

О. П.Шиліна, А. Ю. Осадчук

# **ПРАКТИКУМ З ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ**

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький державний технічний університет

О. П.Шиліна, А. Ю. Осадчук

## **ПРАКТИКУМ З ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ**

Навчальний посібник

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник для студентів бакалаврських напрямків 6.0923 - *“Зварювання”*, 6.0902 – *“Інженерна механіка”* всіх спеціальностей. Протокол №8 від "29" березня 2001 р.

Вінниця ВДТУ 2002

УДК 621.791(075)  
Ш57

Р е ц е н з е н т и:

*В. Ф. Анісімов*, доктор технічних наук професор  
*В. І. Савуляк*, кандидат технічних наук, професор  
*В. В. Біліченко*, кандидат технічних наук, доцент

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

**О. П. Шиліна, А. Ю. Осадчук**  
Ш57 **Практикум з електрозварювання.** Навчальний посібник. -  
Вінниця: ВДТУ, 2002. - 106 с.

Посібник містить 14 лабораторних робіт, 11 з яких в значній мірі охоплюють курс електрозварювання, а 3 відносяться до паяння. В додатках широко представлено паспортні данні на електроди для ручного дугового зварювання.

Значне місце займають лабораторні роботи з теоретичних основ електрозварювання та теплових явищ при зварюванні.

Виконання лабораторних робіт дозволить студентам отримати знання фізичних процесів електрозварювання, які стануть в нагоді для їх наступного використання у курсовому, дипломному проектуванні та майбутній інженерній діяльності.

УДК 621.791(075)  
© О. П. Шиліна, А. Ю. Осадчук, 2002

## З М І С Т

• ВСТУП.....	4
• <i>Лабораторна робота №1. ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ.....</i>	5
• <i>Лабораторна робота №2. ІОНІЗУЮЧА ДІЯ МАТЕРІАЛІВ, ЕЛЕКТРОДНИХ ПОКРИТТІВ, ЕЛЕКТРОДІВ РІЗНИХ МАРОК І ФЛЮСІВ.....</i>	12
• <i>Лабораторна робота №3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДУГОВОГО РОЗРЯДУ МІЖ ВУГІЛЬНИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ.....</i>	17
• <i>Лабораторна робота № 4. ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ РОЗПЛАВЛЕННЯ, НАПЛАВЛЕННЯ ТА ВТРАТ НА УГАР ТА РОЗБРИЗКУВАННЯ ПРИ РУЧНОМУ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ.....</i>	21
• <i>Лабораторна робота №5. НАГРІВАННЯ Й РОЗПЛАВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОДІВ.....</i>	25
• <i>Лабораторна робота №6. ПРОПЛАВЛЕННЯ ОСНОВНОГО МЕТАЛУ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ ВАЛИКІВ.....</i>	29
• <i>Лабораторна робота №7. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОТИ КАЛОРИМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ.....</i>	32
• <i>Лабораторна робота №8. РОЗРАХУНОК ТА ПЕРЕВІРКА РЕЖИМІВ АВТОМАТИЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ ПІД ШАРОМ ФЛЮСУ ЗА ДАНОЮ ГЛИБИНОЮ ПРОВАРУ.....</i>	36
• <i>Лабораторна робота №9. УМОВИ ГОРІННЯ ДУГИ, ФОРМУВАННЯ ВАЛИКА ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРИ ЗВАРЮВАННІ В СЕРЕДОВИЩІ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ.....</i>	43
• <i>Лабораторна робота №10. ПОПЕРЕЧНІ Й ПОЗДОВЖНІ ВКОРочЕННЯ ПРИ ЗВАРЮВАННІ.....</i>	49
• <i>Лабораторна робота 11. ЗВАРЮВАННЯ ЛЕГОВАНИХ І ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ.....</i>	53
• <i>Лабораторна робота №12. ВИЗНАЧЕННЯ ЗМОЧУВАННЯ ТА РОЗТІКАННЯ РІДКОГО ПРИПОЮ ПО ПОВЕРХНІ МЕТАЛУ.....</i>	59
• <i>Лабораторна робота №13. КАПЛЯРНІ ЯВИЩА ПРИ ПАЯННІ.....</i>	64
• <i>Лабораторна робота №14. ВПЛИВ ВЕЛИЧИН НАПУСКУ НА МІЦНІСТЬ СПЯНОГО З'ЄДНАННЯ.....</i>	68
• <i>Додатки. ОСНОВНІ ПАСПОРТНІ ДАНІ НА МЕТАЛЕВІ ЕЛЕКТРОДИ ДЛЯ РУЧНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ І ПІДВОДНОГО ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ.....</i>	71
• ЛІТЕРАТУРА.....	105

## Вступ

Мета проведення лабораторних робіт – закріпити теоретичні знання з електрозварювання з курсу “Зварювання плавленням” та паяння на практиці. При цьому необхідно вивчити основи методики проведення експериментальних досліджень, обробки, аналізу та використання отриманих результатів для вирішення практичних задач.

До виконання лабораторних робіт допускаються підготовлені студенти; ступінь готовності визначається попереднім опитуванням з оцінкою (рейтингом) відповідно до існуючих критеріїв (модульно-рейтингової системи). Після чого викладач перевіряє його, зараховуючи або не зараховуючи. В останньому випадку студент до наступного заняття не допускається.

**Звіт по кожній роботі містить:** назву та мету роботи; назву, тип та технічні характеристики обладнання, пристосувань та вимірювальних засобів, що застосовуються; розрахунки; результати вимірювань та розрахунків у вигляді таблиць; необхідні графіки та ілюстрації; висновки з роботи.

До роботи в лабораторіях допускаються лише ті студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки, виробничої санітарії, протипожежної безпеки; здали залік і розписались у журналі з техніки безпеки.

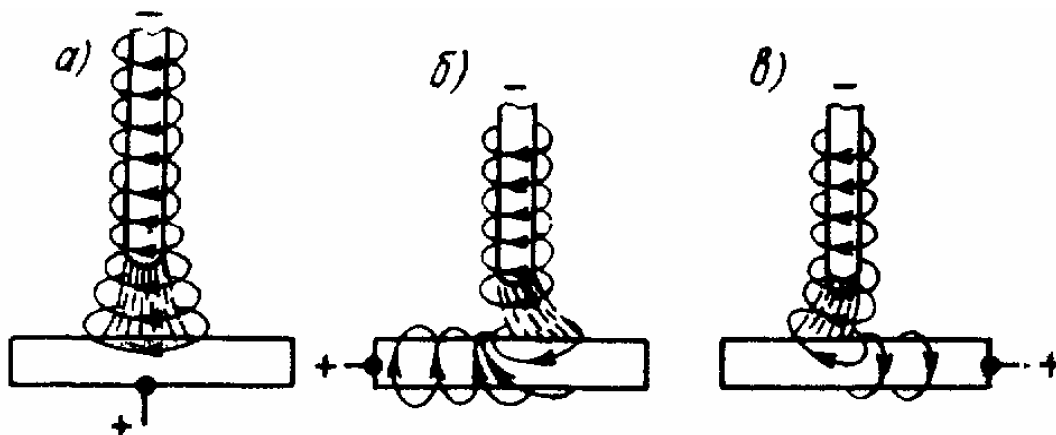
# Лабораторна робота №1

## Властивості зварювальної дуги

**Мета роботи:** Вивчити властивості зварювальної дуги в залежності від технологічних умов зварювання, виду та полярності струму.

### Зміст роботи

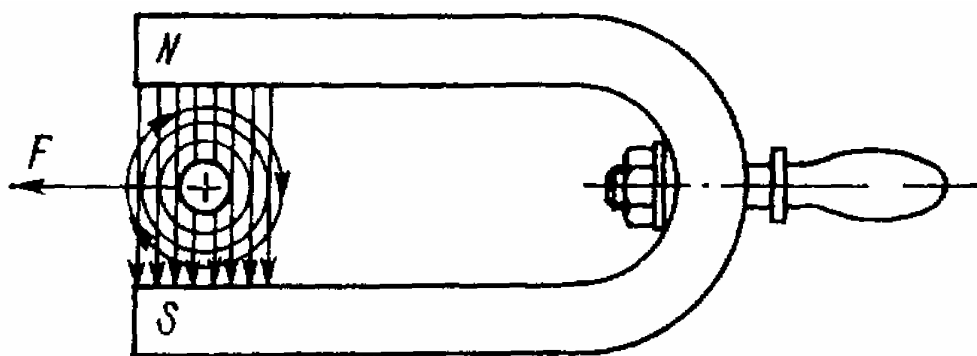
Стійкість зварювальної дуги та можливість направлення її у відповідне місце при зварюванні постійним струмом залежить від напрямку дії результуючого магнітного поля навколо дуги, яке часто викликає відхилення дуги від нормального положення. Таке явище називають магнітним дуттям.



**Рисунок 1** – Вплив положення струмопідводу на відхилення дуги:  
а - струмопровід збігається з віссю дуги; б - струм до виробу підведений ліворуч від дуги; в - струм до виробу підведений праворуч від дуги

Стовп зварювальної дуги можна розглядати як гнучкий провідник електричного струму, який як і звичайний провідник із струмом, під впливом магнітного поля відхиляється в напрямку найменшого згущення магнітних силових ліній.

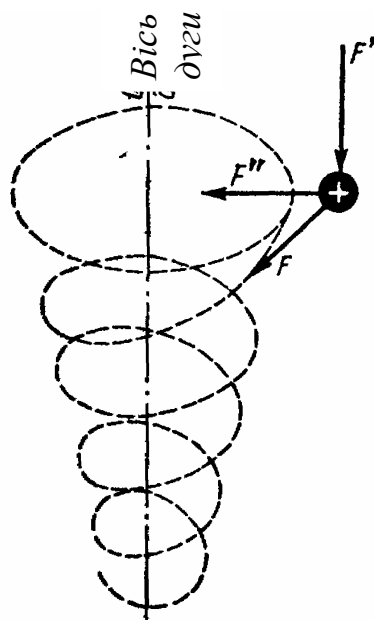
Розглянемо вплив постійного струму різних магнітних полів та феромагнітних мас на зварювальну дугу. Електрична дуга при впливі власного магнітного поля буде відхилятися в залежності від місця підключення до виробу струмопідводу в напрямку розрядження магнітних силових ліній (рис. 1 а, б, в). У результаті взаємодії магнітного поля стовп дуги з поперечним магнітним полем буде відхилятися в напрямку найменшої магнітної індукції (рис. 2).



*Рисунок 2 – Відхилення дуги в залежності від напрямку струму або розташування підковоподібного магніту*

На дугу також впливає поздовжнє магнітне поле соленоїда, яке паралельне осі стовпа дуги та електричному полю. Таке магнітне поле не робить ніякої дії на заряджені частинки, що рухаються в напрямку електричного поля, але на заряджені частинки, які рухаються в поперечному напрямку цього поля, воно суттєво впливає. Оскільки температура центральної частини стовпа дуги вища периферійної, то дифузія частинок починається в напрямку меншої температури по радіусу.

При русі в радіальному напрямку заряджені частинки перетинають магнітне поле, яке взаємодіючи з ними, створює силу  $F$  (рис. 3), що діє на частки перпендикулярно магнітному полю.



*Рисунок 3 – Схема дії сил на іон у зварювальній дузі за наявності поздовжнього магнітного поля*

В результаті частинки стовпа дуги будуть обертатися по колу. Але на них діє і поздовжнє електричне поле, під дією якого частинки переміщуються по вертикалі в напрямку сили  $F$ . Таким чином, спільна дія поздовжнього

магнітного та електричного поля примушують заряджені частинки рухатись по спіралі під впливом результуючої сили  $F$ . При цьому доцентрова сила, яка виникла, стягує стовп до вертикальної осі.

Дія феромагнітних мас на відхилення дуги обумовлено тим, що магнітна проникність їх в тисячі разів більша магнітної проникності повітря. А магнітні силові лінії прагнуть замкнутися на шляху найменшого опору. Концентричне магнітне поле навколо дуги викривлюється і воно буде притиснутим до феромагнітного тіла.

У випадку зварювання при змінному магнітному струмові магнітне дугтя буде значно меншим або зовсім непомітним. Це відбувається з тієї причини, що змінний за величиною і напрямком магнітний потік дуги, що протидіє феромагнетизму, наводить в ній вихрові струми, які створюють власне магнітне поле, що спрямоване проти магнітного поля зварювального струму.

### **Необхідні матеріали**

1. Вугільні або графітові електроди ( $d_{ел} = 8 \div 10$  мм).
2. Металеві пластини (100x100x10 мм).
3. Металевий електрод з товстим покриттям ( $d_{ел} = 4$  мм).

### **Обладнання, пристосування, інструмент**

1. Зварювальний пост постійного та змінного струму з електровимірювальними приладами.
2. Соленоїд ( $d = 400 \div 500$ )мм з дроту перерізом  $25$  мм<sup>2</sup>, кількість витків не менша 20 для створення поздовжнього магнітного поля.
3. Підковоподібний магніт.
4. Підставка.
5. Штатив.
6. Сталевий брус.
7. Тримачі 2шт. (один довжиною 30 мм).

### **Порядок виконання роботи**

**Дослід 1.** Вивчити вплив власних магнітних полів на зварювальну дугу, що горить між вугільними електродами (постійний струм).

1. Закріпити вугільні електроди в тримачі.
2. Закріпити довгий тримач в електродотримачі на штативі, а короткий – в електродотримачі зварювального дроту.
3. Підібрати силу струму короткого замикання 230 А (у звіті вказати дійсну силу зварювального струму).

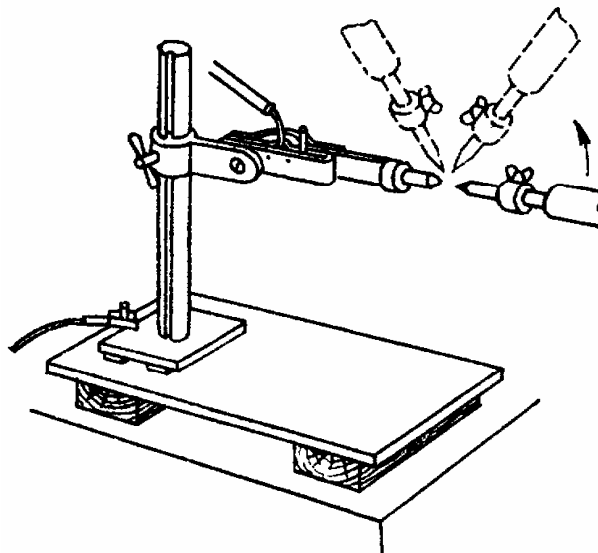


4. Збудити дугу між вугільними електродами при горизонтальному положенні електродів. При горінні дуги повертати один електрод відносно іншого на кути приблизно  $120^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  (рис. 4).

З'ясувати реальність явища та ескізно зобразити розташування та форму дуги при різних кутах між електродами.

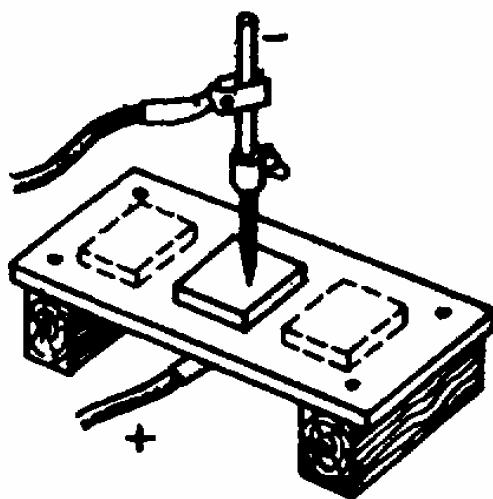
**Дослід 2.** Вивчити дугу між вугільними електродами та металевою пластиною при різних її положеннях відносно струмопідводів.

1. Закріпити електродотримач на контактній планці підставки.



*Рисунок 4 – Взаємне розташування вугільних електродів при вивченні впливу власних магнітних полів*

2. Збудити дугу при такому положенні електрода, щоб підведення струму до пластини збіглося з віссю вугільного електрода (рис. 5).



