

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання лабораторних робіт з дисципліни,
для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»
спеціалізацій «Технології та інжиніринг у зварюванні» та
«Автоматизовані технологічні системи у зварюванні»**

*Рекомендовано вченою радою зварювального факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

Київ
2017

Теорія процесів зварювання: метод. вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни, для студ. спец. 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології та інжиніринг у зварюванні» та «Автоматизовані технологічні системи у зварюванні» / Укладач: О. А. Сливінський. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 48 с.

*Гриф надано вченою радою
зварювального факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського
(Протокол № 3 від 23.10.2017 р.)*

Навчальне електронне видання

ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни,
для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій
«Технології та інжиніринг у зварюванні» та «Автоматизовані технологічні
системи у зварюванні»

Укладач: *Сливінський Олексій Анатолійович*

Відповідальний редактор: *О. В. Прохоренко, канд. техн. наук, доц.*

Рецензент: *І. В. Смірнов, д-р техн. наук, проф.*

ВСТУП

Дисципліна «Теорія процесів зварювання» (ТПЗ) відкриває цикл професійної та практичної підготовки студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології та інжиніринг у зварюванні» та «Автоматизовані технологічні системи у зварюванні». В дисципліні вивчаються фундаментальні положення процесів зварювання, що розвиваються в наступних учбових дисциплінах при підготовці фахівців зварювання.

Лабораторні роботи передбачені навчальною програмою дисципліни та грають важливу роль при вивченні курсу ТПЗ. Лабораторні роботи проводяться для поглибленого закріплення теоретичного матеріалу і ілюструють основні положення, що викладаються в рамках дисципліни ТПЗ. Разом із цим, для студентів кожна лабораторна робота являє собою своєрідний невеликий науковий дослід, що служить для експериментального доказу певного теоретичного положення. Їх підготовка та проведення, одержання й обробка результатів, формулювання висновків – типовий приклад учбової дослідницької роботи студентів.

Головна мета лабораторних робіт з ТПЗ – засвоєння студентами методів експериментального і розрахункового рішення практичних завдань в області зварювання, наочна демонстрація доказів окремих теоретичних положень в областях фізики дугового розряду постійного та змінного струму, нагрівання та плавлення електроду, переносу електродного металу, механізмів пороутворення при зварюванні тощо.

Організація проведення лабораторних робіт

Лабораторні роботи з ТПЗ проводяться, як правило, після засвоєння студентами відповідного теоретичного матеріалу в лекційному курсі. На одній лабораторній установці працює бригада з 3-6 осіб. Студенти з'являються на заняття із заготовленими протоколами для лабораторних робіт, заздалегідь вивчивши теоретичні положення по відповідним розділам дисципліни та ознайомившись з даними методичними вказівками.

Викладач розпочинає заняття з короткої доповіді змісту лабораторної роботи, акцентує увагу на особливо важливих питаннях теоретичного та прикладного характеру. Після чого проводиться опитування студентів. При цьому, перевіряються знання основних теоретичних положень, що передбачені матеріалом даної лабораторної роботи, порядку виконання роботи, у тому числі послідовність виконання дослідів, електричних схем, принципу дії відповідного устаткування та обладнання. Студенти повинні вміти визначити точність та встановлювати ціну ділення вимірювальних пристроїв.

На першому занятті, згідно спеціальної інструкції, вивчається техніка безпеки при виконанні лабораторних робіт. Викладач проводить відповідний інструктаж, що реєструється особистими підписами студентів в «Журналі техніки безпеки». Перед початком проведення кожної роботи викладач перевіряє знання студентами правил техніки безпеки.

Результати вимірів та інших досліджень, одержані студентами в ході роботи, занесені у відповідні таблиці, пред'являються викладачу наприкінці кожного заняття. Після чого викладач доводить студентам вимоги стосовно оформлення протоколів, акцентує увагу на особливостях розрахунків, що передбачені при виконанні даної лабораторної роботи і висновках.

Належним чином оформлені протоколи здаються студентами для перевірки на початку наступного заняття. У разі відсутності оформлених

протоколів попередньої роботи студент не допускається до виконання поточної лабораторної роботи.

Остаточні оформлені звіти по проведених роботах з ТПЗ здаються студентами на заліковому занятті по лабораторному курсу. Під час складання заліку оцінюється якість оформлення звітів та знання студентами теоретичної частини робіт та в межах контрольних питань. Для підготовки до заліку використовуються матеріали лекційного курсу, методичні вказівки та рекомендована література. Звіти зберігаються на кафедрі. Найкращі з них висувуються на конкурси факультету та університету «Найкращий звіт по лабораторній роботі».

Лабораторна робота № 1

ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ

МЕТА РОБОТИ

Встановити зв'язок між електричними і геометричними параметрами зварювальної дуги та виявити особливості існування дугового розряду при застосуванні катодів різних типів.

ЗАДАЧІ

1. Ознайомитись з візуальним зображенням проекції зварювальної дуги та особливостями світіння характерних її областей.
2. Встановити вплив полярності на форму зварювальної дуги.
3. Встановити вплив типу катодів на процес та особливості існування дугового розряду.
4. Встановити залежність падіння напруги на зварювальній дузі від її довжини та полярності.
5. За експериментальними даними розрахувати значення коефіцієнтів Айртон (Ayrton), порівняти з існуючими і у разі розбіжностей пояснити причини їх виникнення.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Візуальне спостереження зварювальної дуги, збільшеної в розмірах.
2. Заміри падіння напруги на зварювальній дузі та величини струму.
3. Розрахунки за рівнянням Айртон.

ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

- Джерело живлення зварювальної дуги – випрямляч ВС-300Б.
- Баластний реостат РБ-300.

- Штатив для закріплення і переміщення електрода в вертикальному напрямку.
- Оптична система, змонтована на підставці.
- Графітові електроди, діаметром 4 мм.
- Графітова пластина та пластина з низьковуглецевої сталі, розмірами 100×100×10 мм.
- Шаблон для встановлення довжини дуги.
- Вольтметр.
- Мілівольтметр з відповідним шунтом.
- Екран.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

В зварювальній дузі можуть бути виділені наступні характерні області: катодна, анодна, та стовп зварювальної дуги. Відповідно довжина зварювальної дуги (L_d) складається із арифметичної суми довжини всіх трьох її характерних областей:

$$L_d = L_k + L_a + L_{ст}.$$

На відміну від довжини стовпа зварювальної дуги ($L_{ст}$), що в значній мірі залежить від загальної довжини дуги (L_d), довжина катодної (L_k) і анодної (L_a) областей практично не залежать від L_d і приблизно дорівнюють довжині вільного пробігу електрона.

Форма зварювальної дуги залежить від діаметрів катодної і анодної плям та розподілу електромагнітного поля в стовпі зварювальної дуги.

Падіння напруги у зварювальній дузі (U_d) дорівнює сумі падінь напруги в катодній (U_k), анодній області (U_a) та стовпі зварювальної дуги ($U_{ст}$):

$$U_{\text{д}} = U_{\text{к}} + U_{\text{а}} + U_{\text{ст}}.$$

Значення падіння напруги у зварювальній дузі може бути розраховано за рівнянням Айртон:

$$U_{\text{д}} = a + bL_{\text{д}} + \frac{c + dL_{\text{д}}}{I_{\text{зв}}},$$

де a ; b ; c ; d – коефіцієнти рівняння Айртон; $L_{\text{д}}$ – довжина зварювальної дуги, мм; $I_{\text{зв}}$ – сила зварювального струму, А.

Значення коефіцієнтів рівняння Айртон наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Значення коефіцієнтів в рівнянні Айртон

Матеріал катода	Матеріал анода	a , В	b , В/мм	c , Вт	d , Вт/мм
Графіт	Графіт	30...38	2,0	11...12	10,5
Графіт	Сталь	13,2...13,5	2,1...2,3	11...12	10,5
Сталь	Графіт	18,0...18,6	2,3...2,5	9...10	15,0

При достатньо великих значеннях сили зварювального струму, останній додаток рівняння Айртон можна не враховувати. Тоді рівняння може бути представлене у вигляді:

$$U_{\text{д}} = a + bL_{\text{д}}.$$

Коефіцієнти рівняння мають фізичний зміст: a – сумарне падіння напруги у катодній та анодній областях [В], b – градієнт падіння напруги в стовпі зварювальної дуги [В/мм]. Значення коефіцієнта a залежить від матеріалу катода і анода, а коефіцієнта b – від складу суміші плазмоутворюючих газів в стовпі зварювальної дуги.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Дослідження дуги, що горить між двома графітовими електродами.
- 1.1 Зібрати експериментальну установку за схемою на рис. 1, підключивши до електричного кола дуги графітові електроди.
- 1.2 Встановити пряму полярність.
- 1.3 За допомогою шаблона встановити довжину зварювальної дуги 2 мм.
- 1.4 Запалити дугу між графітовими електродами. Знайти на збільшеному оберненому зображенні зварювальної дуги (на екрані) її характерні області. В протоколі зобразити форму зварювальної дуги на прямій полярності.
- 1.5 Експериментально визначити падіння напруги в дузі та зварювальний струм, зафіксувавши отримані данні в табл. 1.2.
- 1.6 Повторити експерименти згідно з пп. 1.4 – 1.5, встановивши довжину зварювальної дуги 4 мм і 6 мм.

