусилля тиску, г	Тривалість імпульсу, с	Якість зварного з'єднання
80	60	0.1	
110	60	0.1	
140	60	0.1	
80	60	0.2	
110	60	0.2	
140	60	0.2	

Величину первинної зварювальної напруги установити ручкою 2. Контроль вести по прибору 4. Тривалість імпульсу виставити тумблером 7 "Імпульс".

Провести візуальний контроль якості зварювання вузла під мікроскопом. Провести контроль якості відривом дроту від контактуючої площадки. Зробити рисунок, який характеризує види руйнування.

6.4 ЗМІСТ ЗВІТУ

- 6.4.1 Назва роботи й мета.
- 6.4.2 Короткі теоретичні відомості.
- 6.4.3 Порядок виконання роботи.
- 6.4.4 Результати дослідів.
- 6.4.5 Аналіз отриманих результатів та висновки.

6.5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 6.5.1 Дайте характеристику методу зварювання тиском з побічним імпульсним нагрівом.
- 6.5.2 Склад зварювальної установки.
- 6.5.3 Схема зварювальних вузлів.
- 6.5.4 Особливості зварювальних матеріалів.
- 6.5.5 Схема зварювання.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Диффузионная сварка материалов. Справочник. Под ред. д.т.н., проф. Н.Ф.Казакова. – М.: Машиностроение, 1981. – 270с.
2. Багин В.А. Диффузионная сварка стекла и керамики с металлами. – М.: Машиностроение, 1986. – 181с.
3. Золотарев М.М. Метализатор вакуумный. – М.: Высшая школа, 1978. – 236с.
4. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. – М.: Высшая школа, 1990. – 315с.
5. Бер А.Ю., Минскер Ф.Е. Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. – М.: Высшая школа, 1981. – 281с.
6. Чернев В.Н. Физико-химические процессы в технологии РЭА. – М.: Высшая школа, 1987. – 367с.
7. Меньяйлов М.Є. Спеціальний фізичний практикум. – Київ: Вища школа, 1971. – 333с.