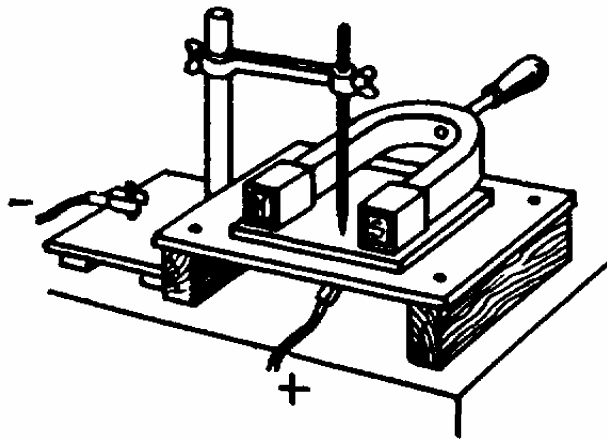
*Рисунок 5 – Вплив місця розташування струмопідводу на відхилення дуги*

3. В процесі горіння дуги переміщувати пластину праворуч від струмопроводу, повертаючи електрод відносно пластини на кути  $45^{\circ}$ -

60° та фіксує при цьому форму і положення дуги відносно місця підводу струму до пластини. Досліди 1 та 2 повторити на змінному струмі.

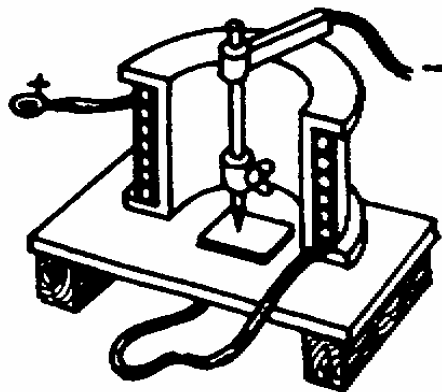
**Дослід 3.** Вивчити вплив стороннього поперечного магнітного поля на зварювальну дугу (постійний струм).

1. Збудити дугу між пластиною та вугільним електродом.
2. Під час горіння дуги піднести до неї підковоподібний магніт, як вказано на рис. 6.
3. Змінити напрямок магнітного поля підковоподібного магніту, повернувши його на 180°. З'ясувати суть явищ, які відбуваються з дугою, та ескізно зобразити розташування дуги між електродом та пластиною.



*Рисунок 6 – Розміщення підковоподібного магніту відносно дуги*

**Дослід 4.** Вивчити вплив розповсюдженого магнітного поля соленоїда на зварювальну дугу (постійний струм прямої полярності)



*Рисунок 7 – Взаємне розташування соленоїда та електрода*

1. Замінити короткий тримач, закріплений в електродотримачі зварювального дроту.
2. Встановити соленоїд на підставку та під'єднати його послідовно в зварювальний ланцюг (рис. 7).
3. Покласти пластину на підставу в середину соленоїда.
4. Збудити дугу всередині соленоїда між пластиною та вугільним електродом.

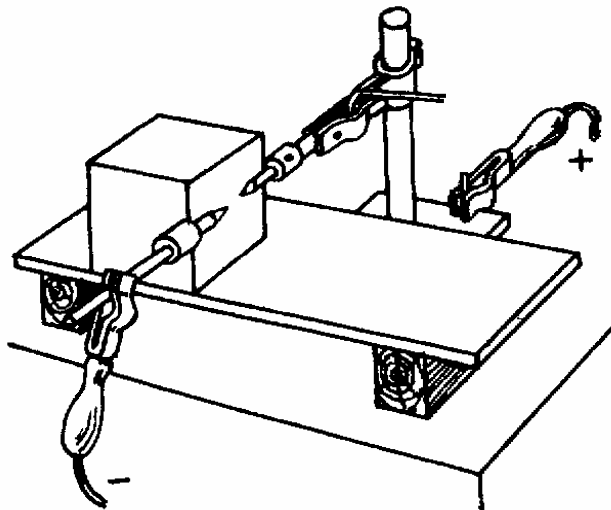
5. В процесі горіння дуги змінювати її довжину і слідкувати за характером її горіння. З'ясувати суть явища, що відбувається, та ескізно зобразити форму дуги між електродом і пластиною.

**Дослід 5.** Вивчити вплив феромагнітних мас на зварювальну дугу (постійний струм).

1. Закріпити довгий тримач в електродотримачі на штативі, а другий – в електродотримачі зварювального дроту.

2. Покласти сталевий брус на підставку.

3. Встановити штатив з тримачем на зварювальний стіл так, щоб вугільний електрод був розташований на відстані 10 - 15 мм від бруса, а від підставки на 20-25 мм, далі збудити дугу між вугільними електродами. Осі електродів повинні збігатися та перебувати в горизонтальному положенні (рис. 8). Повторити дослід на змінному струмі. З'ясувати суть явища, що відбувається, та ескізно зобразити розташування дуги між двома вугільними електродами та сталевим брусом.



*Рисунок 8 – Розміщення феромагнітної маси й електрода*

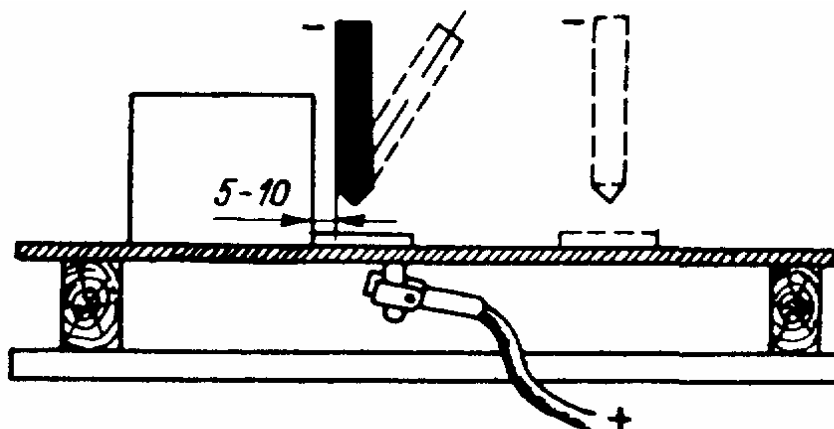
**Дослід 6.** Вивчити будову дуги поблизу феромагнітної маси та на кінці пластини.

1. Зібрати штатив. Підключити електроди до тримача.

2. Збудити дугу між електродом та пластиною, розташованою на підставці (рис. 9).

3. Підвести дугу до сталевго бруса, тримаючи електрод під кутом  $90^{\circ}$  по відношенню до пластини на відстані 5 - 10мм. Спостерігати, якою буде форма дуги, далі повернути електрод по відношенню до пластини на кут  $60^{\circ}$  і також спостерігати за формою дуги.

4. Перемістити пластину на край підставки. Далі збудити дугу на краю пластини, розташовуючи електрод по відношенню до неї під кутом  $90^{\circ}$ . Дослід проводити з металевим електродом на постійному струмі і повторити його з вугільним електродом та металевим електродом на змінному струмі. З'ясувати суть явища, що відбувається з дугою, та ескізно зобразити його.



**Рисунок 9** – Розміщення електрода відносно струмопідводу і феромагнітної маси

**Дослід 7.** Встановити вплив полярності струму при зварюванні вугільною дугою на насичення основного металу вуглецем.

1. Зачистити пластину.
2. Підібрати силу струму для електрода ( $d_{el} = 10$  мм,  $I_{зв} = 250-270$  А).
3. На прямій полярності збудити дугу та розплавляти протягом 60 – 90 с невелику ділянку пластини діаметром 20 - 25 мм. Дослід повторити при зворотній полярності.
4. Після охолодження у воді зачистити наждачним папером середню частину ділянки, що розплавлювалася. Перевірити твердість ділянки з твердістю основного металу.

#### **Зміст звіту**

1. Методика виконання дослідів.
2. Ескізні зображення форми зварювальної дуги за основними пунктами дослідів.
3. Висновки і пояснення отриманих результатів.

#### **Контрольні питання.**

1. Що називається зварювальною дугою, процеси, які відбуваються на окремих її ділянках?
2. Вплив на зварювальну дугу типу струму, матеріалу електродів і складу газів.
3. Вплив власного магнітного поля і нахилу електрода на зварювальну дугу.
4. Як впливає на дугу магнітне поле?
5. Чому зварювальна дуга притягається до феромагнітної маси?
6. Як і чому полярність при наплавленні вугільним електродом впливає на твердість наплавлення?

## Лабораторна робота №2

### Іонізуюча дія матеріалів, електродних покриттів, електродів різних марок і флюсів

**Мета роботи:** Вивчити іонізуючу дію матеріалів електродних покриттів, електродів різних марок та флюсів за довжиною обриву дуги.

#### Зміст роботи

Гази навіть при температурах, набагато вищих кімнатної, складаються із недисоційованих молекул, отже, є ізоляторами, а при температурі близькій до  $140^{\circ}\text{C}$  в газі з'являються позитивно та негативно заряджені іони, які роблять його провідником електричного струму.

Виникнення дуги обумовлене емісією електронів з катода й іонізацією в дуговому проміжку. Виділення електронів з поверхні катода досягається за рахунок термоелектронної, автоелектронної емісії й емісії в результаті ударів позитивних іонів по катоду. Іонізація дугового проміжку викликає такі явища: нагрівання (термічна іонізація), опромінення (фотоіонізація), співударяння.

Іонізація співударяння полягає в тому, що електрони, рухаючись з великою швидкістю і зустрічаючись з нейтральними атомами газів, вдаряються об них, вибивають електрони, іонізують атоми. Кількість енергії, яку необхідно затратити для відриву електрона від атома, називають роботою іонізації  $eU$ , величина якої буде різною для різних елементів. Роботу іонізації при розрахунку необхідної швидкості електрона будемо приймати рівною потенціалу іонізації, вираженому в вольтах. На основі закону збереження енергії приріст кінетичної енергії електрона  $mv^2/2$ , дорівнює роботі, яка затрачена на переміщення електрона, отже можна написати таке рівняння:

$$mv^2/2=eU, \quad (1)$$

де  $m$  – маса електрона ( $9.1 \cdot 10^{-28}$ ), кг;

$v$  – швидкість електрона, км/с;

$e$  – заряд електрона ( $1.6 \cdot 10^{-19}$ ), Кл;

$U$  – різниця потенціалів на ділянці шляху пройденого електроном, В.

Визначаючи з рівняння (1) швидкість електрона, одержимо:

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

Підставляючи в це рівняння значення  $e$  та  $m$ , одержимо швидкість електронів в м/с чи км/с, тобто

$$v = 6 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{U}, \quad \text{чи} \quad v = 600 \cdot \sqrt{U}, \quad (2)$$

Для стабільного горіння дуги необхідно, щоб в її стовпі весь час знаходилися частинки, кількість яких весь час зменшується внаслідок рекомбінації. Іонізуюча дія матеріалів визначається не тільки величиною потенціалу іонізації, а і пружністю даного з'єднання або простої речовини, оскільки пружність пару визначає швидкість випаровування і тим самим концентрацію іонізуючих атомів в атмосфері дуги. Тому ефективний потенціал іонізації будь-якої газової суміші визначається не тільки потенціалом іонізації, а й концентрацією елементів в дуговому проміжку. Температура стовпа дуги залежить від ефективного потенціалу іонізації газів, що заповнюють дуговий проміжок, густини струму в електроді, напруженості поля, полярності та ін.

Для приблизних розрахунків стовпа дуги можна користуватися рівнянням:

$$T_{cm} = 810 \cdot U_{i.эф}, \quad (3)$$

де  $T_{cm}$  – температура стовпа дуги,  $K$ ;

$U_{i.эф}$  - ефективний потенціал іонізації,  $B$ .

Введення в склад електродних покриттів і флюсів елементів з низьким потенціалом іонізації сприяє швидкому запаленню і швидкому горінню зварювальної дуги за рахунок зниження ефективного потенціалу іонізації газової суміші.

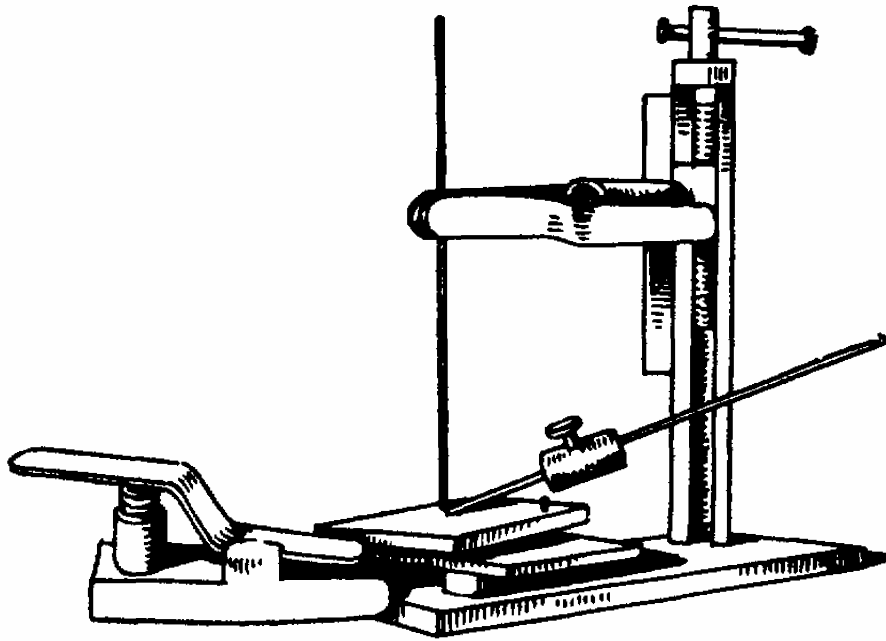
Про іонізуючу дію матеріалів електродних покриттів і флюсів можна судити з обривної довжини дуги.

### **Необхідні матеріали**

1. Матеріали, що досліджуються (табл. 1).
2. Пластина з маловуглецевої сталі ( 100x100x(6 ÷ 10) мм).
3. Флюс АН-348А і ОСЦ-45 (табл.1), змелений в порошок і просіяний крізь сито.
4. Металевий стержень з маловуглецевої сталі (d = 4мм).
5. Електроди марок АНО-4, УОНЦ-13/45.

### **Обладнання, пристосування, інструмент**

1. Пост постійного і змінного струму з електровимірювальними приладами.
2. Штатив з гвинтовим пристроєм для вертикального регулювання дугового проміжку.
3. Загострений вугільний електрод, закріплений в тримач.
4. Лопатка з термостійкого матеріалу.
5. Підставка.

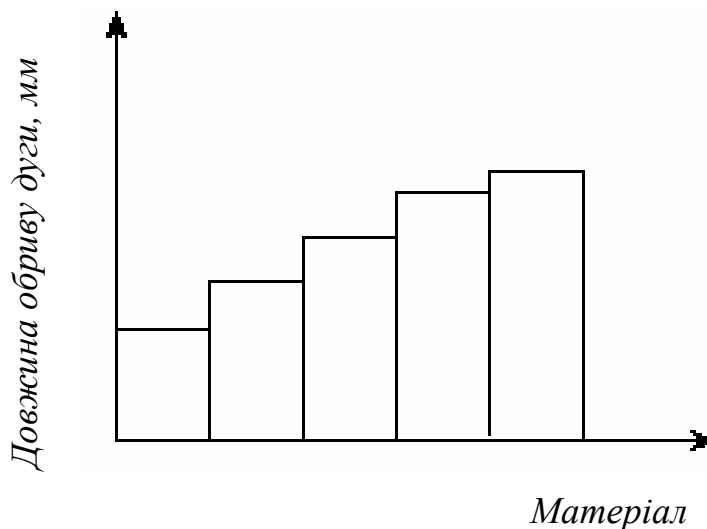


*Рисунок 10 – Розміщення оснастки для визначення обривної довжини дуги*

### **Порядок виконання роботи**

**Дослід №1.** Вивчити довжину обриву дуги, яка горить між металевим стержнем та пластиною з дослідними матеріалами (таб. 1, матеріали 1 - 8); струм постійної та прямої полярності.

1. Підібрати силу струму короткого замикання ( $I = 200 \text{ A}$ ) для стержня ( $d = 4 \text{ мм}$ ).
2. Зібрати схему згідно з рис. 10
3. Зачистити пластину металевою щіткою.
4. Закріпити металевий стержень в штатив, так, щоб відстань від торця електрода до поверхні пластини була 3 - 4 мм.



*Рисунок 11 - Схема порівняльного графіка обривної довжини дуги для досліджуваних матеріалів, електродів і флюсів*

5. Запалити дугу між стержнем і пластиною короткочасним замиканням стержня й пластини за допомогою загостреного вугільного електрода. Зняти показання вольтметра в момент обриву дуги.
6. Після природного обриву дуги відімкнути зварювальний ланцюг і заміряти обривну довжину дуги.
7. Результати вимірювань занести в таблицю.