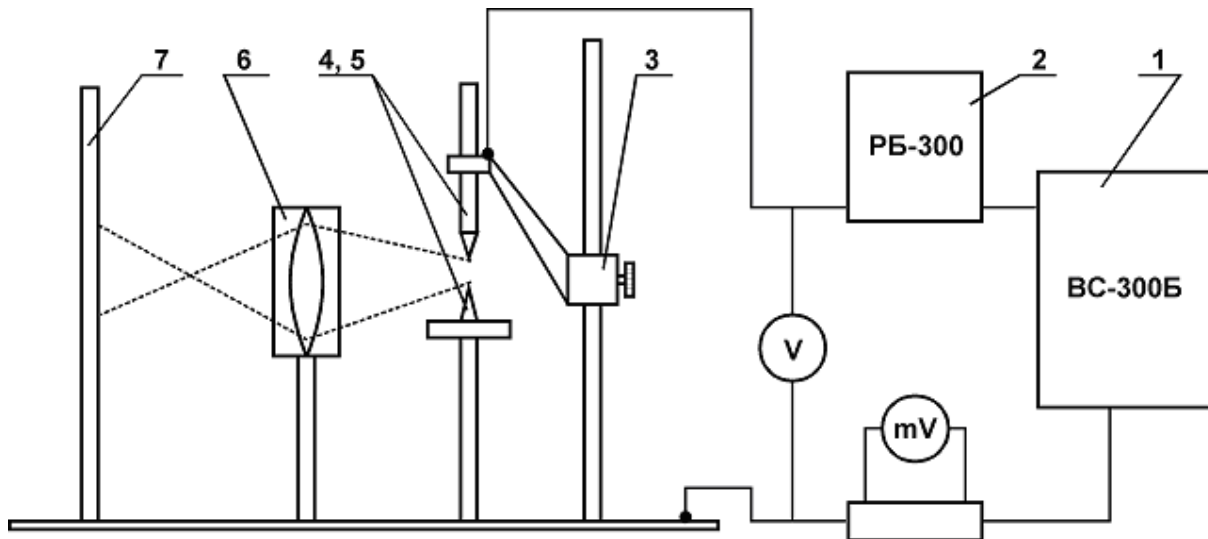


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

1 – джерело живлення; 2 – баластний реостат; 3 – штатив; 4, 5 – електроди; 6 – оптична система; 7 – екран

Таблиця 1.2. Експериментальні дані енергетичних параметрів дуги

1) графітовий електрод / графітовий електрод				
L_d , мм	пряма полярність		обернена полярність	
	$I_{зв}$, А	U_d , В	$I_{зв}$, А	U_d , В
2				
4				
6				
2) графітовий електрод / графітова пластина				
L_d , мм	пряма полярність		обернена полярність	
	$I_{зв}$, А	U_d , В	$I_{зв}$, А	U_d , В
2				
4				
6				
3) графітовий електрод / сталева пластина				
L_d , мм	пряма полярність		обернена полярність	
	$I_{зв}$, А	U_d , В	$I_{зв}$, А	U_d , В
2				
4				
6				

- 1.7 Встановити обернену полярність і провести експерименти згідно з пп. 1.3 – 1.6. Звернути увагу на особливості руйнування електродів на прямій та оберненій полярності.
2. Дослідження дуги, що горить між графітовим електродом і графітовою пластиною.
 - 2.1 По аналогічній методиці провести експерименти на прямій та оберненій полярності, послідовно встановлюючи довжину дуги 2, 4 і 6 мм (див. пп. 1.2 – 1.7).
3. Дослідження дуги, що горить між графітовим електродом і сталеву пластиною.
 - 3.1 Провести експерименти на прямій та оберненій полярності, послідовно встановлюючи довжину дуги 2, 4 і 6 мм (див. пп. 1.2 – 1.7).

4. За результатами експериментів для різних пар електродів побудувати графіки функцій: $U_d = f(L_d)$, $I_{зв} = f(L_d)$ та $U_d = f(I_{зв})$.
5. Знайти значення коефіцієнтів рівняння Айртона графічним і аналітичним методами і порівняти їх з наведеними в табл. 1.1.
6. Зробити висновки по виконаній роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чим дуговий розряд відрізняється від інших електричних розрядів у газах?
2. Дайте характеристику фізичних процесів, які мають місце в різних областях зварювальної дуги.
3. Яким чином полярність, геометрія та матеріал електродів можуть впливати на форму зварювальної дуги ?
4. Як падіння напруги розподіляється по довжині дуги?
5. Що таке вольт-амперна характеристика (ВАХ) дуги, при виконанні якої умови вона є статичною ?
6. Назвіть експериментальні та розрахункові методи отримання ВАХ дуги.
7. Дайте характеристику вільної та стисненої дуги.
8. Як падіння напруги залежить від струму на різних ділянках ВАХ дуги?

Лабораторна робота № 2

ІОНІЗУЮЧА ДІЯ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОДНОГО ПОКРИТТЯ

МЕТА РОБОТИ

Встановити вплив типу електродного покриття та його окремих компонентів на сталість горіння зварювальної дуги.

ЗАДАЧІ

1. Ознайомитися з методикою оцінки сталості горіння зварювальної дуги по її розривній довжині.
2. Оцінити вплив типу електродного покриття на розривну довжину зварювальної дуги.
3. Вивчити вплив окремих компонентів, що звичайно є у складі електродного покриття на сталість горіння зварювальної дуги за експериментальною та розрахунковою методиками.
4. Визначити зв'язок між іонізуючою властивістю окремих компонентів та стабільністю існування дугового розряду.
5. Оцінити вплив полярності на сталість горіння зварювальної дуги.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Експериментальна методика визначення розривної довжини зварювальної дуги.
2. Спільне розв'язання рівняння Саха (Saha), рівняння Фролова, рівняння Хренова.

ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

- Джерело живлення зварювальної дуги – випрямляч ВС-300Б.
- Баластний реостат РБ-300.
- Пристрій для визначення розривної довжини дуги – штатив із регульованим в вертикальному напрямку електродним затискачем і пружиною.
- Вольтметр.
- Мілівольтметр з відповідним шунтом.
- Штангенциркуль.
- Штучні покриті електроди УОНІ-13/55, АНО-21 та голий сталевий дріт діаметрами 3 мм.
- Порошки окремих компонентів електродного покриття: флюориту CaF_2 , мармуру CaCO_3 , кварцового піску SiO_2 та рутилу TiO_2 .
- Пластина з низьковуглецевої сталі, розмірами $100 \times 100 \times 10$ мм.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

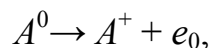
Широкого застосування набула методика оцінки сталості горіння зварювальної дуги за її розривною довжиною запропонована академіком К. К. Хреновим. Розповсюдженість цієї методики пояснюється її надзвичайною простотою та наочністю.

Розривною довжиною зварювальної дуги називають її довжину у момент природного обриву. Більшій сталості горіння зварювальної дуги відповідає її більша розривна довжина. Таким чином, знаходячи розривну довжину зварювальної дуги, ми посередньо оцінюємо сталість її горіння.

Для встановлення впливу типу електродного покриття на сталість горіння зварювальної дуги, знайдемо розривну довжину дуги для електродів основного типу (УОНІ-13/55), рутилового типу (АНО-21) та голого сталевого дроту без обмазки.

Для встановлення впливу окремих компонентів електродного покриття на сталість горіння зварювальної дуги, знайдемо розривну довжину дуги, що послідовно збуджується між голим дротом без обмазки та сталеву пластину, на яку насипано шар порошку, що складається відповідно з чистого флюориту CaF_2 , кварцового піску SiO_2 , мармуру CaCO_3 та рутилу TiO_2 .

Необхідною умовою сталого горіння зварювальної дуги являється достатня кількість вільних електронів у її стовпі. Вільні електрони утворюються внаслідок іонізації газової атмосфери дугового проміжку, в ході прямого протікання реакції іонізації нейтральних атомів:



де A^0 – нейтральний атом; A^+ – позитивний іон; e_0 – електрон.

Більшій сталості горіння зварювальної дуги відповідає більша кількість вільних електронів та більший ступень термічної іонізації плазмоутворюючого газу у стовпі зварювальної дуги. Для обчислення ступеня термічної іонізації газів користуються рівнянням Саха, яке для зовнішнього нормального атмосферного тиску в системі одиниць СІ має вигляд:

$$\frac{x^2}{1-x^2} = 3,29 \cdot 10^{-7} a^2 T^{\frac{5}{2}} e^{-\frac{11604U_i}{T}}, \quad (2.1)$$

де x – ступень термічної іонізації газу; a^2 – квантовий коефіцієнт (див. табл. 2.1); T – середня температура плазми зварювальної дуги, К; e – число Непера (основа натурального логарифма) $e \approx 2,718282\dots$; U_i – потенціал іонізації плазмоутворюючого газу в стовпі дуги, В.

В реальних умовах зварювання газова атмосфера стовпа дуги, як правило, складається із суміші кількох газів і парів металів. Суміш двох, або

кількох газів іонізується інакше, ніж кожна з цих речовин окремо, тому що вільні електрони в цьому випадку будуть спільними для всіх складових газової суміші.

Таблиця 2.1. Значення потенціалів іонізації U_i та квантових коефіцієнтів a^2 атомів деяких хімічних елементів

Елемент	U_i , В	a^2	Елемент	U_i , В	a^2
Ca	6,03	4	О	13,56	8/3
F	18,60	3	Ti	6,81	4/3
Si	7,94	4/3			

Для спрощених розрахунків ступені іонізації суміші плазмоутворюючих газів / парів металів стовпа дуги можна використовувати рівняння (2.1), але в ньому замість значення потенціалу іонізації плазмоутворюючого газу U_i необхідно підставити значення ефективного потенціалу іонізації цієї суміші. Для його обчислення користуються наступною залежністю, відомою нині як рівняння В. В. Фролова:

$$U_{\text{еф}} = -\frac{T}{5800} \ln \left[\sum_{k=1}^n \left(p_k^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{5800(U_i)_k}{T}} \right) \right], \quad (2.2)$$

де $U_{\text{еф}}$ – ефективний потенціал іонізації суміші плазмоутворюючих газів, В; p_k – відносний парціальний тиск k -того компонента суміші, атм.; $(U_i)_k$ – потенціал іонізації k -того компонента суміші, В (див. табл. 2.1).