Повторити дослід, наносячи на пластину під сталний стержень шар досліджуваного матеріалу товщиною 1 мм. Для всіх дослідів кількість нанесеного на пластину матеріалу повинна бути приблизно однаковою. Дослід 1 виконати на змінному струмі з польовим та плавиковим шпатом.

**Дослід 2.** Вивчити обривну товщину дуги, використовуючи електроди марок АНО-4, УОНИ-13/45 і сам стержень (струм постійний – пряма та зворотна полярності – і змінний).

1. Зачистити торці електродів.
2. Замість металевого стержня закріпити в штатив електрод типу Э-34, фіксуючи відстань від його торця до пластини.
3. Повторити пп. 5, 6 дослідів 1.
4. Виконати дослід з електродами марок АНО-4 і УОНИ-13/45.

Кожен дослід провести три рази, вважаючи обривною довжиною дуги середнє значення. Перед виконанням дослідів стержень і пластину необхідно ретельно зачистити від залишків матеріалу, який досліджувався раніше, оскільки невелика кількість залишеного матеріалу може помітно змінити величину ефективного потенціалу, а отже й обривну довжину дуги.

Дані всіх вимірювань і результати розрахунків занести в таблицю

Результати дослідів

Матеріал, флюс, марка електрода	Вид струму та поляр- ність	Напруга в момент обриву дуги, В				Розміри обривної дов- жини дуги, мм			
		Вимір			Середнє значення	Вимір			Сере- днє зна- чення
		1	2	3		1	2	3	

### Зміст звіту

1. Методика постановки дослідів.
2. Таблиця записів результатів розрахунків.
3. Порівняльний графік обривної довжини дуги для всіх досліджуваних матеріалів, електродів і флюсів.
4. Висновки і пояснення одержаних результатів.



## Типові задачі з розв'язками

**Задача №1.** Визначити швидкість електронів, яка необхідна для іонізації атомів натрію співударенням, якщо  $U_{i, Na} = 5,1 В$ .

Розв'язування.

Швидкість електронів визначається за формулою.

$$v_{Na} = 600\sqrt{U} = 600\sqrt{5,1} = 1350 \text{ км/с.}$$

Відповідь:  $v_{Na} = 1350 \text{ км/с.}$

**Задача №2.** Визначити ефективний потенціал іонізації, якщо температура дуги дорівнює  $4413 В$ .

Розв'язування.

З формули (3) визначимо:

$$U_{i,ef} = T_{cm}/810 = 4413/810 = 5,46 В.$$

Відповідь:  $U_{i,ef} = 5,46 В$ .

## Задачі для розв'язання

**Задача №3.** Визначити швидкість електронів, яка необхідна для іонізації співударенням для атомів цезію ( $U_{i, Cs} = 3,8 В$ ), кисню ( $U_{i, O} = 13,6 В$ ), гелію ( $U_{i, He} = 24,5 В$ ), кальцію ( $U_{i, Ca} = 6,1 В$ ).

**Задача №4.** Визначити ефективний потенціал іонізації, якщо температура стовпа дуги дорівнює  $12026^0$  і  $13010^0 К$ .

**Задача №5.** Визначити температуру стовпа дуги, яка горить в суміші парів, що складаються з 5% калію, 95% заліза ( $U_{i,ef} = 5,46 В$ ).

## Контрольні питання

1. Що таке електронна емісія, види емісій?
2. Потенціал іонізації, робота виходу і їх вплив на умови горіння дуги.
3. Які елементи сприяють збільшенню іонізації й ефективного потенціалу іонізації?
4. Які елементи сприяють іонізації дугового проміжку в електродах марок АНО-4 і УОНИ-13/45.4

## Лабораторна робота №3

### Дослідження дугового розряду між вугільними електродами

**Мета роботи:** ознайомитися з потужним дуговим розрядом, його будовою, зонами та впливом на дуговий розряд джерел живлення, магнітних полів та феромагнітних мас.

#### Зміст роботи

Електрична дуга між вугільними графітизованими електродами відрізняється високою стійкістю. Відсутність плавлення матеріалу електрода (катодна і анодна пляма) забезпечує високу термоелектронну емісію на катоді, а також інтенсивне випаровування графіту на аноді. Тому електрична дуга між вугільними електродами є зручним об'єктом для вивчення.

При дослідженні дугового розряду між вугільними електродами необхідно виявити:

- 1) будову дуги та її форму при живленні дугового розряду постійним струмом прямої та зворотної полярності, а також змінним струмом;
- 2) особливості дугового розряду як провідника електричного струму;
- 3) вплив на електричну дугу наявності магнітного поля, присутності феромагнітних мас, розташування дуги на виробі;
- 4) процес цементації при зварюванні струмом зворотної полярності.

#### Обладнання і матеріали

1. Зварювальний пост, що працює на постійному струмі, обладнаний приладами (амперметр і вольтметр).
2. Електродотримач для вугільних електродів.
3. Штатив для кріплення та переміщення електрода у вертикальному напрямку.
4. Фракційна лінза, змонтована на щиті.
5. Напівпрозорий екран (можна виготовити з фотопластини, проявленої після відповідного просвітлення).
6. Соленоїди для включення в зварювальний ланцюг.
7. Сталева пластина.
8. Вугільні електроди (круглий електрод діаметром 18 мм та вугільна пластина).
9. Твердомір Роквелла.

#### Порядок виконання роботи

1. Між вугільним електродом та вугільною пластиною провести збудження електричної дуги, користуючись зварювальним генератором постійного струму, так щоб негативний полюс був на електроді – пряма полярність. За допомогою щита з лінзою спроектувати дугу на напівпрозорий екран,

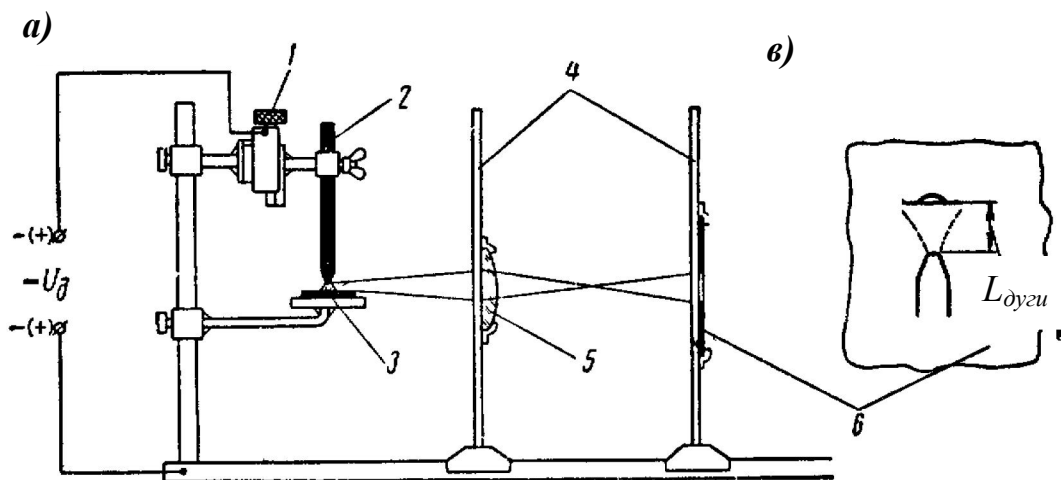
домагаючись чіткості зображення зміщенням відстаней між дугою, лінзою та екраном (рис. 1). Замалювати дугу і визначити максимальну довжину її до розриву ( $L$  розривається при силі струму  $I = 150A$ ).

Довжину дуги виміряти, позначаючи на екрані відстані між активними плямами у момент обриву дуги. Одночасно відміряти діаметр кінця електрода для встановлення масштабу збільшення. Діаметр катодної плями вугільного електрода вимірюється.

2. Дослід виконати ще раз, перемикаючи клема на зварювальному генераторі (позитивний полюс на електроді). Визначити максимальну довжину дуги при зворотній полярності за таких самих умов ( $I = 150 A$ ).
3. Дослід виконати ще раз, збуджуючи дугу від зварювального трансформатора і, витримуючи приблизно такий самий струм, визначити максимальну довжину дуги.

Проаналізувати отримані данні; результати досліджень 1, 2 і 3 звести в таблицю.

4. Провести збудження електричної дуги на постійному струмі прямої полярності між вугільним електродом, закріпленим у штативі, який ізолюваний від столу листом азбесту, та вугільною пластиною. Вугільна пластина береться для того, щоб відстань між електродами по можливості була постійною через відсутність плавлення електродів.



**Рисунок 12** – Схема встановки для проектування зварювальної дуги (а), схема зміни довжини дуги (б):

1 - гвинт для розтягування дуги; 2 - вугільний електрод; 3 - вугільна пластина; 4 - екрани; 5 - лінза; 6 - темне скло.

Для проведення досліду використовується раніше описаний пристрій (рис. 12). Дуга збуджується замиканням електрода та пластини допоміжним вугільним електродом.

При постійній довжині дуги виміряти силу струму й відмітити зміну напруги на пристроях.

Результати досліду зобразити графічно у вигляді кривої, що виражає залежність:  $U_d = f(I_d)$ .

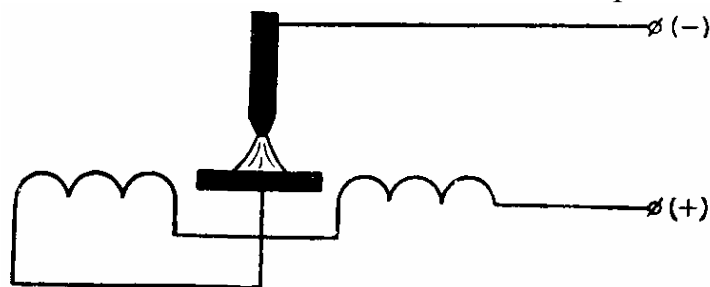
Зіставити провідність дугового розряду з провідністю металу.

5. Визначити вплив на дуговий розряд наявності магнітного поля, яке може змінювати напрям легкорухливих заряджених частинок у стовпі дуги (пряма полярність):
- з'єднати послідовно з електродотримачем соленоїд так, щоб він був навколо електрода, при цьому витки його повинні бути направлені за годинниковою стрілкою. У цьому випадку напрям магнітного поля збігається з напрямом дугового розряду й стабільність розряду збільшується. Відзначити розривну довжину дуги при  $I = 150A$ ;
  - з'єднати послідовно з електродотримачем соленоїд і збудити дугу між вугільним електродом і сталюю пластинною, що розташована в середині соленоїда (рис. 13).

При збільшенні дугового проміжку стійкість дугового розряду знижується і магнітне поле гасить дуговий розряд, зриваючи його у визначений бік.

Перемикнути полюси соленоїда так, щоб напрям струму в соленоїді став протилежним. Провести дослід ще раз і відмітити, в який бік зірветься дуга в цьому випадку.

6. Перевірити вплив феромагнітних мас на відхилення електричної дуги:
- збуджуючи дугу при постійному струмові прямої полярності, в безпосередній близькості до масивного залізного предмета;



*Рисунок 13 – Соленоїд для створення поперечного магнітного поля*

7. Провести збудження дуги між вугільним електродом з зачищеною до блиску пластинною з маловуглецевої сталі і проплавити невелику ділянку при прямій та зворотній полярностях.
- Після охолодження пластину зачистити і перевірити на насичення вуглецем поверхні в обох випадках, порівнявши твердість, отриману на проплавлених ділянках, з твердістю основного металу.

### Контрольні питання

- Які процеси відбуваються в різних зонах дугового розряду? Схематично зарисувати зміни напруги від довжини стовпа дуги.
- Вказати фактори, що впливають на стійкість дугового розряду.
- Яка особливість дугового розряду як провідника електричного струму порівняно з провідністю у металевому провіднику та електроліті?
- Як впливають феромагнітні маси на дуговий розряд?
- Яким чином можна пояснити різне зростання твердості сталі при проплавленні її дугою на струмі зворотної полярності?

**Таблиця 1 – Перші потенціали іонізації**

Елемент	$U, B$	Елемент	$U, B$
Цезій	3.88	Залізо	7.83
Калій	4.32	Кремній	7.94
Натрій	5.12	Бор	8.34
Барій	5.19	Цинк	9.35
Літій	5.37	Сірка	10.31
Стронцій	5.67	Фосфор	10.30
Алюміній	5.96	Вуглець	11.22
Кальцій	6.03	Хлор	12.96
Хром	6.74	Водень	13.53
Титан	6.81	Кисень	13.56
Марганець	7.40	Азот	14.50
Магній	7.61	Аргон	15.70
Мідь	7.69	Фтор	18.60

**Таблиця 2 – Температура кипіння металів**

Елемент	Залізо	Марганець	Кремній
Температура кипіння при нормальному тиску, °С	2750	2150	2630

**Таблиця 3 – Склад покриття електродів ОММ-5 та ЦМ-7**

Марка електрода	Марганцева руда	Титановий концентрат	Польовий шпат	Граніт	Гематит	Декстрин, крохмаль	Феромарганець
ОММ-5	21.0	37.0	13.0	-----	----	9	20.0
ЦМ-7	-----	-----	-----	32.0	33.0	5	30.0

## Лабораторна робота № 4

### Визначення коефіцієнтів розплавлення, наплавлення та втрат на угар та розбризкування при ручному дуговому зварюванні

**Мета роботи** – визначити величину коефіцієнтів розплавлення  $\alpha_p$ , наплавлення  $\alpha_n$  і втрат на угар та розбризкування  $\varphi$  при зварюванні в залежності від марки, діаметра електрода; розрахувати норму часу та визначити витрати електродів для зварювання заданих швів.

#### Загальні відомості

Основними величинами, які характеризують процес зварювання, є коефіцієнти розплавлення  $\alpha_p$ , наплавлення  $\alpha_n$  та  $\varphi$ . Від їх значень значною мірою залежить продуктивність зварювання.

Коефіцієнт розплавлення, г/А·год:

$$\alpha_p = \frac{G_p}{I_{зв} \cdot t},$$

де  $G_p$  – маса розплавленого електродного металу, г;  
 $I_{зв}$  – зварювальний струм, А;  
 $t$  – час, год.

Коефіцієнт наплавлення, г/А·год:

$$\alpha_n = \frac{G_n}{I_{зв} \cdot t},$$

де  $G_n$  – маса наплавленого металу, г.

Коефіцієнт наплавлення за звичай менший від коефіцієнта розплавлення, оскільки частина розплавленого металу електрода втрачається на окислення, випаровування та розбризкування. Коефіцієнт втрат, % :

$$\varphi = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} \cdot 100\%.$$

Коефіцієнт наплавлення характеризує продуктивність процесу зварювання. Чим більше значення  $\alpha_n$ , тим вища продуктивність зварювання.

Продуктивність зварювання, г/год:

$$П_{зв} = \alpha_n \cdot I_{зв}$$

Витрати покритих електродів  $G_{ел}$  визначають за витратами дроту  $G_{нр}$  або наплавленого металу  $G_n$ .

$$G_{ел} = G_{нр} \cdot (1 + K_1) = G_{нр}(1 + 0,9 \cdot K_1);$$

$$G_{нр} = G_n / a_e = \lambda \cdot (G_n / (1 - \varphi));$$

де

$$G_n = \rho \cdot F_n \cdot L.$$

Звідси,

$$G_{el} = (1 + K_1) \cdot ((\lambda \cdot G_n) / (1 - \varphi)) = (1 + 0,9K_1) \cdot ((\lambda \cdot G_n) / (1 - \varphi)),$$

де  $K_1$  – відношення маси покриття до маси всього електродного стержня;

$K$  – коефіцієнт маси покриття;

$a_e$  – коефіцієнт використання стержня;

$\lambda$  – відношення довжини стержня електрода до довжини тієї його частини, яка розплавлюється;

$\varphi$  – коефіцієнт втрат;

$\rho$  – густина наплавленого металу,  $г/см^3$ ;

$F_n$  – площа наплавлення,  $мм^2$ ;

$L$  – довжина шва,  $мм$ .

Коефіцієнти  $K$  та  $K_1$  визначають за формулами:

$$K = (G_m - m \cdot L_e) / (m \cdot L_0) \quad та \quad K_1 = (G_m - m \cdot L_e) / (m \cdot L_e)$$

де  $G_m$  – маса електрода,  $г$ ;

$L_e$  – довжина електрода,  $см$ ;

$L_0$  – довжина покритої частини електрода,  $см$ ;

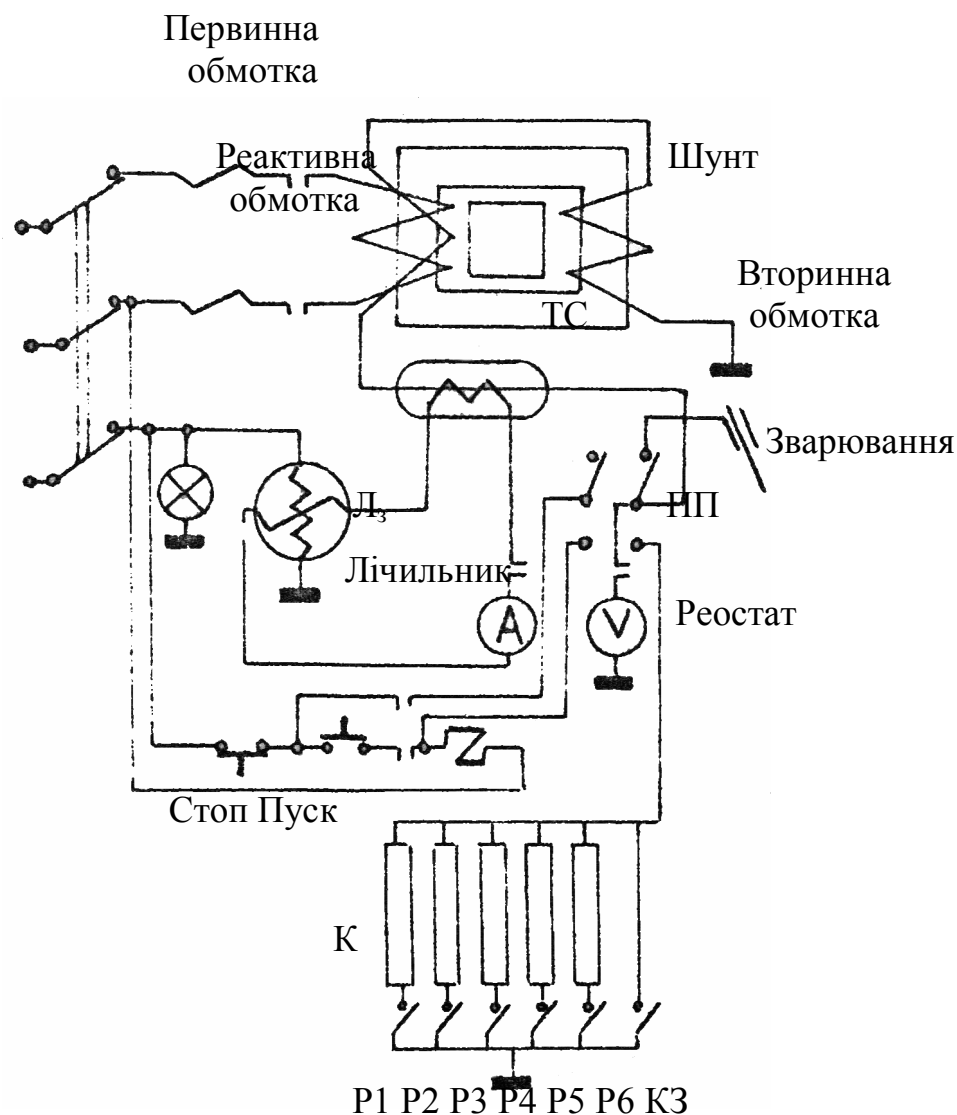
$m$  – маса  $1 см$  електродного дроту даного діаметра,  $г$ .

### Порядок виконання роботи

1. Скласти та зібрати схему ввімкнення вимірювальних приладів – амперметра, вольтметра, лічильника (рис. 14).
2. Зважити пластини, на які буде виконуватись наплавлення.
3. Визначити вагу  $1 см$  зварювального дроту (без покриття).
4. Визначити вагу зварювального дроту.
5. Виконати наплавлення валика на пластину. У процесі наплавлення визначити значення зварювального струму та час горіння дуги.
6. Після наплавлення зачистити валик від шлаку та бризок до металевого блиску та зважити.
7. Визначити вагу зварювального дроту в залишку електрода.
8. Дані вимірювань занести в таблицю.
9. Для кожної досліджуваної марки електрода дослід повторити не менше трьох разів та обчислити середнє значення величин, що визначаються.
10. Обчислити коефіцієнт розплавлення.
11. Обчислити коефіцієнт наплавлення.
12. Обчислити коефіцієнт втрат на угар та розбризкування.
13. Визначити витрати електродів для зварювання встик труб діаметром  $200 мм$  та товщиною стінки  $5 мм$ .

## Зміст звіту

Звіт про виконану роботу повинен вміщати: короткі відомості про ручне дугове зварювання, таблицю з вимірюваннями та розрахунками величин, які характеризують процес зварювання.



*Рисунок 14 – Схема установки для визначення показників режиму зварювання*

### Контрольні запитання

1. Класифікація електродів для ручного дугового зварювання.
2. Призначення та види покриттів електродів.
3. Основні величини, які характеризують процес зварювання.
4. Як змінюється коефіцієнт втрат на угар та розбризкування електрода із зміною довжини дуги?
5. Чи є постійним коефіцієнт наплавлення для різних електродів?



**Таблиця**

№ досліду	Характеристика електродів			Вид струму	Положення шва в просторі	Режим зварювання	
	Обмазка	Діаметр, мм	Товщина шару обмазки, мм			струм $I, A$	Напруга $U, B$

**Продовження таблиці**

Час наплавлення $t, c$	Довжина електрода, мм		Вага зварювального дроту, г		Вага розплавленого електродного металу $G_p, g$	Матеріал Пластини
	до зварювання	після зварювання	до зварювання	Після Зварювання		

**Продовження таблиці**

Вага пластини, г		Вага наплавленого електродного металу, г (кг)	Коефіцієнт розплавлення $g/A \cdot год$ (кг/A · год)	Коефіцієнт наплавлення $g/A \cdot год$ (кг/A · год)	Коефіцієнт втрат, %
до зварювання	після зварювання				

## Лабораторна робота №5

### Нагрівання й розплавлення електродів

**Мета роботи:** вивчити процес нагрівання й розплавлення електродів при зварюванні.

#### Зміст роботи

Нагрівання електродів проводиться від двох джерел: теплоти струму, який проходить через стержень електрода, і теплоти зварювальної дуги.

**Нагрівання електродів струмом.** Розрахунок нагрівання електрода струмом проводиться за монограмою, зображеною на рис. 15. Тут  $T$  – температура електрода в  $^{\circ}\text{C}$  у момент часу  $t$  с (протяжність дії струму);  $n$  – безрозмірний коефіцієнт;

$$n = \frac{Z}{md_1} \left( \frac{T_{zp}}{D_1} + 1 \right),$$

де  $Z$ ,  $m$ ,  $D_1$  – постійні величини; для електродів ОММ-5 та УОНИ-13

при постійному струмі  $Z = 2.4 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{A} \cdot \text{с}$ ,  $D_1 = 200^{\circ}$ ,

при змінному струмі  $Z = 2.7 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{A}^2 \cdot \text{с}$ ,  $D_1 = 240^{\circ}$ ,

$m$  – не залежить від струму і дорівнює  $2.5 \text{ мм}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{A}^2$ ;

$d_1$  – діаметр стержня електрода, мм;

$T_{zp}$  – гранична температура нагрівання  $T_{zp} = md_1 j^2 + T_o$ ,

$J$  – густина струму,  $\text{A}/\text{мм}^2$ ,

$T_o$  – початкова температура електрода,  $^{\circ}\text{C}$ .

**Нагрівання електрода теплом дуги.** Вплив нагрівання електрода теплом дуги виявляється тільки в безпосередній близькості від робочого кінця електрода.

Розподілення температури в електроді поблизу дуги розраховується з рівняння граничного стану розповсюдження тепла (поблизу дуги, тобто при  $x \geq 0$ ):

$$T(x) = T_{пл} e^{-wx/a},$$

де  $T(x)$  – температура на відстані  $x$  від границі плавлення,

$T_{пл}$  – температура плавлення електрода;

$w$  – швидкість нагрівання електрода,  $\text{см}/\text{с}$  (приймається постійною за весь час нагрівання);

$a$  – коефіцієнт температуропровідності,  $\text{см}^2/\text{с}$  (для маловуглецевої сталі  $a = 0.08$ ).

**Розплавлення електродів.** Кількість тепла, яке вводиться в метал електрода за одиницю часу:

$$q_e = \eta_e \cdot 0,24UI, \text{ кал/с}$$

Це тепло витрачається на підвищення ентальпії електрода від температури  $T$  нагрівання струмом до середньої температури краплин, що відриваються:

$$q_e = wF \rho (S_k - S_l),$$

де  $F$  – площа поперечного перерізу електрода,  $см^2$ ;

$\rho$  - густина,  $г/см^3$ ;

$S_k$  і  $S_l$  – ентальпія металу при температурі краплин  $T_k = 2000 \dots 2200^\circ C$  і температурі нагрівання електрода струмом  $T_k$ ,  $кал/г$ .

$$0,24\eta_e UI = wF \rho (S_k - S_l).$$

Прийнявши

$$g_p = wF \rho, \text{ г/с},$$

де  $g_p$  – процес розплавлення, отримаємо

$$0,24\eta_e \cdot UI = g_p (S_k - S_l).$$

Коефіцієнт розплавлення

$$\alpha_p = 3600 \cdot \frac{g_p}{I} = \frac{3600 \cdot 0,24\eta_e U}{S_k - S_l}, \text{ г/А·год.}$$

Коефіцієнт нерівномірності швидкості розплавлення електрода  $K_n$  представляє собою відношення швидкості плавлення електрода в кінці зварювання до швидкості плавлення на початку зварювання:

$$K_n = \frac{w_{\max}}{w_0}.$$

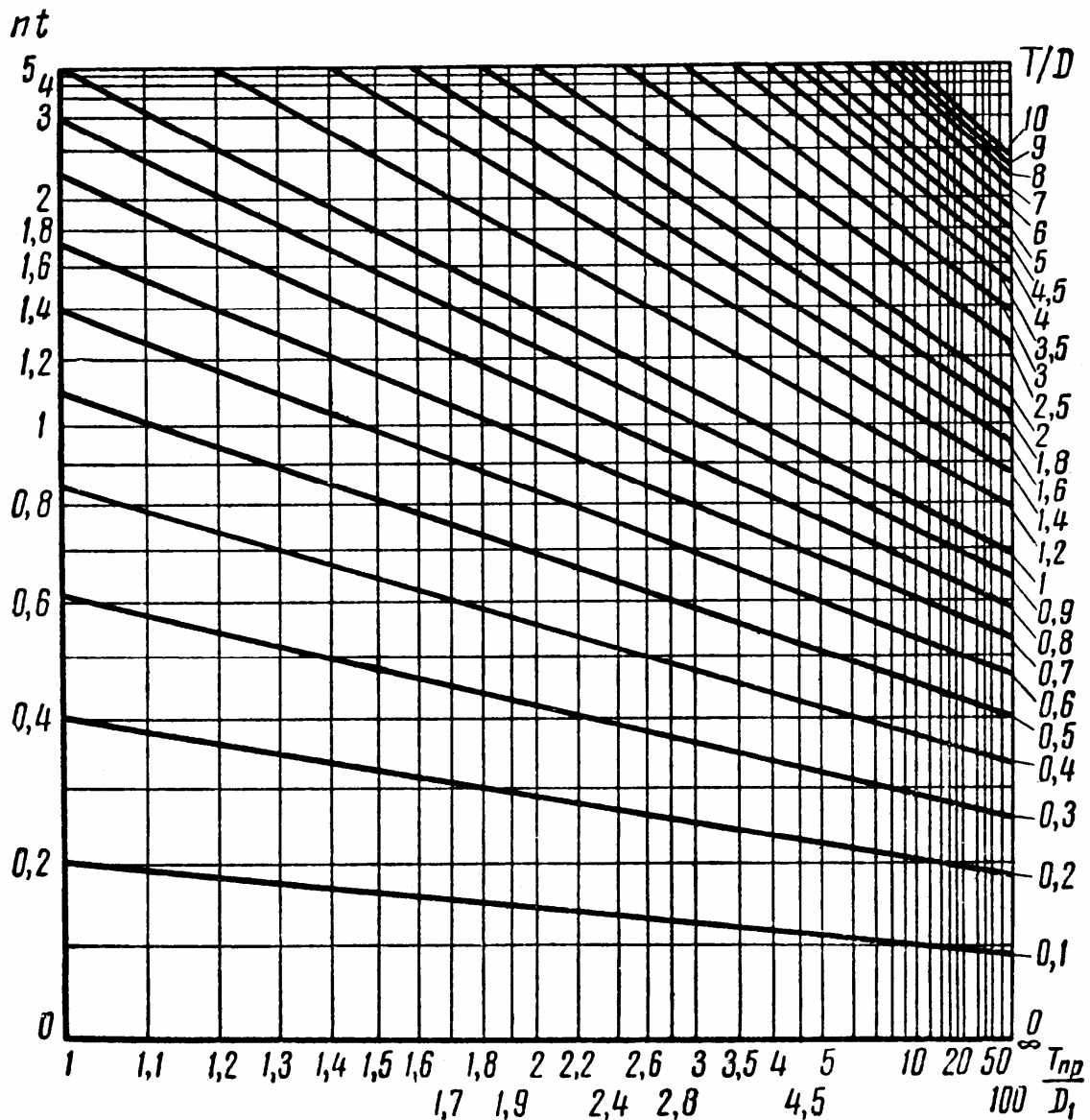
Для правильного протікання процесу зварювання  $K_n$  повинен бути меншим 1.3.

### Порядок виконання роботи

1. Встановити вплив густини струму і типу електрода на процес нагрівання електрода струмом і граничну температуру нагрівання. Для цього до електрода приварити сплави декількох термопар на різній відстані від його торця. Електрод замкнути на зварний стіл, що дозволить відвернути горіння дуги. Пропускати струм різної величини через електроди одного діаметра (наприклад, 80, 120, 150А для діаметра 3 мм) або, навпаки, струм однакової величини через електроди різних діаметрів (наприклад, 150 А для діаметрів 3, 4 і 5 мм).

Для кожної густини струму і кожного типу електрода побудувати графіки зміни температури нагрівання електрода в часі.

2. Встановити характер нерівномірності плавлення електрода по довжиною ( $w, \alpha_p, K_n$ ). На електроді вздовж покриття закріпити по витку тонкого дроту. Моменти часу, коли дуга досягає даного перерізу електрода, відмітити за секундоміром. За різницею моментів часу проходження дугою подібних перерізів визначити середнє значення швидкості її переміщення по довжині тієї чи іншої ділянки електрода.



*Рисунок 15 – Номограма для розрахунку нагрівання струмом електрода із низьковуглецевого дроту*

За цими даними побудувати графік розподілення швидкості плавлення електрода по його довжині і визначити коефіцієнт нерівномірності швидкості розплавлення, коефіцієнт розплавлення й процес розплавлення.

3. Встановити розподілення температури в електроді поблизу дуги. Досліди проводити, як вказано в п. 1, але з гарячою дугою. Порівнюючи дані дослідів 1, 2, 3 можна отримати криві розподілення температури поблизу дуги тільки від нагрівання теплом дуги, коли вона досягне перерізу, в яких були розташовані сплави термопар.
4. Зіставити дослідні дані з розрахунками. Для цього додатково розрахувати зміну в часі температури нагрівання електрода струмом і дугою для перерізів, віддалених від торця електрода на відстанях, вказаних у п.1.

### **Контрольні запитання**

1. Який вплив мають марка електрода й густина струму на швидкість нагрівання електрода?
2. Як змінюється температура по довжині електрода при врахуванні тепла від дуги на нагрівання електрода?
3. Чим пояснюється нерівномірність розплавлення електрода при зварюванні?
4. Як, користуючись даними за нагрівання й розплавлення електродів, вибрати оптимальний режим зварювання?