Температура суміші плазмоутворюючих газів у стовпі зварювальної дуги, у свою чергу, також залежить від їх ефективного потенціалу іонізації. Ця залежність для ручного дугового зварювання покритим електродом описується рівнянням К. К. Хренова:

$$T = 805 U_{\text{еф}} \quad (2.3)$$

Таким чином, кожна суміш плазмоутворюючих газів, являється термодинамічною системою з нульовим ступенем свободи, тобто для заданого зовнішнього тиску кожному складу суміші відповідає своя (унікальна) комбінація значень температури, ефективного потенціалу іонізації та ступеня термічної іонізації. Для спільного розв'язання системи рівнянь (2.1)...(2.3) з точністю розрахунків по температурі до 10 К може бути використаний алгоритм послідовних наближень, представлений на рис. 2.

При введенні до складу електродного покриття флюориту CaF_2 , стовп зварювальної дуги збагачується продуктами його дисоціації за реакцією:



Кварцовий пісок SiO_2 , мармур CaCO_3 і рутил TiO_2 в плазмі дуги присутні у вигляді продуктів їх часткової дисоціації – газів, що далі дисоціюють за наступними схемами:



Таким чином, для розрахункової оцінки впливу на сталість горіння зварювальної дуги окремих компонентів електродного покриття необхідно обчислити температуру, ефективний потенціал та ступень іонізації сумішей газів, які утворюються внаслідок термічної дисоціації відповідних компонентів електродного покриття.

Для того, щоб встановити, порошок якого саме компоненту електродного покриття насипано на металеву пластину, необхідно порівняти значення розрахункового ступеня термічної іонізації суміші газів та експериментально встановлені значення розривної довжини зварювальної дуги.

Більшим значенням розривної довжини зварювальної дуги відповідають більші значення ступеня термічної іонізації.

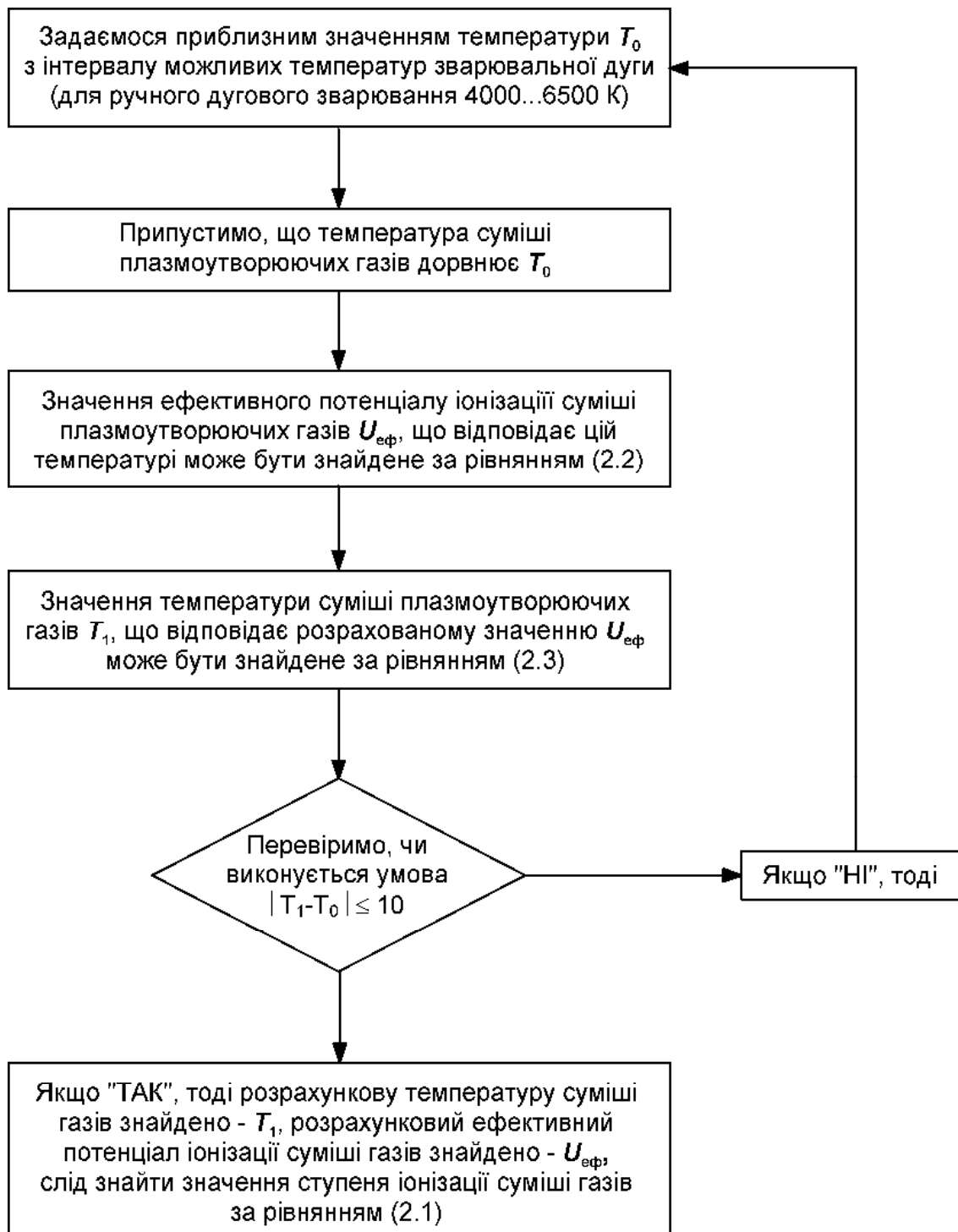


Рис. 2. Алгоритм спільного розв'язання системи рівнянь (2.1)...(2.3) методом послідовних наближень

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Дослідження впливу типу електродного покриття на сталість горіння зварювальної дуги на прямій та оберненій полярності.
 - 1.1 Зібрати експериментальну установку за схемою на рис. 3.

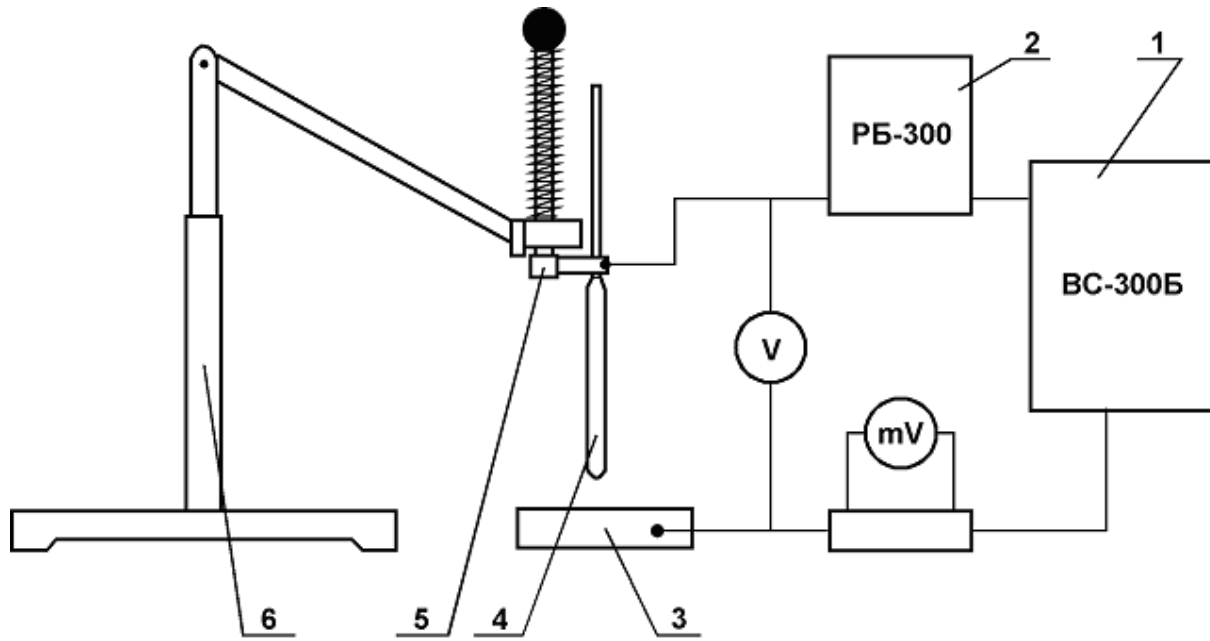


Рис. 3. Схема експериментальної установки:

1 – джерело живлення; 2 – баластний реостат; 3 – сталева пластина; 4 – електрод;
5 – електродний затискач; 6 – штатив

- 1.2 Експериментально встановити розривну довжину зварювальної дуги для електрода основного типу (УОНІ-13/55), при зварюванні на прямій полярності. (Значення розривної довжини зварювальної дуги знайти як середньоарифметичне за результатами трьох вимірювань).
- 1.3 Провести аналогічні вимірювання на оберненій полярності.
- 1.4 Повторити експерименти за методикою пп. 1.2 – 1.3 для електроду рутилового типу (АНО-21)
- 1.5 Повторити експерименти за методикою пп. 1.2 – 1.3 для голого дроту без обмазки.