## Лабораторна робота №6

### Проплавлення основного металу при наплавленні валиків

**Мета роботи:** дослідження ефективності процесу проплавлення металу зварювальною дугою.

#### Зміст роботи

Зварювальна ванна являє собою область металу, нагріту вище температури плавлення. Вона обмежена миттєвою ізотермічною поверхнею плавлення. Зона проплавлення являє собою область основного металу виробу, яка в процесі переміщення дуги має температуру вище температури плавлення.

Ванна та валик характеризуються такими геометричними розмірами:  $L$  – довжина ванни,  $B$  – ширина ванни,  $H$  – глибина проплавлення,  $H_B$  – висота зміцнення валика,  $F_{np}$  – площа проплавлення,  $F_n$  – площа наплавлення.

Під час наплавлення вузького валика на поверхню масивного виробу потужною швидкорізальною дугою

$$L = \frac{q}{2\pi\lambda T_{пл}},$$

де  $q$  – ефективна теплова потужність дуги, кал/с (Вт);

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, кал/см·с·град (Вт/м·град);

$T_{пл}$  – температура плавлення металу, °С.

Зона наплавлення та проплавлення. Площа зони наплавлення:

$$F_n = \frac{\alpha_p \cdot I \cdot (1 - \psi)}{3600 \cdot \rho \cdot v},$$

де  $\alpha_p$  – коефіцієнт розплавлення, г/А·ч;

$I$  – струм, А;

$\psi$  – коефіцієнт розбризкування;

$\rho$  – густина, г/см<sup>3</sup>;

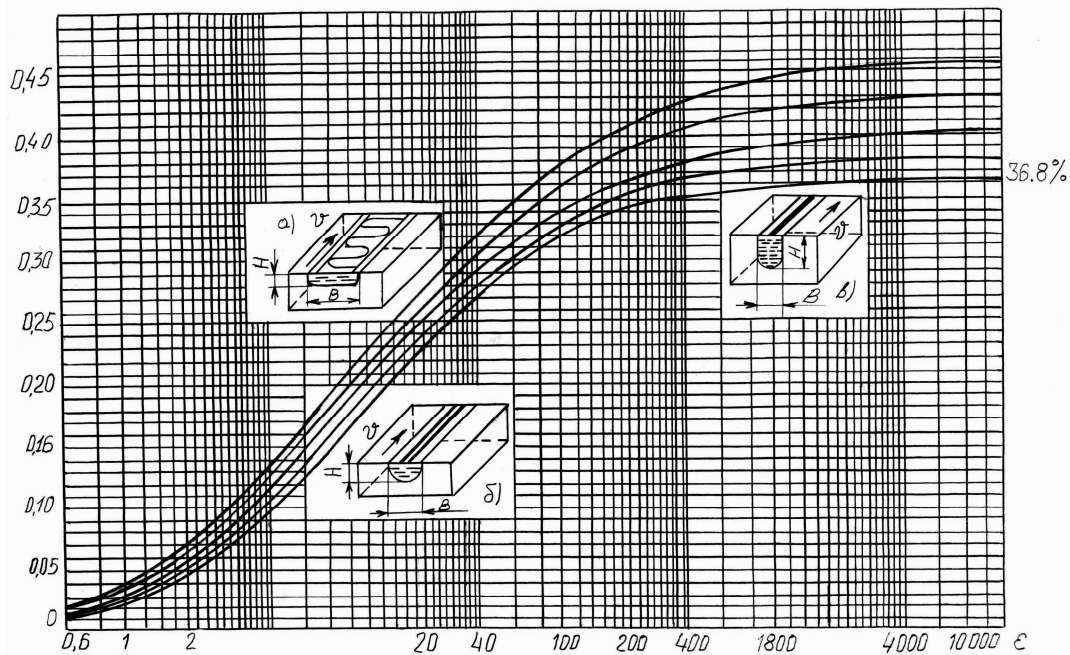
$v$  – швидкість зварювання.

Таким чином, площа зони наплавлення в першому наближенні пропорційна відношенню струму до швидкості зварювання, тобто погонній енергії дуги  $q/v$ . Площа зони проплавлення  $F_{np}$  також залежить від погонної енергії дуги  $q/v$  але  $F_{np}$  не пропорційна  $q/v$ . При заданій площі наплавлення (тобто погонній енергії  $q/v$ )  $F_{np}$  залежить від термічної ефективності процесу проплавлення.

Ефективність процесу проплавлення характеризується термічним к.к.д.  $\eta_t$ , який являє собою відношення кількості теплоти, необхідної для проплавлення, до всієї теплоти, що вводиться в виріб дугою:

$$\eta_t = \frac{vF_{np} S_{nl}}{q},$$

де  $S_{nl} = c \cdot \rho \cdot T_{nl}$  – об'єднана ентальпія розплавленого металу – це прихована теплота плавлення, для маловуглецевої сталі  $S_{nl} = 2500 \text{ кал/см}^3$ .



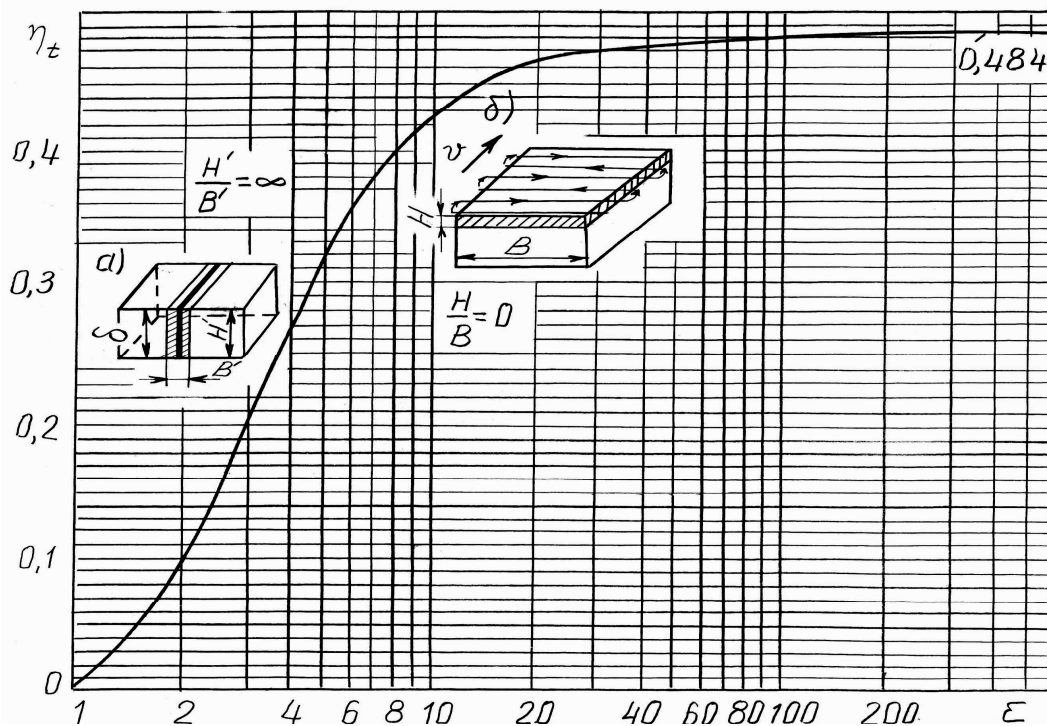
**Рисунок 16** - Номограма для розрахункового визначення термічного к.к.д.  $\eta_t$  при наплавленні валика на масивне тіло  $H/B = 0,1 \div 2,5$   
 а) розширена зона,  $H/B < 0,5$ , б) напівкругла зона,  $H/B = 0,5$ , в) заглиблена зона,  $H/B > 0,5$ .

Термічний к.к.д. процесу проплавлення  $\eta_t$  для наплавлення валика на масивні вироби знаходять за номограмою (рис.16) в залежності від безрозмірного критерію  $\varepsilon_3 = \frac{qv}{a^2 S'_{nl}}$ , (де  $a$  - коефіцієнт теплопровідності,  $\text{см}^3/\text{с}$ ) та відношення  $H/B$  (чи  $H'/B'$ ).

Для зварювання листів встик  $\eta_t$  знаходять за номограмою (рис. 17) в залежності від безрозмірного критерію  $\varepsilon_2 = \frac{q}{a \cdot \delta \cdot S'_{nl}}$ , де  $\delta$  - товщина пластини, см.

Термічний к.к.д. процесу проплавлення з підвищенням потужності дуги (тобто сили струму) та підвищенням швидкості зварювання при інших рівних умовах значно підвищується. Тому потужні та швидкі дуги (напри-

клад, при автоматичному зварюванні під флюсом) найбільш ефективні та характеризуються більш розвинуеною зоною проплавлення. Малопотужні повільні дуги не ефективні, тому що при їх використанні зростає небезпека непровару.



**Рисунок 17** – Номограма для розрахункового визначення термічного к.к.д.  $\eta_t$ .

- а) зварювання тонких листів встик в один прохід,  $H/B = \infty$ ,
- б) наплавлення дуже широкого валика на масивне тіло  $H/B = 0$

### Порядок виконання роботи

1. Встановити залежність довжини ванни та довжини проплавлення від зварювального струму величиною 200, 300 та 1000 А, при наплавленні валика на сталь товщиною 40 мм під флюсом при постійній швидкості переміщення дуги 100 м/год.

2. Встановити вплив струму на термічний к.к.д. процесу проплавлення. Довжину ванни та ширину проплавлення можна з'ясувати на поверхні наплавлення, а глибину – по макрошліфу в поперечному зрізі наплавлення.

3. Встановити вплив швидкості зварювання на термічний к.к.д. при струмі 200 А та швидкості наплавлення 200, 100 та 50 м/год.

4. Порівняти результати дослідів з розрахунками.

### Контрольні питання

1 Як впливають параметри режиму зварювання на величину термічного к.к.д.?

2 Які шляхи підвищення термічного, теплового та ефективного к.к.д. при зварюванні?



## Лабораторна робота №7

### Визначення ефективної потужності зварювальних джерел теплоти калориметричним методом

**Мета роботи:** вивчення ефективної потужності зварювальних джерел теплоти та засвоєння калориметричного методу для дослідження ефективності різних джерел теплоти.

### Зміст роботи

Тільки деяка частина енергії, яка витрачається при зварюванні, вводиться в метал. Кількість теплоти, введеної в метал в одиницю часу, називається ефективною потужністю зварювального джерела теплоти (дуги, електронного чи світлового променя та ін.). відношення ефективної потужності до повної потужності, витраченої на зварювання, називається ефективним к.к.д. джерела теплоти.

Ефективна потужність зварювальних джерел теплоти визначається калориметричним методом.

Вираз для підрахунку ефективної теплової потужності дуги  $Q$  отримаємо з рівняння теплового балансу:

$$Q = qt_r = Q_k + Q_{\Delta} + Q_n + Q_m \quad \text{кал (Дж)},$$

де  $t_r$  - час горіння дуги,  $s$ ;

$Q$  - теплота, що введена в зразки,  $\text{кал (Дж)}$ ;

$Q_k$  - теплота, що поглинається калориметром,  $\text{кал (Дж)}$ ;

$Q_{\Delta}$  - теплота, що визначає повний запас теплової енергії внутрішнього стану зразка до і після дослідження (ентальпія),  $\text{кал (Дж)}$ ;

$Q_n$  - теплота, що витрачається на пароутворення при завантаженні зразка в калориметр,  $\text{кал (Дж)}$ ;

$Q_m$  - теплота, що розсіюється в навколишньому середовищі при нагріві та переносі зразка внаслідок конвекції та радіації,  $\text{кал (Дж)}$ .

$$Q_k = G_v c_v (T_k - T_0) + (G_{kc} c_{kc} + 2/3 G_m c_m) (T_k - T_0) = A (T_k - T_0),$$

де  $G_v$ ,  $G_{kc}$ ,  $G_m$  - відповідно вага води в калориметрі, калориметричної посудини та мішалки,  $г$ ;

$c_v$ ,  $c_{kc}$ ,  $c_m$  - питомі вагові теплоємності води, матеріалів калориметричної посудини і мішалки,  $\text{кал/г} \cdot \text{град}$ ;

$c_{kc} = c_m = 0.092$  кал/г·град (латунь);

$T_0$  та  $T_k$  - температура води до та після досліду  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A$  - водний еквівалент калориметра, кал/град.

$$Q_{\Delta} = G_{зр} C_{зр}(T_k - T_c),$$

де  $G_{зр}$  - вага зразка після наплавлення, г;

$C_{зр}$  - питома вагова теплоємність зразка, кал/г·град.

$T_c$  - температура зразка до досліду, рівна температурі навколишнього середовища,  $^{\circ}\text{C}$ .

$$Q_n = G_n 624.$$

де  $G_n$  - вага води, що випарувалась, г;

$624 = 539 + 85$  кал/г, де  $539$  кал - питома теплота пароутворення,  $85$  кал – теплота необхідна, для нагрівання води від  $+15$  до  $100^{\circ}$ . Значення  $Q_n$  в залежності від струму дуги наведені в табл. 1.

**Таблиця 1** – Вплив зварювального струму на витрати теплоти при пароутворенні

$I, \text{A}$	100	200	400	600	1000	1500
$Q_n$ , кал	400	600	800	1000	1200	1500

Витрати теплоти на тепловіддачу в навколишнє середовище визначаються як функція питомої ентальпії зразка, яка за час горіння дуги  $t_r$  вважається такою, що зростає пропорційно величині  $t_r$ , а за час перенесення зразка в калориметр  $t_n$  для простоти підрахунків приймається постійною:

$$Q_m = bq \int_0^{t_2} t dt + bqt_2 t_n = \frac{\alpha}{c\rho\delta} q(t_2^2 + 2t_2 t_n),$$

де  $q$  – ефективна потужність струменя, кал/с,

$b = \frac{\alpha}{c\rho\delta}$  - коефіцієнт, який враховує інтенсивність тепловіддачі на-

вколишньому середовищу,  $1/\text{с}$ ,

$\alpha$  - коефіцієнт повної поверхні тепловіддачі зразка, рівний  $0.001 \text{ кал}/\text{см}^2$ , маловуглецевої сталі  $1.3 \text{ см}^3/\text{град}$ ,

$\delta$  - товщина зразка, см.

Підставимо значення витрат  $Q_m$  в рівняння теплового балансу:

$$Q = qt_z = Q_k + Q_\Delta + Q_n + \frac{\alpha}{c\rho\delta}q(t_z^2 + 2t_z t_n).$$

Тоді ефективна теплова потужність дуги:

$$q = \frac{Q_k + Q_\Delta + Q_n}{t - \frac{\alpha}{c\rho\delta}q(t_z^2 + 2t_z t_n)}.$$

### Порядок виконання роботи

Дослідження проводять на зразках (160 - 200)x(80 - 100)x(6 - 10) мм із маловуглецевої сталі. Число дослідів 5 – для кожного режиму нагріву, що досліджуються. Калориметричний зразок кладуть поблизу калориметра на підставку, обклеєну теплоізолювальним металом.

Наплавлення ведуть вручну чи на автоматі за лінією осі зразка вздовж його більшої сторони, починаючи та закінчуючи валик на відстані 10 - 15мм від країв.

Для забезпечення постійності умов та точності дослідів при наплавленні зразків необхідно:

- попередньо встановити режим наплавлення;
- забезпечити по можливості постійну швидкість зміни дуги при наплавленні;
- виміряти та записати в процесі наплавлення для кожного досліді середні значення струму, напруги на дузі та часу наплавлення (тривалість горіння дуги);
- дотримуватись сталості часу переносу зразка в калориметр після наплавлення в межах 1.5-2.5 с, вимірюючи його секундоміром;
- періодично змінювати воду в калориметрі, застосовуючи чутливий термометр.

Після проведення роботи заповнити таблицю 2 і на основі дослідних даних, після проведення необхідних розрахунків, отримати такі залежності:

- 1) вплив струму на ефективну теплову потужність при зварюванні електродом діаметром 3-5 мм з якісною обмазкою;
- 2) вплив типу електрода (з якісною оболонкою, крейдовою обмазкою, вугільного) на ефективну теплову потужність;
- 3) вплив струму та типу електрода на ефективний к.к.д. нагріву виробу дугою;

$$\eta = \frac{q}{0.24UI},$$

де  $U$  – напруга дуги,  $B$ ;  
 $I$  – струм,  $A$ .

**Таблиця 2** – Рекомендована форма запису даних дослідів та розрахунків

Номер досліду	$I, A$	$U, B$	$t_n, c$	$t_n, c$	$T_K, ^\circ C$	$T_в, ^\circ C$	$T_o, ^\circ C$	$Q_K = A(T_K - T_c), \text{ кал}$	$G_{зр}, g$
1									
2									
3									
$Q_{\Delta}, \text{ кал}$		$G_n, g$		$Q_n, \text{ кал}$		$Q, \text{ кал/с}$		$\eta$	

### Контрольні питання

1. Сутність визначення ефективної потужності зварювальних джерел теплоти калориметричним методом.
2. Напишіть рівняння теплового балансу для розрахунку ефективної потужності зварювальних джерел теплоти калориметричним методом.
3. Який тепловий баланс різних джерел теплоти при зварюванні під флюсом, ручному зварюванні якісними та крейдовими електродами, вугільною дугою та ін.
4. Як впливає величина струму на ефективну теплову потужність?
5. Як впливає величина струму на ефективний к.к.д.?
6. Які припущення та похибки вимірювань найбільше впливають на розрахунок ефективної потужності дуги?

## Лабораторна робота №8

### Розрахунок та перевірка режимів автоматичного зварювання під шаром флюсу за даною глибиною провару

**Мета роботи:** встановити вплив параметрів режиму зварювання на коефіцієнт наплавлення  $\alpha_n$ , продуктивність  $G_n$ , витрати флюсу  $\mu$  та розміри окремих елементів швів.

#### Зміст роботи

На практиці завжди потрібно розраховувати режим автоматичного зварювання шва, який даний на кресленні тієї чи іншої конструкції. Зміна розмірів швів зварних конструкцій є небажаною, бо зменшення розмірів знижує міцність конструкції, а збільшення викликає додаткові витрати флюсу, дроту, електроенергії, часу на виготовлення виробу.

Зварні шви, виготовлені автоматом, мають три важливих розміри, які впливають на якість з'єднання: глибина провару  $h$ , ширина шва  $e$ , опуклість  $q$ . Їх розміри встановлюються за розміром шва, заданим в кресленні, потім за формулами визначається площа перерізу наплавленого валика  $F_n$ . Відношення ширини шва до глибини провару називається коефіцієнтом форми провару  $\psi_{np}$  та розраховується за формулою:

$$\psi_{np} = \frac{e}{h}.$$

Коефіцієнт форми провару для автоматичних швів повинен бути в межах 1.3- 4.0, щоб зменшити можливість утворення гарячих тріщин.

Відношення ширини шва до опуклості валика називається коефіцієнтом форми валика:

$$\psi_e = \frac{e}{q}.$$

Для швів, які зроблені автоматичним зварюванням  $\psi_e = 5 \div 8$ .

Окремі параметри режиму зварювання змінюють розміри елементів шва при автоматичному зварюванні. З підвищенням сили зварювального струму підвищується міцність дуги, внаслідок чого підвищується кількість розплавленого основного та електродного металу, значно зростає глибина провару, опуклість валика; незначно – ширина валика,  $\psi_{np}$  і  $\psi_e$  також зростають.

Підвищення напруги на дузі збільшує її теплову потужність. При цьому зростає довжина дуги та площа її дії на виріб. У результаті інтенсивно збільшується ширина шва та зменшується опуклість валика. Зростання напруги суттєво не впливає на провар, але призводить до зростання витрат флюсу.

Зростання швидкості переміщення дуги до  $40-50$  м/с призведе до зростання горизонтальної складової тиску дуги на метал зварювальної ванни.

Товщина шару рідкого металу під дугою зменшується, тепла дія дуги на метал зростає, глибина проплавлення зростає, незважаючи на зменшення енергії. При зростанні швидкості переміщення дуги погонна енергія й глибина провару зменшуються.

Ширина валика та опуклість при зростанні швидкості переміщення дуги зменшуються.

Збільшення діаметра електрода призводить до зменшення глибини провару і опуклості валика, а ширина валика збільшується.

Коефіцієнти  $\psi_{np}$  і  $\psi_e$  зі зменшенням діаметра різко зменшуються. Підвищення виставу електрода підсилює попередній перегрів електрода джоулевим теплом. Це викликає збільшення  $\alpha_e$  і зменшення глибини провару. Задана форма шва може бути забезпечена відповідним режимом автоматичного зварювання.

### Необхідні матеріали

1. Пластини з маловуглецевої сталі (200x100x12 мм)
2. Зварювальний дріт ( $d=3 \div 4$  мм).
3. Флюс ОСЦ –45 АН 348 А.

### Обладнання, пристрої, інструмент

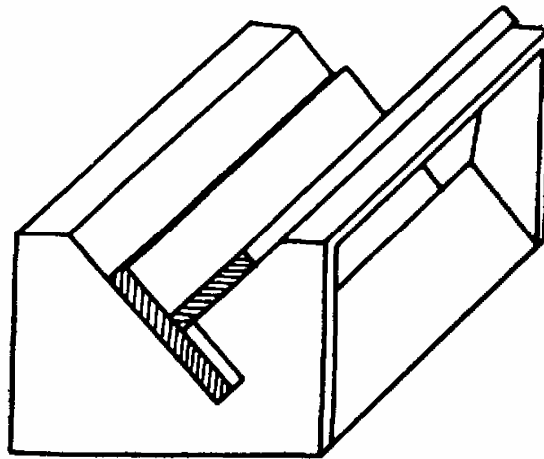
1. Автоматичний пристрій з приладами.
2. Терези циферблатні з гирями.
3. Секундомір.
4. Лінійка.
5. Рисувалка.
6. Штангенциркуль.
7. Спеціальна струбцина.
8. Переносні настільні лещата.
9. Бак з водою.
10. Прес для ламання проб.
11. Пристрій для збирання і зварювання тавра.

### Порядок виконання роботи

До виконання завдання викладач задає студентам глибину провару, за якою вони розраховують режим зварювання та отримані результати показують викладачу перед початком практичної частини роботи.

**Дослід 1.** Встановити вплив сили зварювального струму на розмір валика, коефіцієнт наплавлення, витрату флюсу та продуктивність.

1. Зачистити пластини, зібрати їх у стик, користуючись спеціальною струбциною, та прихватити з торців.
2. Зважити зібрані проби з точністю до 2 г.
3. Підготувати бачок із водою для охолодження проб.
4. Підготувати автомат до роботи.
5. Встановити розрахований режим зварювання наплавленням валика на допоміжну пластину.
6. Закріпити зібрані у стик пластини на зварювальному столі, наплавити на них валик і відмітити  $I_{зв}$ ,  $U_{зв}$ , час горіння дуги.
7. Охолодити пробу у воді, потім обережно зняти шлакову кірку з валика та зважити її з точністю до 1 г.
8. Зважити пробу з наплавленим валиком, виміряти його довжину.
9. Наплавити на пробу ще 2 валики, збільшуючи чи зменшуючи силу зварювального струму приблизно на 100 А.



*Рисунок 18 – Пристрій для складання та зварювання тавра*

**Дослід 2.** Встановити вплив дуги на форму та розмір валика, коефіцієнт наплавлення, витрати флюсу та продуктивність.

1. Підібрати режим для дугової проби, наплавлення валика на допоміжну пластину. Напругу до основного валика підібрати приблизно на 5В більшою, а для другого на 5В меншою від напруги дуги, при наплавленні валика на допоміжну пластину.

2. Наплавити валик на пробу, виконавши дослід №1.

**Дослід 3.** Встановити вплив швидкості переміщення дуги на форму та розмір валика, коефіцієнти наплавлення, витрати флюсу та продуктивність, для чого наплавити на третю пробу два валики, збільшуючи чи зменшуючи швидкість зварювання на 10 м/год, використовуючи залежність показань потенціометра від швидкості зварювання.

1. Поламати на ручному пресі всі три проби.
2. Визначити розміри валика  $h$ ,  $e$ ,  $q$ ,  $m$ , а  $F_n$ ,  $F_{пр}$ .
3. Визначити  $G_n$ ,  $\alpha_n$ ,  $\psi_{пр}$ ,  $\psi_v$ ,  $\gamma$ ,  $q_{II}$ ,  $v_{зв}$ ,  $\mu$ .

**Дослід 4.** Встановити вплив вологи, іржі, та окалини на корозію шва.

1. Зібрати і прихватити таврове з'єднання (див. рис. 18).
2. Засипати в "човник" іржу, окалину та вологий флюс окремими частинами довжиною 50 мм з інтервалами 10 мм.
3. Зробити зварювання проби по всій довжині.
4. Видалити флюс та шлакову кірку, підрахувати кількість пор на кожній частині.

Дані всіх вимірювань та результатів розрахунків занести в таблицю.

### Зміст звіту

1. Розрахунок режиму автоматичного зварювання для даної роботи.
2. Методика постановки дослідів та приклади розрахунків.
3. Таблиці нотаток та результати розрахунків.
4. Графіки залежності ширини валика  $e$  з опуклістю  $q$ , глибини проплавлення  $h$ , частки основи металу в металі шва  $\gamma$ , питомих витрат флюсу  $\mu$  від сили зварювального струму та напруги дуги.
5. Висновки та пояснення отриманих результатів.

### Приклади розв'язування задач

**Задача №1.** Розрахувати режим автоматичного зварювання під флюсом стикового з'єднання, коли товщина листів  $S=10$  мм, зварювання виконується без зазору  $h=0.6 S$ . Струм постійний, зворотна полярність  $d=4$  мм, флюс АН-348А.

#### Розв'язування

Визначити силу зварювального струму в (А) із рівняння

$$I_{зв} = h/k$$

де  $k$  - коефіцієнт, що залежить від виду струму та полярності, діаметра електрода, а також марки флюсу (за даними інституту електрозварювання ім. Е. О. Патона приймаємо  $k=1,1$  мм/100А).

Таким чином  $I_{зв} = 6 \cdot 100/1,1 = 545$  А.

Знаючи, що напруга на дузі змінюється в межах 32 - 40 В, приймаємо  $U_{зв} = 36$  В. За графіком (рис. 19) в залежності від сили струму та напруги, встановити коефіцієнт форми провару  $\psi_{пр} = 3.3$ . Знаючи  $\psi_{пр}$  визначити ширину шва за формулою:

$$e = \psi_{пр} h = 3.3 \cdot 6 = 19.8 \text{ мм.}$$

Опуклості розрахувати, коли  $\psi_{в} = 5 \div 8$ ,



$$q = e / \psi_{\text{с}} = 20 / 7 = 2.9 \text{ мм.}$$

Визначити площу перерізу наплавленого металу за формулою:

$$F = 0.75eq = 0.75 \cdot 20 \cdot 2.9 = 43.5 \text{ мм}^2.$$

Визначити коефіцієнт наплавлення за формулою:

$$\alpha_n = 11.6 \pm 0.4.$$

В даному випадку

$$\alpha_n = 11.6 + 0.4 = 12 \text{ г/(А·год.)}.$$

Продуктивність зварювання за одну годину

$$G_n = \alpha_n I_{\text{зв}} t = 12 \cdot 545 \cdot 1 = 6540 \text{ г.}$$

Швидкість пересування дуги

$$v_{\text{н.д.}} = \frac{\alpha_n I_{\text{зв}}}{F \gamma} = \frac{12 \cdot 545}{43 \cdot 7.8} = 19.5 \text{ м/год.}$$

Визначити швидкість подачі зварювального дроту.

$$v_{\text{н.пр.}} = \frac{4\alpha_n I_{\text{зв}}}{\pi d^2 \gamma} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 545}{3.14 \cdot 16 \cdot 7.8} = 67 \text{ м/год.}$$

Питома витрата флюсу розраховується за формулою:

$$\mu = \frac{G_{\text{фл}}}{G_n},$$

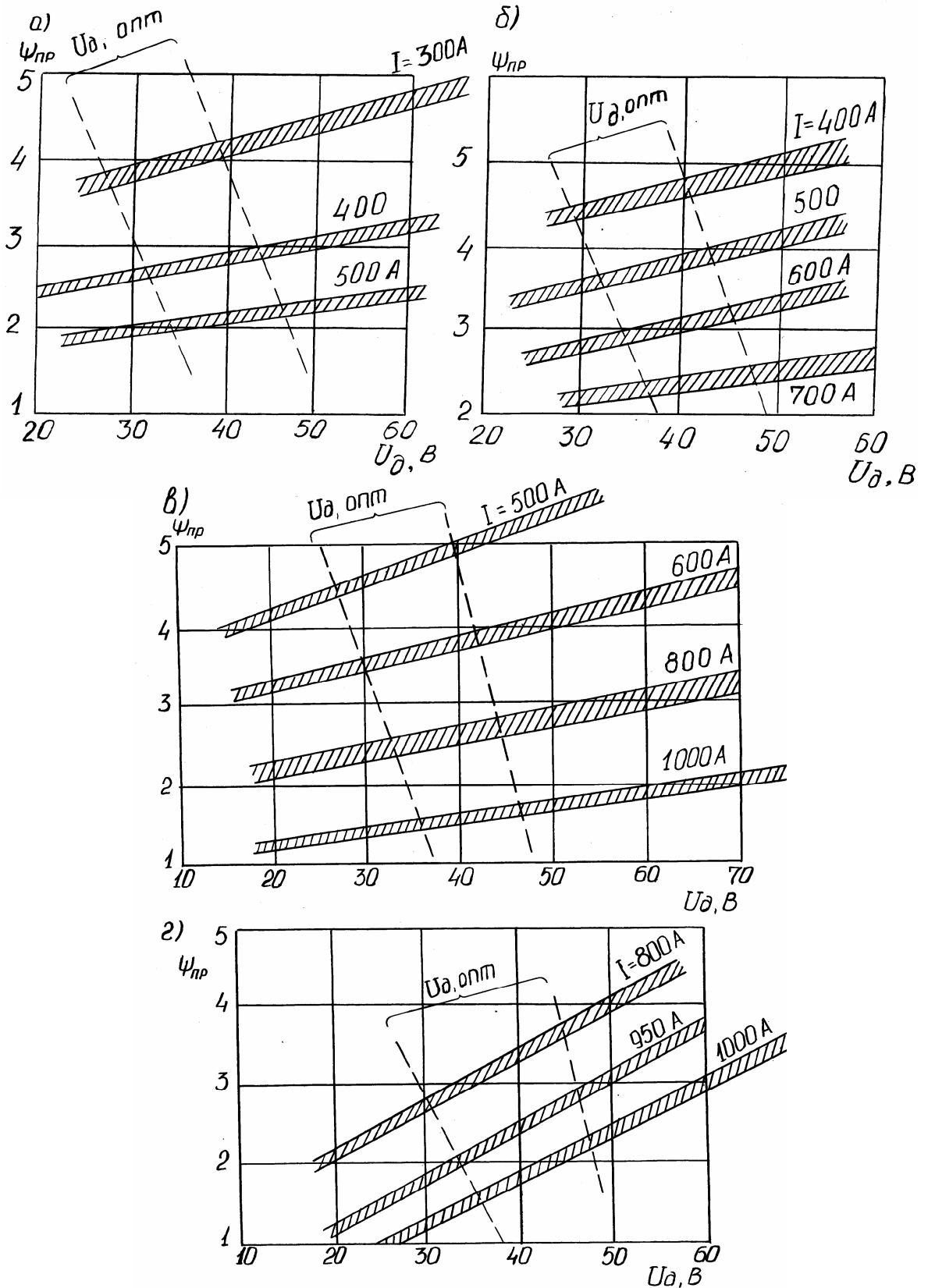
де  $G_{\text{фл}}$  - маса розплавленого флюсу.

### Задачі для розв'язання

**Задача №2.** Розрахувати режим двобічного автоматичного зварювання під шаром флюсу стикового з'єднання, товщина листа  $S=16 \text{ мм}$ , зазор на стикові  $3 \text{ мм}$ ,  $k=1.15$ .

**Задача №3.** Розрахувати режим автоматичного наплавлення валика на пластину товщиною  $S=12 \text{ мм}$  при глибині проплавлення  $8 \text{ мм}$ ,  $k=1.0$ .

**Задача №4.** Розрахувати режим автоматичного зварювання під флюсом, основні розміри стикового шва з повним проваром при товщині матеріалу  $S=12 \text{ мм}$ , зазорі  $3 \text{ мм}$ , струм постійний зворотної полярності, флюс АН-3.