- 1.6 За результатами експериментів побудувати гістограму впливу типу електродного покриття на розривну довжину дуги.
2. Дослідження впливу окремих компонентів електродного покриття на розривну довжину зварювальної дуги.
 - 2.1 Обчислити значення температури, ефективного потенціалу іонізації та ступеня термічної іонізації для наступних сумішей газів:
I. Ca + 2F; II. Si + O; III. Ca + O; IV. Ti + O.
 - 2.2 Експериментально встановити розривну довжину зварювальної дуги на прямої полярності, що горить між голим дротом без обмазки та сталеву пластину, на яку насипано шар порошку відповідного компоненту електродного покриття (по результатам трьох вимірювань для кожного компонента).
 - 2.3 Повторити експерименти на оберненій полярності.
 - 2.4 Порівняти результати розрахунків по п. 2.1 з результатами експериментально встановленої розривної довжини дуги для окремих компонентів електродного покриття.
3. Результати розрахунків та експериментів занести до табл. 2.2.
4. Зробити висновки по виконаній роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте визначення процесу іонізації та назвіть основні види іонізації.
2. Що називають розривною довжиною дуги і в чому полягає суть методики К. К. Хренова по визначенню стабільності горіння зварювальної дуги?
3. Що таке ступінь іонізації газу і які методики її визначення Вам відомі?
4. В чому полягає особливість іонізації суміші газів в порівнянні з чистою речовиною в газоподібному стані?

5. Що таке ефективний потенціал іонізації?
6. Які заряджені частки є головними носіями струму в стовпі дуги?
7. Які речовини у складі покриття зварювальних електродів УОНІ-13/55 та АНО-21 грають роль іонізуючих компонентів?
8. Дайте характеристику стабільності горіння дуги при використанні електродів УОНІ-13/55 та АНО-21 на прямій та оберненій полярності.

Таблиця 2.2. Результати розрахунків та експериментальні дані по визначенню розривної довжини дуги

Тип електроду		Полярність	Розривна довжина зварювальної дуги, мм					
			L_{p1}	L_{p2}	L_{p3}	L_p		
УОНІ - 13/55		пряма						
		обернена						
АНО - 21		пряма						
		обернена						
Голий дрiт без обмазки		пряма						
		обернена						
Компонент електродного покриття	Розрахункові значення параметрів суміші плазموутворюючих газів			Полярність	Розривна довжина зварювальної дуги, мм			
	T, K	U_0, eV	x		L_{p1}	L_{p2}	L_{p3}	L_p
CaF ₂				пряма				
				обернена				
SiO ₂				пряма				
				обернена				
CaCO ₃				пряма				
				обернена				
TiO ₂				пряма				
				обернена				

Лабораторна робота № 3

ПЕРЕНОС ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ У ЗВАРЮВАЛЬНІЙ ДУЗІ

МЕТА РОБОТИ

Дослідити вплив типу електродного покриття на розміри крапель електродного металу.

ЗАДАЧІ

1. Ознайомитися з методикою відбору крапель електродного металу шляхом наплавки на масивний мідний диск, що обертається.
2. Ознайомитися з методикою оцінки фракційного складу крапель електродного металу.
3. Встановити вплив типу електродного покриття та полярності на фракційний склад крапель електродного металу.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Методика відбору крапель електродного металу.
2. Методи математичної статистики.

ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

- Джерело живлення зварювальної дуги – випрямляч ВС-300Б.
- Баластний реостат РБ-300.
- Вольтметр.
- Мілівольтметр з відповідним шунтом.
- Штучні покриті електроди УОНІ-13/55, АНО-21 та голий сталевий дріт діаметрами 3 мм.

- Експериментальна установка для наплавки на масивний мідний диск, що обертається.
- Терези.
- Набір сит.
- Секундомір.
- Інструменти: молоток, зубило, стальна щітка.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Як відомо, теплопровідність міді набагато більша (приблизно на один порядок) ніж теплопровідність сталей, незалежно від їх класу і системи легування. Так коефіцієнт теплопровідності λ для технічної міді сягає 376,0 Вт/(м · К), в той час як для низьковуглецевих конструкційних і високолегованих аустенітних сталей цей показник складає відповідно 41,9 і 25,1 Вт/(м · К). На цьому явищі і базується методика відбору крапель електродного металу шляхом наплавки на масивний мідний диск, що обертається. Внаслідок високої теплопровідності міді, зварювальна ванна під час наплавки штучним електродом не утворюється і краплі електродного металу не приварюються до поверхні диску.

При цьому, для полегшення збору крапель електродного металу наплавку на диск рекомендовано проводити по спіралі, як це показано на схемі (рис. 4).

Після наплавки, краплі електродного металу легко видаляються з поверхні диску за допомогою, наприклад молотка, зубила і сталеві щітки. Далі їх розділяють на фракції шляхом послідовного просіювання через сита з отворами різних діаметрів. Діаметри отворів сит вибирають виходячи з умови, щоб маси фракцій, отриманих при просіюванні крапель через сита, відрізнялись між собою незначно. Таким чином, отримують

шість фракцій крапель електродного металу, які відрізняються діаметром крапель:

$$0 < d_{к1} \leq D_1$$

$$D_1 < d_{к2} \leq D_2$$

...

$$D_4 < d_{к5} \leq D_5$$

$$D_5 < d_{к6} \leq d_{\max}$$

де $d_{к1}, d_{к2}, \dots, d_{к6}$ – середній діаметр електродних крапель у межах відповідної фракції, мм; D_1, D_2, \dots, D_5 – діаметри отворів сит, мм; d_{\max} – значення діаметра краплі електродного металу, що має найбільші розміри з усіх відібраних крапель, мм.

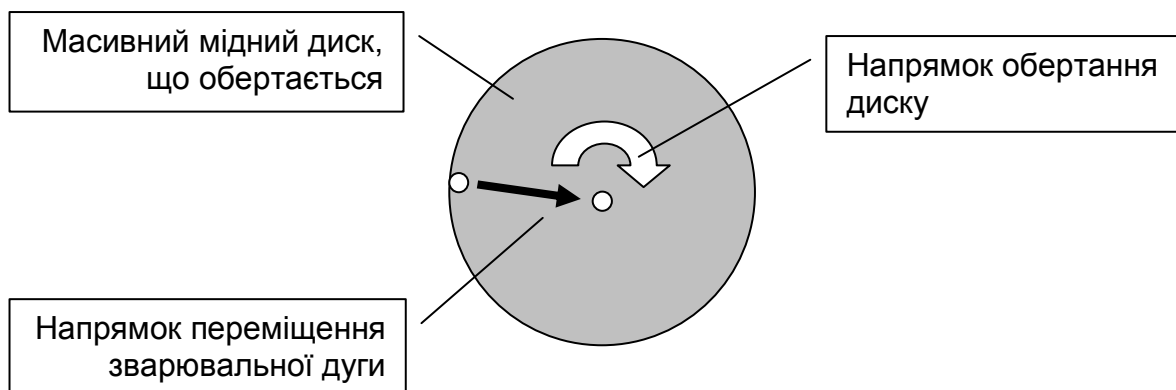


Рис. 4. Схема наплавки на масивний мідний диск, що обертається

Середній діаметр крапель виступає в якості основного критерію при оцінці фракційного складу крапель електродного металу і розраховується за формулою:

$$d_{к} = \frac{m_1 \frac{D_1}{2} + m_2 \frac{D_1 + D_2}{2} + \dots + m_6 \frac{D_5 + d_{\max}}{2}}{m_1 + m_2 + \dots + m_6}, \quad (3.1)$$

де m_1, m_2, \dots, m_6 – маси кожної з відібраних фракцій крапель, визначені їх зважуванням на терезах, г.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. За допомогою терезів визначити вагу всіх залучених до експериментів електродів $m_{\text{ел}}$.
2. Встановивши пряму полярність, провести наплавку електродом АНО-21 на масивний мідний диск, що обертається. При цьому, наплавляти не менше одного електрода, фіксуючи фактичні значенні зварювального струму та напруги на дузі.
3. Всі краплі наплавки змести з диску на аркуш паперу та вилучити з їх складу видимі частки шлаку.
4. За допомогою вище наведеної методики встановити фракційний склад крапель електродного металу.
5. За допомогою терезів визначити вагу кожної фракції крапель m_1, \dots, m_6 та залишку електроду $m_{\text{зал}}$.
6. Повторити експерименти згідно з пп. 2 – 5, встановивши обернену полярність.
7. Провести аналогічні дослідження, згідно з п.п. 2 – 6, з електродами УОНІ-13/55 та голим дротом без обмазки.
8. Для кожного з проведених експериментів побудувати гістограми фракційного складу крапель електродного металу (див. рис. 5) та визначити середній діаметр краплі d_k за формулою (3.1).
9. Для кожного з проведених експериментів розрахувати коефіцієнт угару k_y за формулою:

$$k_y = \frac{(m_{\text{ел}} - m_{\text{зал}}) - (m_1 + m_2 + \dots + m_6)}{m_{\text{ел}} - m_{\text{зал}}} \cdot 100\%,$$

де $m_{\text{ел}}$ – вага електроду, г; $m_{\text{зал}}$ – вага залишку електроду, г; m_1, \dots, m_6 – вага кожної з відібраних фракцій крапель, г.