**Рисунок 19** – Залежність коефіцієнту форми провару від напруги на дузі для дроту різного діаметра:

а)  $d = 2$  мм; б)  $d = 4$  мм; в)  $d = 5$  мм, г)  $d = 6$  мм

**Таблиця – Результати дослідів**

Результати вимірювань	Маса проби, $g$	До наплавлення	
		Після наплавлення	
	Маса шлакової кірки, $g$		
	Режим	Сила струму, $A$	
		Напруга, $B$	
		Час горіння дуги, $c$	
	Розміри валика, $mm$	Довжина	
		Ширина	
		Опуклість	
		Глибина провару	
Результати розрахунків	Коефіцієнт форми	Провару	
		Валика	
	Площа, $mm^2$	Проплавлення	
		Наплавлення	
	Частина основного металу в металі наплавлення		
	Швидкість переміщення дуги, $cm/c$		
	Погонна енергія, $Dж/cm$		
	Маса наплавленого металу, $g$		
	Питома витрата флюсу		
	Коефіцієнт наплавлення, $g / A \cdot год$		

### Контрольні запитання

1. Які величини встановлюють режим автоматичного зварювання під флюсом, як впливає на розміри валика сила зварювального струму.
2. Чому зі збільшенням напруги на дузі збільшується ширина валика та зменшується опуклість?
3. Як впливають на розміри валика переміщення дуги та діаметри зварювального дроту?
4. Чому зі зміною напруги на дузі змінюються витрати флюсу?
5. З яких матеріалів зроблені ОСЦ-45, АН-348А?
6. Що викликає появу пор у металі шва?

## Лабораторна робота №9

### Умови горіння дуги, формування валика та продуктивність при зварюванні в середовищі вуглекислого газу

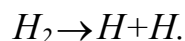
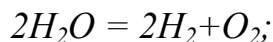
**Мета роботи:** Вивчити вплив параметрів режиму зварювання малоуглецевої сталі в середовищі  $CO_2$  на продуктивність процесу, якість і форму шва.

#### Зміст роботи

Сутність зварювання в середовищі  $CO_2$  полягає в тому, що дуга горить в середовищі захисного газу, який витісняє повітря від зони зварювання і захищає наплавлений метал від  $O_2$  та  $N_2$  повітря. Особливістю даного зварювання є порівняно сильне вигорання елементів, які мають велику спорідненість із  $O_2$  ( $C$ ,  $Al$ ,  $Ti$ ,  $Si$ ,  $Mn$  та ін.). Окислення відбувається за рахунок як  $CO_2$ , так і атомарного  $O$ , який утворюється при дисоціації  $CO_2$  під дією тепла дуги. Безперервне виділення окислів  $C$ ,  $Si$ ,  $Mn$  із ванни приводить до значного збіднення металу шва розкислювачами, що погіршує механічні властивості з'єднання. Тому для отримання якісних з'єднань необхідно при зварюванні в середовищі  $CO_2$  мати в зварювальній ванні достатню кількість розкислюючих елементів, які, звичайно вводять за рахунок дроту (Св-08Г2С, Св-08ГС).

Хімічний склад металу шва залежить не тільки від основного та електродного металів, але і від параметрів режиму зварювання, особливо від  $U_{зв}$  і  $I_{зв}$ . Зростання сили зварювального струму при тому ж діаметрі зварювального дроту призводить до зменшення часу перебування краплі на кінці електрода та її контакту з газами. Внаслідок цього зменшується ступінь вигорання розкислювачів із зварювального дроту. Зростання напруги на дузі призводить до значного збіднення металу шва розкислювачами, оскільки відсоток вигорання їх у стовпі дуги зростає за рахунок збільшення часу контакту краплі електродного металу з газом.

Вологість і витрата  $CO_2$  також впливають на якість шва. Із підвищенням вологості  $CO_2$  зростає кількість розчиненого у металі шва  $H_2$  який утворюється при дисоціації  $H_2O$



При недостатній витраті  $CO_2$  в зону зварювання проникає повітря. Через це у метал шва потрапляє  $N_2$ , що призводить до утворення пор, як і при попаданні  $H_2$

Витрата газу звичайно встановлюється за витратоміром, найчастіше типу РС-3. Шкала цього витратоміра відградується на витрату повітря при  $20^\circ C$  і  $760$  мм. рт. ст. (рис. 20).



*Рисунок 20 – Градуирована крива витратоміра РС-3*

Захисні гази легші чи важчі за повітря, тому для них вводять поправочні коефіцієнти  $k$ :

Азот( $N_2$ ).....	1.020
Аргон( $Ar$ ).....	0.85
Водень( $H_2$ ).....	3.8
Гелій( $He$ ).....	2.7
Кисень( $O_2$ ).....	0.955
Вуглецевий газ( $CO_2$ ).....	0.810

Наприклад, покази витратоміра – 60. При проведенні перпендикулярної лінії до осі абсцис з точки “60” до перетину з кривою витрати повітря, отримаємо значення витрати повітря 750 л/г. Припустимо, що газ, який застосовується при зварюванні, -  $CO_2$ . Тоді поправочний коефіцієнт для нього дорівнює 0.810. Витрата  $CO_2$

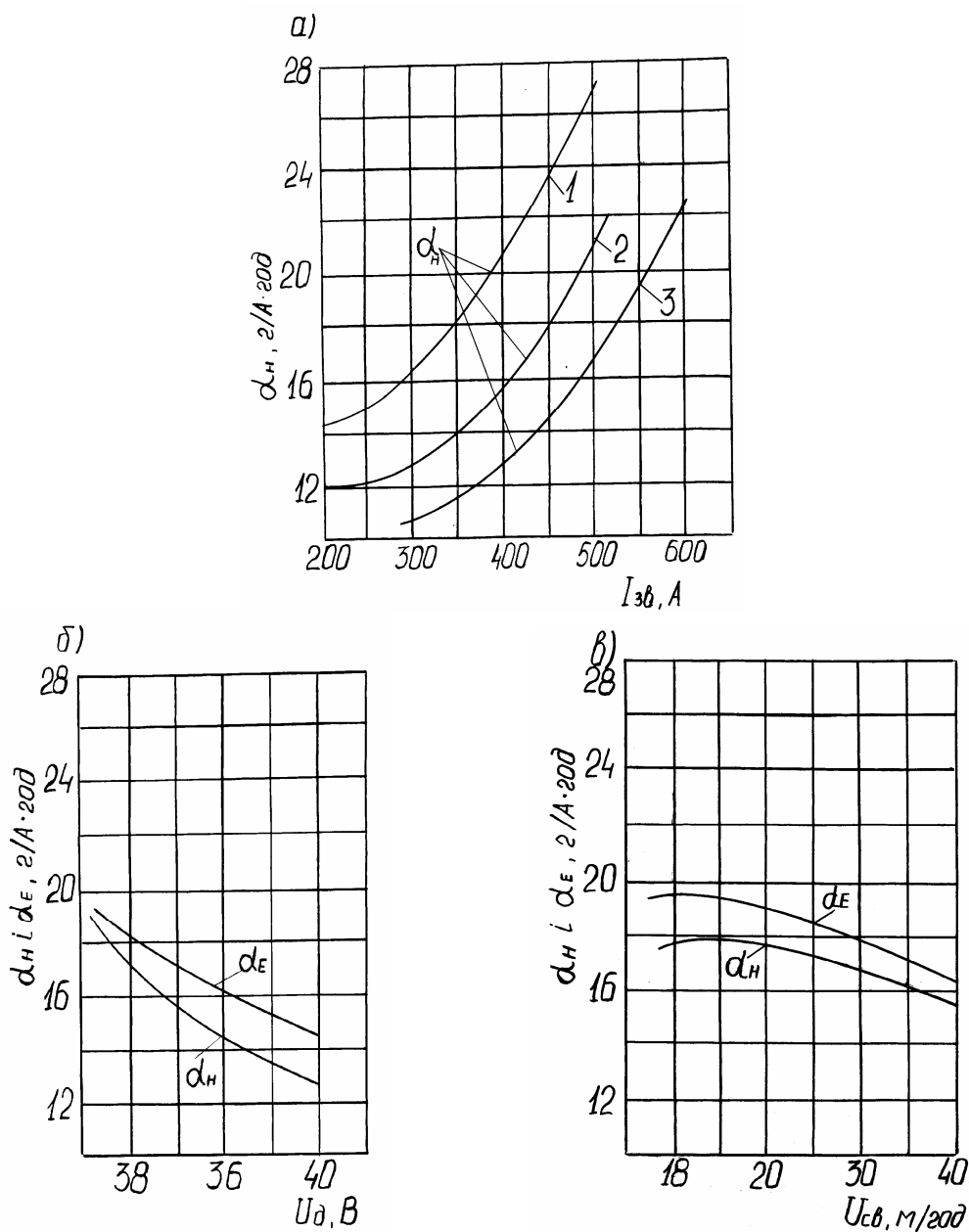
$$V_{CO_2} = V_{нов} k = 750 \cdot 0.810 = 607 \text{ л/г,}$$

і, відповідно до розглянутого, можна визначити витрату інших газів.

Зварювання в середовищі  $CO_2$  – процес високопродуктивний, у наш час, як правило, здійснюваний постійним струмом зворотної полярності. Змінний і постійний струми прямої полярності не застосовуються через недостатню стійкість процесу та незадовільну форму та якість шва. Це виникає в наслідок того, що наявність у дуговому проміжку  $O_2$ , який має велику спорідненість з електроном, призводить до утворення великої кількості негативних іонів, які порушують нормальні умови горіння дуги, яка живиться змінним і постійним струмами прямої полярності.

На продуктивність зварювання впливають коефіцієнти плавлення і наплавлення. При зварюванні в середовищі  $CO_2$  коефіцієнт наплавлення значно перевищує коефіцієнт наплавлення під шаром флюсу. Це пояснюється тим, що тепло дуги, яка горить в середовищі  $CO_2$ , не витрачається на плавлення флюсів, тобто ефективна теплова потужність дуги підвищується. Із збільшенням сили струму при зварюванні в середовищі  $CO_2$  втрати на угар і

розбризування зменшуються. Із підвищенням сили струму і зменшенням діаметра електродного дроту (підвищенням густини струму) коефіцієнти  $\alpha_e$  і  $\alpha_n$  збільшуються (рис. 21, а).



**Рисунок 21** – Залежність  $\alpha_e$  та  $\alpha_n$  від діаметра дроту та режиму зварювання.

а)  $d = 1,6 \dots 2,6$  мм ((1) -  $d = 1.6$  мм, (2) -  $d = 2.0$  мм (3) -  $d = 2.6$  мм);  
 б)  $d = 2$  мм,  $I_{зв} = 400$  А,  $V_{зв} = 24$  м/год; в)  $d = 2$  мм,  $I_{зв} = 400$  А,  $U_d = 30$  В

Підвищення напруги на дузі та збільшення швидкості зварювання призводить до зниження коефіцієнтів плавлення і наплавлення (рис. 21, б, в) Це пояснюється збільшенням втрат тепла з ростом довжини дуги на ви-

промінювання у навколишній простір, а також збільшенням втрат на розбризкування та угар. Збільшення швидкості переміщення дуги тягне за собою деяке зниження  $\alpha_e$  і  $\alpha_n$ , тому що із збільшенням швидкості зварювання погонна енергія зменшується.

Доцільність впровадження зварювання в середовищі  $CO_2$  підтверджується практикою роботи багатьох підприємств.

### Необхідні матеріали

1. Зварювальний дріт Св-08 Г2С, Св-08( $d=1.2 : 2$  мм).
2. Пластини з маловуглецевої сталі (100 x 100 x 10 мм).
3.  $CO_2$ .

### Обладнання, прилади, інструмент

1. Пост для зварювання в середовищі  $CO_2$ . (Для збереження сталості режиму зварювання бажано робити на автоматі).
2. Циферблатні ваги з гирями.
3. Секундомір.
4. Переносні настільні лещата.
5. Спеціальна струбцина.
6. Бачок для охолодження проб.
7. Прес для злому проб.
8. Лічильник для визначення витрати дроту.
9. Штангенциркуль.

### Порядок виконання роботи

**Дослід 1.** Визначити коефіцієнт плавлення, наплавлення, втрат на угар і розбризкування при зварюванні постійним струмом зворотної полярності.

1. Підготувати пост до роботи.
2. Зачистити пластини, зібрати їх у стик, користуючись спеціальною струбциною, і прихопити по торцях.
3. Зважити зібрані пластини з точністю до 2 г.
4. Підібрати режим зварювання в залежності від діаметра дроту, і товщини пластини за табл. 1.

Останнім часом знаходить застосування зварювання в середовищі  $CO_2$  тонким дротом на збільшених режимах, наприклад, на дріт  $d=1,2$  мм беремо наступний режим (табл. 2.)

5. На вибраному режимі по нижній межі наплавити валик перпендикулярно стику ( $L=150\div 160$  мм), фіксуючи час горіння дуги, напругу, силу зварювального струму та показники лічильника витрати дроту. Довжина розплавленого дроту визначається як добуток показників лічильника (обертів) на довжину кола падаючого ролика.

6. Охолодити пробу у воді, висушити і потім старанно очистити від бризків і шлаку.
7. Зважити пробу з наплавленим валиком і заміряти його довжину.
8. Збільшуючи силу струму приблизно на 100 - 150 А і, зберігаючи при цьому решту параметрів режиму по можливості постійними, наплавити ще два валики на цю ж пробу, виконати п.п. 3,5-7. Один із валиків наплавити струмом прямої полярності.
9. Визначити розміри валиків  $h$ ,  $e$ ,  $q$ .  
Розрахувати  $F_{н}$ ,  $F_{пр}$ ,  $\psi_{в}$ ,  $\psi_{пр}$ ,  $\gamma$ ,  $\psi$ ,  $\alpha_{е}$ ,  $\alpha_{н}$ ,  $v_{зв}$ ,  $q_{н}$ ,  $G$ .

**Дослід 2.** Повторити дослід 1, змінюючи напругу, при цьому решту параметрів режиму по можливості зберігати постійними.

**Таблиця 1** – Режим зварювання в середовищі  $CO_2$

Товщина металу, <i>мм</i>	Виліт електрода, <i>мм</i>	Діаметр електрода, <i>мм</i>	Сила струму, <i>A</i>	Напруга на дузі, <i>B</i>	Швидкість подачі дроту, <i>м/год</i>	Об'ємна витрата $CO_2$ , <i>л/хв</i>
8 - 12	15 - 22	1.6 - 2	200 - 500	26 - 32	250 - 300	14 - 24

**Таблиця 2** – Збільшені режими зварювання в середовищі  $CO_2$

Сила струму, <i>A</i>	Напруга на дузі, <i>B</i>	Відношення $\frac{l_{ел}}{d_{ел}^2}$ , <i>л/мм</i>	Розміри електрода, <i>мм</i>		Швидкість подачі дроту, <i>м/год</i>	Продуктивність, <i>кг/год</i>
			Діаметр	Довжина		
300	31 - 36	8 - 18	1.2	10-22	450 - 790	4.0 - 7.0
400	36 - 42	12 - 18	1.2	14-22	900 - 1200	8.0 - 9.0

**Дослід 3.** Повторити дослід 1, роблячи наплавлення дротом Св-08 і застосовуючи такий же режим зварювання, що і дротом Св-08Г2С. Зрівняти шви за зовнішнім виглядом.

Дані вимірювань і результати розрахунків занести у таблицю 3.

### Зміст звіту

1. Методика постановки дослідів і приклади розрахунків.
2. Таблиці записів і результатів розрахунків.

Висновки і пояснення одержаних результатів.



**Таблиця 3 – Результати розрахунків**

		Марка та діаметр дроту	
Результати вимірювань	Маса проби, $g$	До наплавлення	
		Після наплавлення	
	Режим	Сила струму, $A$	
		Напруга, $B$	
		Час горіння дуги, $c$	
	Розміри ва- лика, мм	Довжина	
		Ширина	
		Опуклість	
		Глибина провару	
	Результати розрахунків	Коефіцієнт форми провару	
Площа, $мм^2$		Валика	
		Проплавлення	
		Наплавлення	
Частка основного металу в металі шва			
Швидкість зварювання, м/год			
Погонна енергія, Дж/см			
Маса, $g$		Розплавленого дроту	
		Наплавленого металу	
Коефіцієнт		Плавлення, $\frac{g}{A \cdot год}$	
		Наплавлення, $\frac{g}{A \cdot год}$	
		Втрат, %	
Продуктивність, кг/год			

### Контрольні питання

1. Дисоціація  $CO_2$ , її вплив на умови горіння дуги і вибір виду струму.
2. Чому для зварювання в середовищі  $CO_2$  низьковуглецевої і низько легованої сталі потрібен дрiт із збільшеним вмістом  $Mn$  та  $Si$ ?
3. Чому при однакових умовах зварювання коефіцієнт  $\alpha_n$  в середовищі  $CO_2$  більший, ніж при зварюванні під шаром флюсу?
4. Як впливає на якість шва розмір краплі і коли спостерігається струминний перехід металу з електрода в зварювальну ванну?
5. Причини виникнення в швах пор.
6. Чому при зварюванні стикових з'єднань з обробкою країв в середовищі  $CO_2$  кут розкриття береться менший, ніж при зварюванні під шаром флюсу?