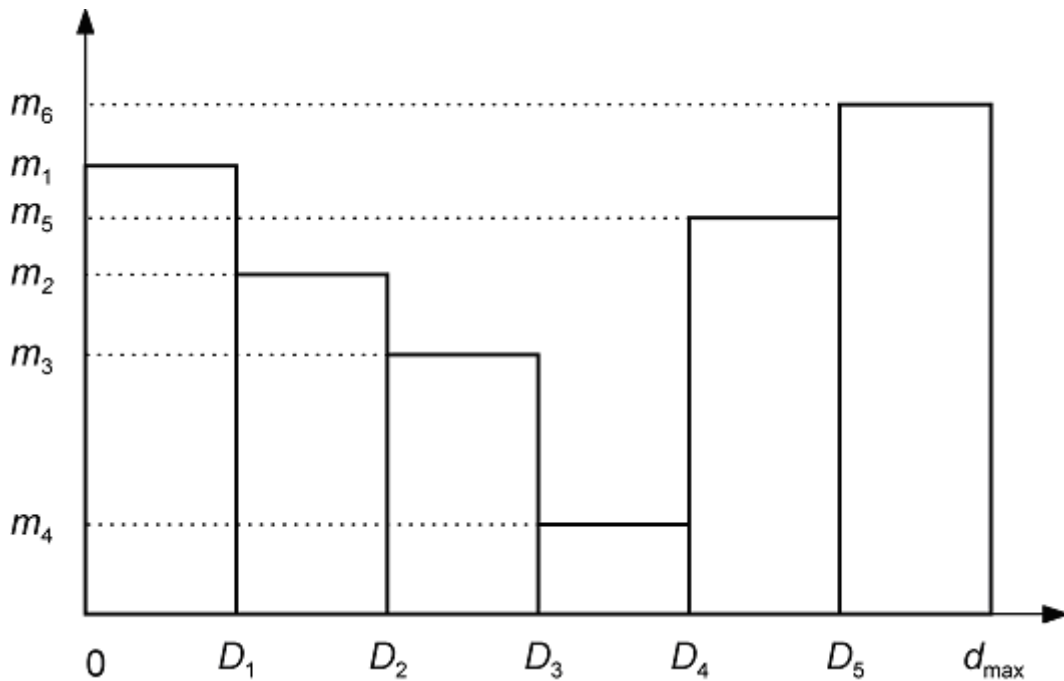


Рис. 5. Фракційний склад крапель електродного металу

10. Для кожного з проведених експериментів розрахувати коефіцієнт покриття електроду k_{Π} за формулою:

$$k_{\Pi} = \frac{m_{\text{ел}} - m_{\text{зал}}}{m_{\text{ел}}} \cdot 100\% .$$

11. Результати вимірів та розрахунків занести в табл. 3.1
 12. Зробити висновки по виконаній роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть види переносу електродного металу.
2. Назвіть сили, які діють на краплю електродного металу в процесі її формування та переносу.
3. Які особливості переносу електродного металу при ручному дуговому зварюванні покритим електродом?

4. Як зварювання у верхньому (горішньому) положенні впливає на перенос електродного металу?
5. Які методи управління переносом електродного металу Вам відомі ?
6. Охарактеризуйте вплив полярності, щільності зварювального струму та складу електродного покриття на розміри крапель.
7. У чому полягає методика відбору крапель електродного металу ?
8. Виходячи з результатів лабораторної роботи дайте характеристику, щодо використання електродів типу АНО-21 та УОНИ-13/55 при зварюванні на прямій та оберненій полярності.

Таблиця 3.1. Результати розрахунків та експериментальні дані по фракційному складу крапель електродного металу

Результати експериментів		Пряма полярність			Обернена полярність		
		АНО-21	УОНИ-13/55	Голий дріт	АНО-21	УОНИ-13/55	Голий дріт
$I_{зв}, A$							
$U_{д}, B$							
Маси, г	m_1						
	m_2						
	m_3						
	m_4						
	m_5						
	m_6						
	$m_{ел}$						
	$m_{зал}$						
d_k, MM							
$k_y, \%$							
$k_{п}, \%$							

Лабораторна робота № 4

НАГРІВАННЯ ТА ПЛАВЛЕННЯ ШТУЧНИХ ЕЛЕКТРОДІВ

МЕТА РОБОТИ

Дослідити тепловий стан покритих електродів під час зварювання за допомогою розрахункової та експериментальної методик. Визначити особливості нагріву штучних електродів теплом Джоуля-Ленца.

ЗАДАЧІ

1. Визначити вплив наявності обмазки електрода на характер його нагріву теплом Джоуля–Ленца.
2. Експериментальним та розрахунковим методами визначити вплив щільності зварювального струму, що проходить через електрод, на процес його нагрівання.
3. Експериментально визначити розподіл температур вздовж електроду поблизу зварювальної дуги.
4. Дослідити нерівномірність плавлення електроду по довжині. Визначити значення коефіцієнту розплавлення електроду на ділянках, що досліджуються.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Розрахунковий метод Рикаліна М.М. для оцінки теплового стану електроду.
2. Експериментальна методика реєстрації термічного циклу за допомогою термопар.
3. Експериментальна методика визначення коефіцієнта розплавлення ділянки електроду.

ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

- Джерело живлення зварювальної дуги – випрямляч ВС-300Б.
- Баластний реостат РБ-300.
- Вольтметр.
- Мілівольтметр з відповідним шунтом.
- Штучні покриті електроди типу АНО-21 та голий сталевий дріт діаметрами 3 мм.
- Секундомір.
- Хромель-алюмелеві (ХА) термопари.
- Електронний прилад для реєстрації температури.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

При зварюванні нагрівання електроду здійснюється за рахунок тепла електричної дуги і тепла, що виділяється при проходженні зварювального струму через електрод як активний опір (тепло Джоуля-Ленца). При цьому, електричний струм викликає тепловиділення по всій довжині електроду, починаючи від місця підводу струму, а дуга нагріває електрод лише поблизу торця електроду.

При ручному дуговому зварюванні штучними покритими електродами поступове нагрівання електрода електричним струмом може привести до його значного перегріву, що, в свою чергу, істотно впливає на властивості покриття, протікання хімічних реакцій в ньому і, відповідно, на якість захисту реакційної зони зварювання. Це ставить суттєві обмеження на підвищення зварювального струму з метою збільшення продуктивності праці при ручному дуговому зварюванні покритими електродами. Так, уже при температурі 400...500 °С може відбуватися відокремлювання обмазки від електродного стержня, що робить процес зварювання неможливим.

В ході даної лабораторної роботи пропонується окремо дослідити питання нагрівання електроду струмом і теплом дуги, а також їх сумісну дію на плавлення електроду.

Нагрівання електроду струмом. Розрахунок нагрівання електроду струмом проводять за допомогою номограми, розробленої академіком М. М. Рикалінім (рис. 6) за наступним алгоритмом:

- 1) Для своїх умов вибрати значення емпіричних величин A , D_1 , m (див. табл. 4.1).
- 2) Для своїх значень діаметра електроду (d , мм), щільності зварювального струму (j , А/мм²), початкової температури електроду (T_0 , °С), яка дорівнює температурі навколишнього середовища, розрахувати граничну температуру ($T_{гр}$, °С), до якої нагрівається електрод при нескінченно довгому протіканні через нього струму заданого значення:

$$T_{гр} = m d j^2 + T_0. \quad (4.1)$$

Таблиця 4.1. Значення емпіричних параметрів для розрахунку нагрівання електроду струмом

Електрод		Струм	A , (мм ² · °С)/(А · с)	D_1 , °С	m , (мм ² · °С)/(А ²)
Стержень	Покриття				
Низько- вуглецева сталь	Рутил-органічне (АНО–21)	Постійний	0,031	240	2,65
		Змінний	0,037	300	2,65
	Фтористо- кальцієве УОНИ -13/45	Постійний	0,024	200	2,50
		Змінний	0,027	240	2,50

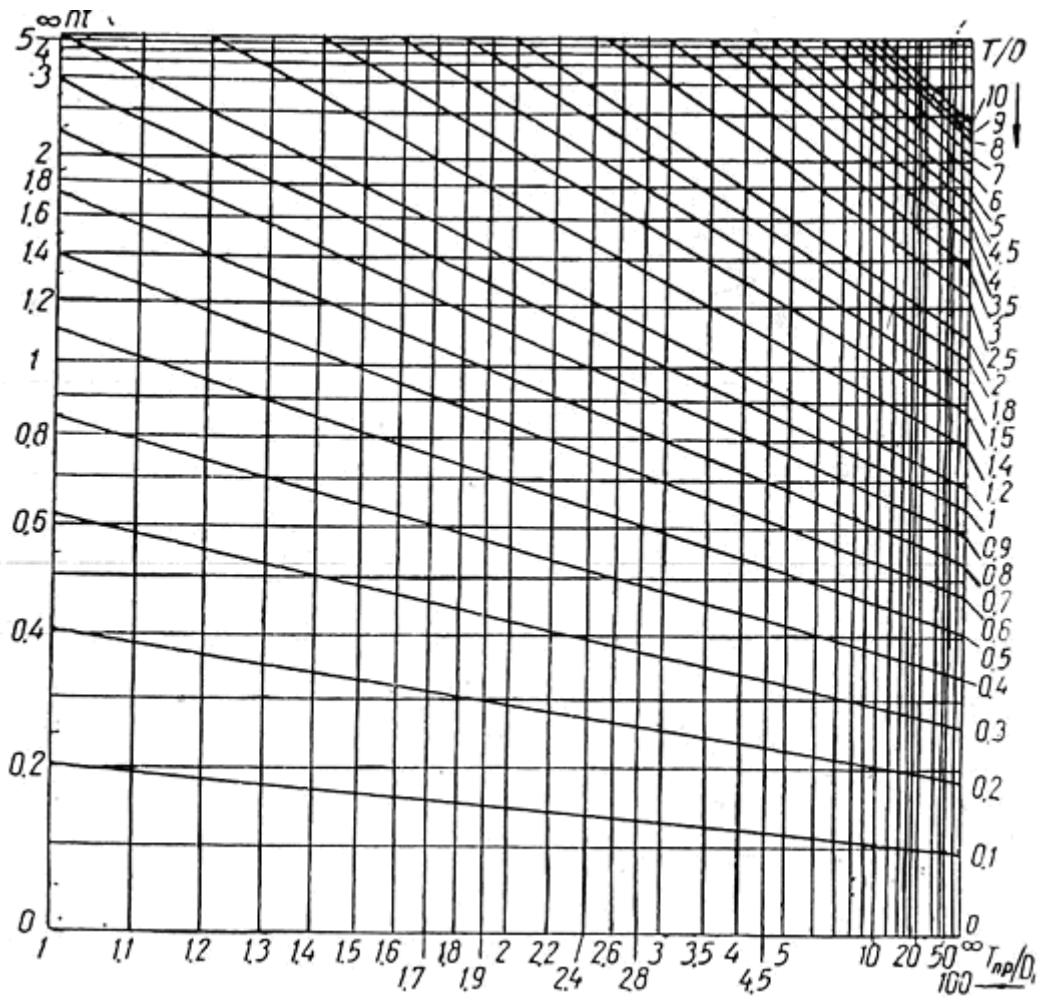


Рис. 6. Номограма для розрахунку процесу нагрівання струмом електроду з низьковуглецевої сталі

3) Розрахувати значення коефіцієнта n :

$$n = \frac{A}{md} \left(\frac{T_{гр}}{D_1} + 1 \right). \quad (4.2)$$

4) З урахуванням значення часу нагріву електроду струмом (t , с) і безрозмірних критеріїв $T_{гр}/D_1$ та nt по номограмі (рис. 6) знайти значення $T_{ел}/D_1$. Тут $T_{ел}$, °С і буде розрахованою температурою електроду в момент часу t після початку нагрівання його струмом.

Нагрівання електроду теплом дуги. Вплив тепла дуги на нагрівання електроду стає помітним лише на ділянці довжиною 5...10 мм, що безпосередньо прилягає до його торця. В цьому випадку, розподіл температури в електроді внаслідок його нагрівання зварювальною дугою (з урахуванням одночасного нагрівання електроду струмом) розраховується за допомогою наступного рівняння:

$$T(x) - T_{\text{ел}} = (T_{\text{к}} - T_{\text{ел}}) \exp\left(-\frac{Wx}{a}\right), \quad (4.3)$$

де $T(x)$ – температура на відстані x від торця електроду, °С; $T_{\text{ел}}$ – температура нагрівання електроду струмом (див. вище), °С; $T_{\text{к}}$ – температура нагріву дугою торця електроду, яку умовно прирівнюють до температури крапель електродного металу (для сталі 2300...2500 °С); W – середня швидкість плавлення ділянки електроду (приймається постійною протягом всього часу його нагрівання і рівною швидкості подавання електроду в дугу), м/с; x – відстань від торця електроду до перетину, нагрівання якого досліджується, м; a – коефіцієнт температуропроводності який для низьковуглецевої сталі дорівнює $a = 8 \cdot 10^{-6}$ м/с².

Характеристики плавлення ділянки електроду. Швидкість плавлення електроду (W , см/с) на ділянці довжиною (l , см), якщо ділянка розплавилася за час (t_p , с) дорівнює:

$$W = l / t_p. \quad (4.4)$$

Продуктивність плавлення електроду (g_p , г/с) з площею поперечного перерізу (F , см²) та густиною металу (для низьковуглецевої сталі $\rho = 7,83$ г/см³) визначається за формулою:

$$g_{\Pi} = W F \rho . \quad (4.5)$$

Коефіцієнт розплавлення електроду (α_p , $\text{г}\cdot\text{А}^{-1}\cdot\text{год}^{-1}$) в залежності від сили зварювального струму ($I_{зв}$, А) дорівнює:

$$\alpha_p = 3600 g_{\Pi} / I_{зв} . \quad (4.6)$$

Нерівномірність швидкості розплавлення електроду розраховується за наступною формулою:

$$\psi = \frac{W_{\text{к}}}{W_{\text{п}}} = \frac{\alpha_{\text{р.к}}}{\alpha_{\text{р.п}}} , \quad (4.7)$$

де $W_{\text{к}}$, $W_{\text{п}}$ – значення швидкості плавлення електроду, відповідно на кінцевій та початковій ділянках; $\alpha_{\text{р.к}}$, $\alpha_{\text{р.п}}$ – значення коефіцієнта розплавлення електроду, відповідно на кінцевій та початковій ділянках.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з лабораторним устаткуванням, його електричною схемою, підрахувати ціну поділки шкали вимірювального обладнання.
2. Перевірити правильність підключення термопари до вимірювального пристрою (нагрівання полум'ям сірника). Встановити в держак електрод АНО-21. Щільно закріпити термопару посередині електроду (в місті закріплення термопари видалити обмазку, так щоб термопара безпосередньо контактувала із електродним стержнем).
3. Закоротити електрод на сталеву пластину і ввімкнути подачу струму на джерелі живлення. Одночасно включити секундомір і фіксувати через кожні три секунди значенні температури електроду та напруги і струму короткого замикання. Не нагрівати електрод вище $900\text{ }^{\circ}\text{C}$!

При досягненні цієї температури спочатку вимкнути струм, а потім звільнити електрод з держака.

- Експериментальні дані занести в табл. 4.2.

Таблиця 4.2. Експериментальні дані по нагріванню струмом електроду АНО-21

Час $t, \text{с}$	Температура $T, \text{°C}$	Напруга К.З. $U, \text{мВ}$	Струм К.З. $I, \text{А}$
3			
6			
9			
...			

- Провести аналогічні експерименти, згідно з пп. 2 – 3, але з голим електродним дротом без обмазки.
- Експериментальні дані занести в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Експериментальні дані по нагріванню струмом дроту без обмазки

Час $t, \text{с}$	Температура $T, \text{°C}$	Напруга К.З. $U, \text{мВ}$	Струм К.З. $I, \text{А}$
3			
6			
9			
...			

- Мідними скрутками поділити електрод АНО-21 на ділянки однакової довжини $l = 5 \text{ см}$. В кінці електроду, поблизу держака закріпити термоміру. Виконати наплавку цим електродом на сталеву пластину. У момент підпалу зварювальної дуги ввімкнути секундомір і фіксувати у табл. 4.4 координати часу, які відповідають моменту розплавлення

кожної із скруток. Одночасно фіксувати через кожні три секунди значення температури електроду, падіння напруги на дузі і зварювального струму та заносити дані в табл. 4.5. Наплавлення виконувати без перерв.

8. Результати розрахованих за формулами (4.4) – (4.6) характеристик плавлення ділянок електрода занести в табл. 4.4.

Таблиця 4.4. Характеристики плавлення ділянок електроду

Координата ділянки від початку електрода, мм	Координата часу, яка відповідає закінченню плавлення ділянки, с	t_p , с	W , см/с	g_p , г/с	α_p , $\Gamma \cdot A^{-1} \cdot год^{-1}$
0...50					
50...100					
100...150					
150...200					
200...250					
250...300					
300...350					

9. За формулою (4.7) розрахувати нерівномірність швидкості розплавлення електроду.
10. За даними табл. 4.2 і 4.3 побудувати термічні цикли нагрівання струмом електроду АНО-21 та дроту без обмазки.
11. За формулами (4.1) – (4.3) розрахувати температуру нагрівання електроду АНО-21 струмом під час наплавки і занести розраховані дані в табл. 4.5.
12. За даними табл. 4.5 побудувати експериментальний та розрахунковий термічні цикли нагрівання електроду струмом під час наплавки і порівняти їх.

13. Зробити висновки по виконаній роботі.

Таблиця 4.5. Експериментальні дані по плавленню електроду АНО-21

Час $t, \text{с}$	Температура $T, \text{°C}$		Напруга $U_{\text{д}}, \text{мВ}$	Струм $I_{\text{зв}}, \text{А}$
	Експериментальні дані	Розрахункові дані		
3				
6				
9				
...				

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які складові теплоти можна виділити в ефекті нагрівання та плавлення електроду ?
2. Як щільність струму впливає на нагрівання електроду ?
3. З яким джерелом нагрівання електроду пов'язана зміна швидкості його плавлення ?
4. Як змінюється електричний опір металевого стержня електроду при збільшенні його температури ?
5. Як ефект нагріву електроду теплом Джоуля-Ленца впливає на фізичні і технологічні властивості покритого електроду, порошкового і суцільного дроту ?
6. Який штучний електрод, за рівних вимог, нагрівається швидше: з обмазкою, чи без обмазки ?
7. Розкажіть про розрахункові та експериментальні методики дослідження нагріву електроду струмом.
8. Розкажіть про розрахункові та експериментальні методики дослідження нагріву електроду струмом і теплом зварювальної дуги.

Лабораторна робота № 5

ПОРИ В ЗВАРНИХ ШВАХ

МЕТА РОБОТИ

Дослідити вплив складу зварювального флюсу на стійкість зварних швів до утворення пор.

ЗАДАЧІ

1. Ознайомитися з методикою оцінки стійкості металу зварного шва до утворення пор за методикою Любавського.
2. Порівняти стійкість до утворення пор зварних швів, зварених під фтористими та безфтористими флюсами.
3. Оцінити вплив азоту у складі металу зварювальної ванни на утворення пор.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методика оцінки стійкості металу зварного шва до утворення пор.

ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

- Пост автоматичного дугового зварювання під флюсом, обладнаний джерелом живлення ТДФ–1001У3 і зварювальним трактором ТС-17М.
- Флюси плавлені АН-348А, АН-44.
- Зразок з низьковуглецевої сталі з попередньо виконаними поздовжніми канавками.
- Зразок з низьковуглецевої сталі з поперечними наплавками, які виконані покритим електродом та голим електродним дротом без обмазки.
- Гідрат окису заліза (іржа) $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Пори являють собою наповнені газами пустоти в металі зварного шва. Вони відносяться до небажаних дефектів зварних швів. Виникнення пор визначається металургійними процесами в реакційній зоні зварювання, взаємодією металу з навколишнім середовищем і умовами кристалізації металу зварювальної ванни. Зазвичай пори заповнені невиділеними з металу бульбашками водню, азоту, водяної пари та окису вуглецю.

Методика розроблена К. В. Любавським дозволяє оцінити стійкість металу зварного шва до утворення пор водневого походження. За цією методикою у зразку (див. рис. 7) виконують поздовжні канавки, розбиті на ділянки довжиною 100 мм. На кожному ділянці насипають певну кількість пороутворюючої речовини (зазвичай іржі) та рівномірно розподіляють її по всій довжині ділянки. Потім виконують наплавлення по канавці в умовах, які досліджуються. За критерій стійкості металу зварного шва, що досліджується приймають мінімальну кількість пороутворюючої речовини на 100 мм шва, яка приводить до появи зовнішніх пор у шві.

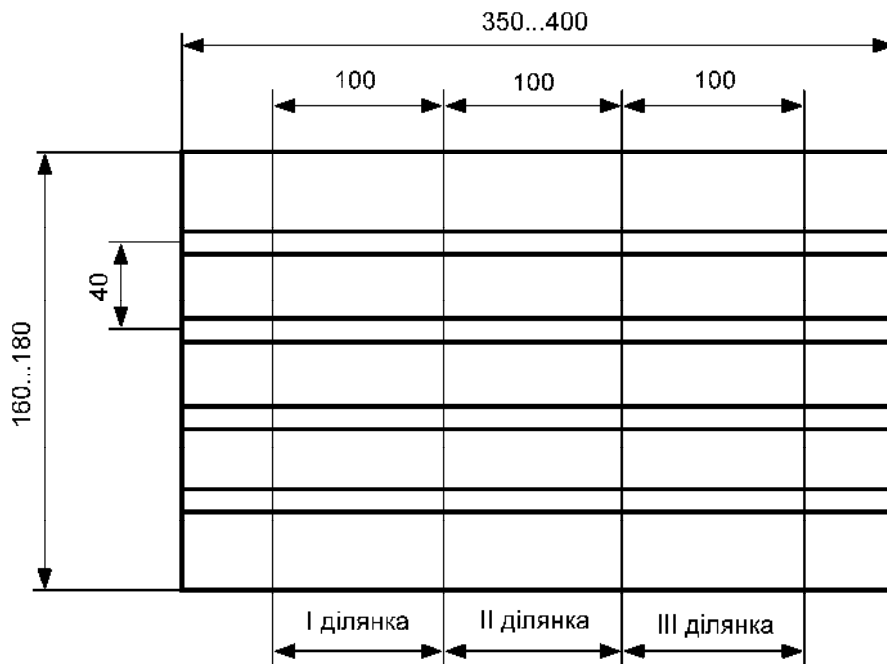


Рис. 7. Зразок для випробувань за методикою Любавського

При оцінці стану наплавленого металу звертають увагу на шлакову корку та на поверхню власне зварного шва. Виникнення „побитості” шва, тобто вм’ятин на поверхні наплавленого валика, вказує на присутність в металі шва критичної кількості водню і служить ознакою можливого пороутворення.

Метал шва якісно оцінюють за наступною шкалою: побитість шва, одиничні пори, сітка пор, повне розпушення металу.

При проведенні цього дослідження необхідно уникати видування дугою іржі з канавки.

Вплив азоту у складі металу зварювальної ванни на утворення пор оцінюють за результатами автоматичної наплавки валика під флюсом вздовж пластини (рис. 8), на якій попередньо були виконані дві поперечні наплавки (якісним покритим електродом та голим дротом цього ж електроду без обмазки), що імітують прихватки, які зазвичай виконуються при складанні виробу перед зварюванням.

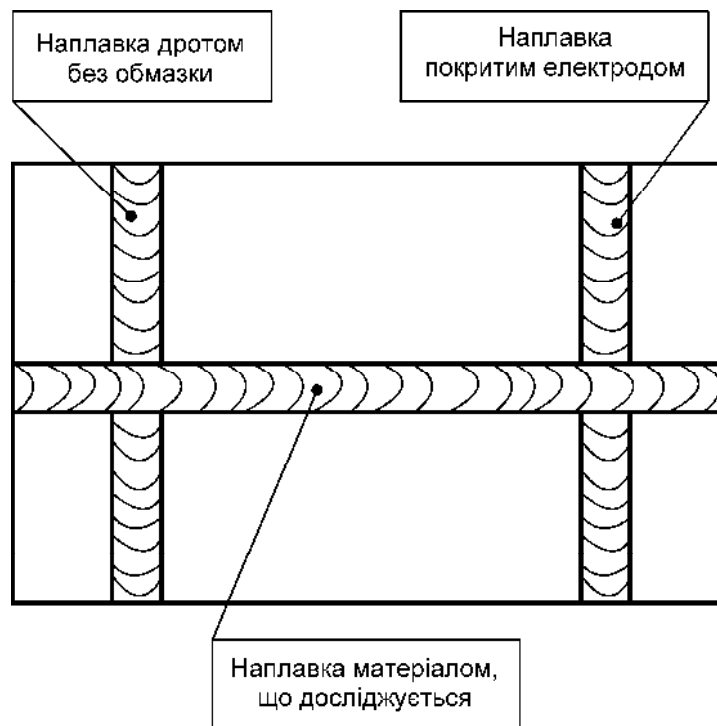


Рис. 8. Зразок з наплавками, що імітують прихватки

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. За методикою Любавського порівняти стійкість металу швів до утворення водневих пор при автоматичному зварюванні під флюсами типів АН-348А та АН-44. Вміст основних компонентів зварювальних флюсів АН-348А та АН-44 наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Хімічний склад плавлених флюсів загального призначення

Флюс	Середній вміст компонентів, % ваг.							
	SiO ₂	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	CaF ₂	FeO
АН-348А	43	36	-	4	6	6	5	-
АН-44	40	-	15	-	35	-	-	10

2. Результати проведеного аналізу занести до табл. 5.2.
3. Оцінити вплив азоту, що міститься в металі зварювальної ванни при зварюванні під флюсом АН-348А електродним дротом Св-08А. Описати пори, що при цьому утворюються.
4. Порівняти результати експериментів згідно пп. 1 і 3 та зробити висновки по виконаній роботі.

Таблиця 5.2. Стійкість металу зварного шва до утворення пор

Флюс	Кількість внесеної іржі, мг			Опис пор, що утворилися		
	I ділянка	II ділянка	III ділянка	I ділянка	II ділянка	III ділянка
АН-348А						
АН-44						

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть гази, що приводять до утворення пор в металі зварного шва.
2. Перерахуйте джерела насичення зварювальної ванни воднем та азотом при різних способах дугового зварювання.
3. Опишіть механізм утворення водневих пор при зварюванні.

4. Опишіть механізм утворення азотних пор при зварюванні.
5. Назвіть технологічні методи запобігання утворенню пор при зварюванні.
6. Назвіть металургійні методи запобігання утворенню пор при зварюванні.
7. Які методики оцінки стійкості металу зварного шва до утворення пор Вам відомі ?
8. За результатами роботи опишіть вплив хімічного складу зварювального флюсу на стійкість металу зварного шва до утворення пор.

Лабораторна робота № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

МЕТА РОБОТИ

Встановити вплив матеріалу електродів на осцилограми зварювального струму та падіння напруги на дузі.

ЗАДАЧІ

1. Ознайомитися з методикою осцилографування електричних параметрів зварювальної дуги за допомогою персонального комп'ютера з аналого-цифровим перетворювачем (АЦП).
2. Записати (замалювати) осцилограми зварювального струму та падіння напруги на дузі для електродів з різних матеріалів.
3. Обробити отриманні осцилограми та побудувати динамічну вольт-амперну характеристику (ВАХ) зварювальної дуги.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Осцилографування електричних параметрів зварювальної дуги за допомогою персонального комп'ютера з АЦП.

ОБЛАДНАННЯ ТА МАТЕРІАЛИ

- Джерело живлення зварювальної дуги – зварювальний трансформатор СТШ-250.
- Баластний реостат РБ-300.
- Шунт.
- Вольтметр та мілівольтметр.
- Дільник напруги.

- Персональний комп'ютер з АЦП.
- Графітові електроди, діаметром 5 мм.
- Штучні покрити електроди АНО-21 діаметром 3 мм.
- Пластина з низьковуглецевої сталі, розмірами 100×100×10 мм.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Параметри, які характеризують існування електричної дуги змінного струму, традиційно оцінюють ґрунтуючись на аналізі осцилограм шлейфних та електронних осцилографів. У той же час, тривалість перехідних процесів при електродуговому зварюванні на змінному струмі складає $10^{-3} \dots 10^{-4}$ с, що, відповідно до теореми Найквіста, вимагає частоти дискретизації сигналу відповідно 2...200 кГц. Розрізнявальна здатність вимірювальних пристроїв шлейфних осцилографів може досягати 10 кГц, що в принципі може бути достатнім для виявлення деяких особливостей перехідних процесів. Однак, зі збільшенням частоти сигналу, який може реєструватися механічною системою вібратора шлейфного осцилографа, різко знижується його чутливість. Це призводить до того, що для реєстрації параметрів процесу горіння дуги при зварюванні, можливо використовувати шлейфи, які дозволяють записувати сигнали з частотою до 2...4 кГц. Цього явно недостатньо для реєстрації процесів, тривалість яких складає $10^{-3} \dots 10^{-4}$ с. Використання електронних осцилографів, у тому числі запам'ятовувальних, так само не дозволяє фіксувати ці процеси з достатньою точністю. Пов'язано це з обмеженням по тривалості розгорнення електронного променя (2×10^{-3} с) і складністю синхронізації моменту початку розгорнення і моменту існування дугового розряду, що вивчається. Ще одним недоліком використання описаних приладів для реєстрації процесу горіння дуги є відсутність на осцилограмах синхронізованої з вхідним

сигналом нульової лінії і представлення отриманих даних у графічному форматі, наступне оцифровування якого накладає істотні погрішності.

Для перетворення аналогового сигналу, що характеризує зміни процесу існування дугового розряду при зварюванні в цифровий сигнал, можна використовувати аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Аналоговий сигнал, що надходить до АЦП може бути зафіксованим з частотою дискретизації до 500 кГц. Наявність відповідного програмного забезпечення дозволяє оперативно проглядати отриманні осцилограми, зберігати їх на жорсткому диску ПК, та одержувати дані, що характеризують процес зварювання, у вигляді текстового файлу, який, в подальшому, може бути оброблений різним програмним забезпеченням.

На осцилограмах струму та напруги виділяють слідуєчі характерні параметри:

- напруга холостого ходу джерела живлення (U_x);
- напруга підпалу дуги (U_n);
- час підпалу (t_n);
- час існування дуги (t_d);
- час зсуву фаз між струмом та напругою (t_z);
- максимальні амплітудні значення струму та напруги (U_A, I_A).

Під час горіння дуги змінного струму між електродами з однакового матеріалу, осцилограми струму і падіння напруги на дузі симетричні відносно осі ординат. При зварюванні штучним покритим електродом, матеріал електроду, за рахунок впливу компонентів електродної обмазки виникає деяка асиметрія в осцилограмах електричних параметрів зварювальної дуги. У випадку, коли зварювальна дуга існує між різними матеріалами (дуга графіт – сталь), асиметрія проявляється ще більш значної мірою. Пов'язано це, насамперед, з катодними та анодними процесами.

Ускладнений процес збудження дугового розряду змінного струму проявляється на осцилограмі у наявності великого піка запалювання. Відсутність піка запалювання свідчить про існування залишкової іонізації дугового проміжку після зникнення дуги, що суттєво покращує умови виникнення дуги у наступному полуперіоді. Час існування дуги також залежить від ступеню іонізації дугового проміжку та потенціалу іонізації елементів, що входять до складу зварювальних матеріалів. При наявності у зварювальних матеріалах елементів з низьким потенціалом іонізації час існування дуги більший (дуга стабільніша).

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись з лабораторним устаткуванням для дослідження зварювальної дуги змінного струму. Замалювати в протоколі лабораторної роботи схему експериментальної установки (рис.9).
2. Записати (замалювати) осцилограму холостого ходу джерела живлення зварювальної дуги змінного струму. Провести тарування АЦП.
3. Записати (замалювати) осцилограми падіння напруги на зварювальній дузі та сили зварювального струму для слідуєчих пар електродів:
 - графіт - графіт;
 - графіт - сталь;
 - штучний електрод АНО-21 – сталева пластина.
4. Розшифрувати осцилограми, зробивши відповідні записи у табл. 6.1, та позначивши характерні ділянки.
5. Побудувати динамічну ВАХ періоду для різних пар електродів.
6. Зробити висновки по виконаній роботі.

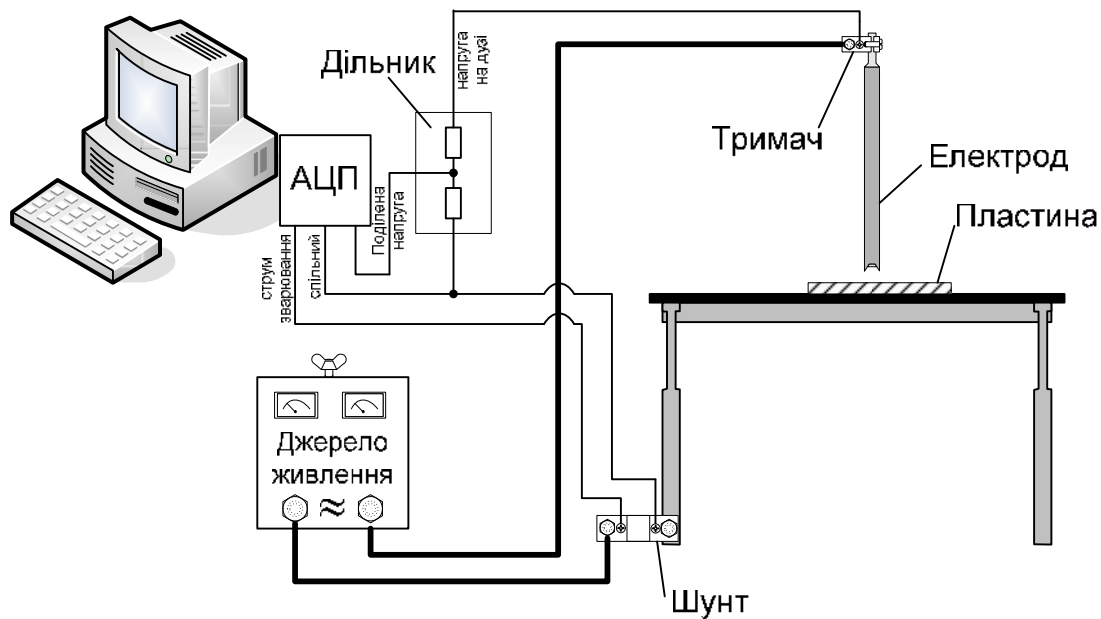


Рис. 9. Схема експериментальної установки для дослідження зварювальної дуги змінного струму.

Таблиця 6.1. Характеристики осцилограм електричних параметрів зварювальної дуги

Електроди	Прямий полуперіод		Обернен. полуперіод		Асиметричність	
	$I_{зв}, A$	$U_{д}, B$	$I_{зв}, A$	$U_{д}, B$	$\Delta I_{зв}, A$	$\Delta U_{д}, B$
графіт - графіт						
графіт - сталь						
АНО-21 – стальна пластина						

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Умови, які визначають можливість горіння зварювальної дуги.
2. Процеси, які мають місце при підпалі зварювальної дуги.
3. Особливості горіння дуги на змінному струмі.

4. Зв'язок між напругою джерела живлення, та напругою на дузі.
5. Зв'язок між осцилограмами струму та напруги при існуванні дуги змінного струму.
6. Причини виникнення асиметрії на різних полуперіодах.
7. Яке розміщення електродів прийнято називати прямою та оберненою полярністю ?
8. Сутність вентильного ефекту.

Список рекомендованої літератури

1. Теорія процесів зварювання-1. Джерела нагрівання та теплові процеси при зварюванні. Текст лекцій / В. М. Коперсак. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 384 с.
2. Теорія процесів зварювання-2. Фізико-хімічні та металургійні процеси при зварюванні. Текст лекцій / В. М. Коперсак. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 252 с.
3. **Волченко, В. Н.** Теория сварочных процессов [Текст]: учеб. для вузов по спец. «Оборудование и технология сварочн. пр-ва» / В. Н. Волченко, В. М. Ямпольский, В. А. Винокуров и др.; под ред. В. В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.: ил.; 22 см. – Библиогр.: с. 550-551. – 24000 экз. – ISBN 5-06-001473-8.
4. **Петров, Г. Л.** Теория сварочных процессов (с основами физической химии) [Текст]: учеб. для вузов / Г. Л. Петров, А. С. Тумарев. – Изд. 2-е, перераб. – М.: Высш. шк., 1977. – 392 с.: ил.; 22 см. – Библиогр.: с. 389-390. – 20000 экз.
5. **Багрянский, К. В.** Теория сварочных процессов [Текст]: учеб. для вузов / К. В. Багрянский, З. А. Добротина, К. К. Хренов. – Изд. 2-е, перераб. – К.: Вища шк., 1976. – 424 с.: ил.; 22 см. – Библиогр.: с. 421. – 19000 экз.
6. **Алов, А. А.** Основы теории процессов сварки и пайки [Текст]: учеб. пособие для высш. техн. учебн. заведений / А. А. Алов. – М.: Машиностр., 1964. – 272 с.: ил.; 22 см. – Библиогр.: с. 268-270. – 16500 экз.
7. **Лесков, Г. И.** Электрическая сварочная дуга [Текст] / Г. И. Лесков. – М.: Машиностр., 1970. – 335 с.: ил.; 22 см. – Библиогр.: с. 329-333. – 11000 экз.
8. **Квасницький, В. В.** Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізико-хімічних і металургійних процесів та здатності металів до зварювання [Текст]: навч. посібн. / В. В. Квасницький. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 184 с.: іл.; 20,5 см. – Бібліогр.: с. 151-154. – 300 екз. – ISBN 5-87848-096-4.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Організація проведення лабораторних робіт.....	4
Лабораторні роботи:	
№ 1 ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ.....	6
№ 2 ІОНІЗУЮЧА ДІЯ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОДНОГО ПОКРИТТЯ..	12
№ 3 ПЕРЕНОС ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ У ЗВАРЮВАЛЬНІЙ ДУЗІ...	21
№ 4 НАГРІВАННЯ ТА ПЛАВЛЕННЯ ШТУЧНИХ ЕЛЕКТРОДІВ.....	27
№ 5 ПОРИ В ЗВАРНИХ ШВАХ.....	36
№ 6 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ....	41
Список рекомендованої літератури.....	47