## Лабораторна робота №10

### Поперечні й поздовжні вкорочення при зварюванні

**Мета роботи:** вивчити процес виникнення поздовжніх та поперечних вкорочень при зварюванні.

#### Зміст роботи

Унаслідок нерівномірного нагріву при зварюванні у зварному з'єднанні виникають пластичні деформації стиску. Це тотожно як зменшенню довжини шва так і зменшенню біляшовної зони. При цьому після завершення термічного циклу зменшуються початкові розміри вздовж і поперек зварювального з'єднання, тобто проходить поперечне й поздовжнє вкорочення. Для зразків невеликих розмірів поперечні вкорочення, як правило, більші, ніж поздовжні.

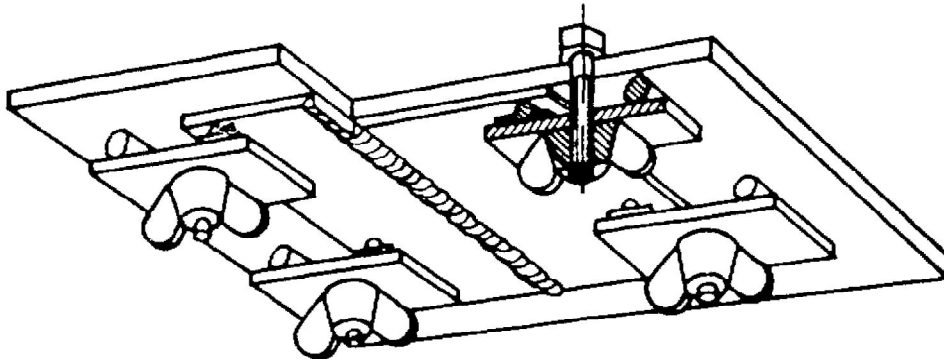


Рисунок 22 – Плита для щільного підтягування пластин

#### Необхідні матеріали

1. Пластини із маловуглецевої сталі (200x100x10 мм).
2. Електроди типу Е-42Р або Е-42А ( $d=4 \div 5$  мм).

#### Обладнання, пристосування, інструмент

1. Зварювальний пост постійного струму з електровимірювальними приладами.
2. Спеціальна струбцина.
3. Пристосування для збирання й зварювання тавра.
4. Плита з анкерними болтами, що виключають деформацію смуги на площині.
5. Розмічувальний штангенциркуль.
6. Лінійка.
7. Рисувалка.
8. Секундомір.
9. Кернер.

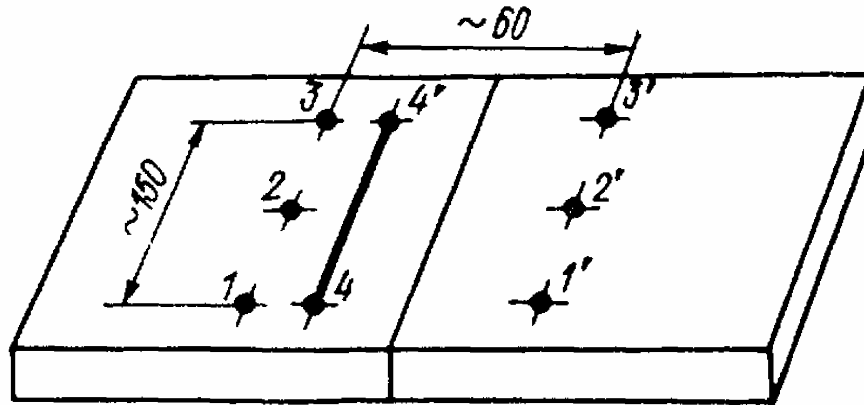
10. Молоток.

11. Бачок із водою для охолодження проб.

### Порядок виконання роботи

**Дослід 1.** Визначити поперечні та поздовжні вкорочення при зварюванні двох пластин у стик.

1. Зачистити пластини.

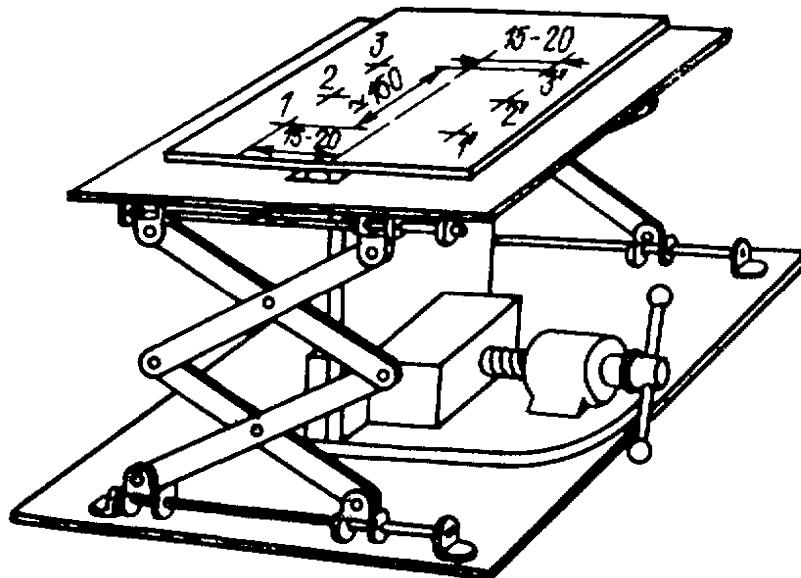


*Рисунок - 23 – Розмітка проби перед зварюванням для визначення вкорочення*

- Зібрати їх у стик, користуючись спеціальною струбциною, і прихопити по торцях із мінімальним зазором.
- Виправити зібрану пробу і перевірити на плиті.
- Розмітити і закернити пробу, як вказано на рис. 23. Риски на пробу нанести рисувалкою.
- Заміряти штангенциркулем відстань між точками 1-1'; 2-2'; 3-3' поперек стику й точками 4-4' вздовж стику.
- Дати пластині зворотний незначний прогин з таким розрахунком, щоб після зварювання першого валика, вона зайняла першочергове положення, або розмістити її під кульковими притискувачами.
- Підібрати силу зварювального струму за діаметром електрода і виконати шов з однієї сторони, фіксуючи силу струму, напругу, час горіння дуги.
- Охолодити пробу, очистити її від бризок і шлаку. Чим менше проходить часу з моменту охолодження проби у воді, тим меншими будуть вкорочення, оскільки тепло не встигає розповсюджуватися і зона нагріву буде меншою, тому охолодження слід проводити після деякого охолодження проби на повітрі.
- Заміряти відстань між точками 1-1'; 2-2'; 3-3'; 4-4'.
- Виконати шов з другої сторони проби, користуючись наведеними вказівками і виміряти довжину шва, розрахувати  $v_{зв}$  і  $q_n$ .
- Відповідно до одержаних даних провести розрахунок поперечних та поздовжніх вкорочень від кожного проходу і всього шва в цілому.

**Дослід 2.** Визначити деформації при зварюванні таврового з'єднання.

1. Зачистити пластини.
2. Зробити та прихопити таврове з'єднання в спеціальному пристосуванні (див. рис. 18).
3. Встановити пробу в пристосуванні та розмітити її.
4. Визначити відстані між точками 1-1' по 4-4'.
5. Підібрати силу зварювального струму за діаметром електрода.
6. Виконати шов із катетом 4-5 мм з однієї сторони, фіксуючи силу струму та час горіння дуги.
7. Охолодити пробу, очистити від бризок та шлаку.
8. Встановити пробу в пристосуванні та зробити заміри відстаней між точками 1-1' по 4-4'.
9. Виконати шов з протилежної сторони з катетом 6-8 мм, фіксуючи режим зварювання, час горіння дуги: заміряти довжину шва.
10. Виконати п. 7,8 та розрахувати  $v_{зв}$  і  $q_{п}$ . Встановити як впливає розмір катета на скорочення при зварюваннях. Результати вимірювань та розрахунків занести в таблицю.



*Рисунок 24 – Розташування проби в настільних переносних лещатах для розмітки*

#### **Зміст звіту**

1. Методика постановки дослідів, приклади розрахунків.
2. Таблиці записів та результатів розрахунків.
3. Графіки.
4. Висновки та пояснення отриманих результатів.

#### **Контрольні питання**

1. Чому виникають поперечні вкорочення при зварюванні?
2. Як впливає кутання металу шва та зони термічного впливу на залишкові деформації?

3. У яких випадках необхідно повністю знімати напруження від зварювання?
4. Чому штучне охолодження і підігрів зменшують залишкові деформації?
5. Способи виправлення деформованих деталей?

**Результати дослідів**

Вид з'єднання та номер проходу				
Режим	Сила струму, <i>A</i>			
	Напруга, <i>B</i>			
	Час горіння дуги, <i>c</i>			
Довжина шва, <i>мм</i>				
Швидкість зварювання, <i>см/с</i>				
Погонна енергія, <i>Дж/см</i>				
Відстань між точками, <i>мм</i>	Замір1 (1-1')	До зварювання		
		Після зварювання		
		Вкорочення		
	Замір2 (2-2')	До зварювання		
		Після зварювання		
		Вкорочення		
	Замір3 (3-3')	До зварювання		
		Після зварювання		
		Вкорочення		
	Середнє поперечне вкорочення			
	Замір 4 (4-4')	До зварювання		
		Після зварювання		
		Вкорочення		

## Лабораторна робота 11

### Зварювання легованих і високолегованих сталей

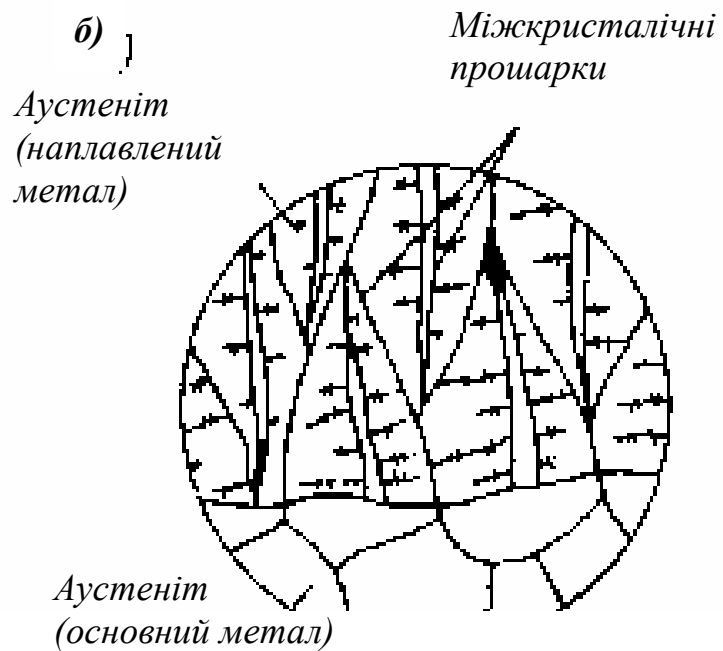
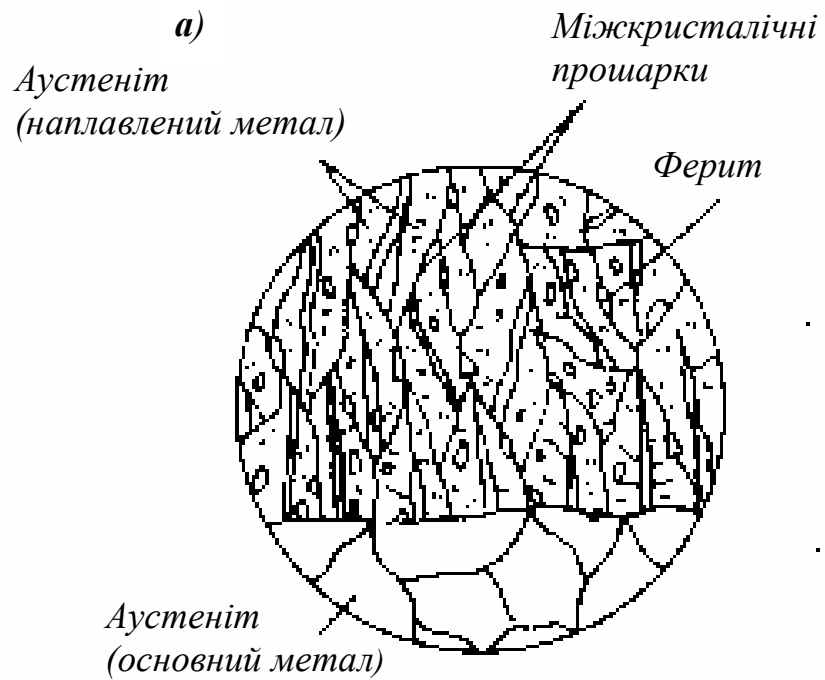
**Мета роботи:** вивчити методику визначення кількості фериту в металі шва за діаграмою Шеффлера та феритометром; дати оцінку схильності зварних з'єднань до міжкристалічної корозії на паспортних зразках, що підлягають випробуванню.

#### Зміст роботи

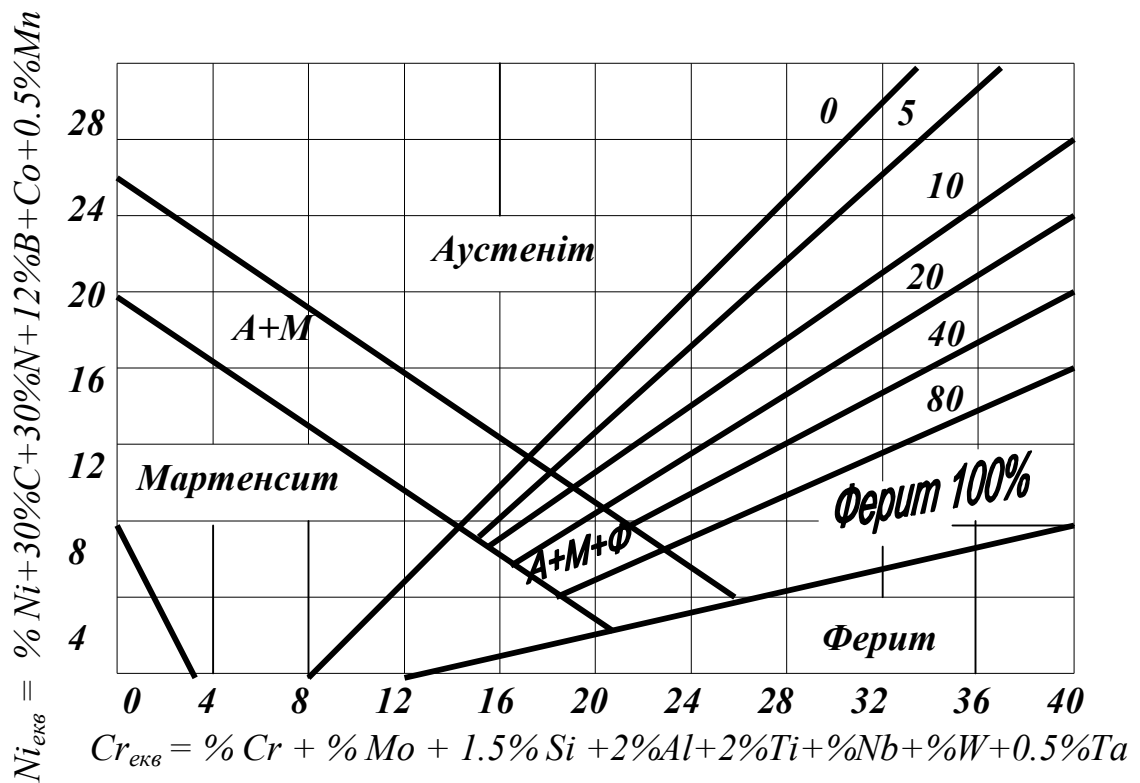
Високолеговані сталі мають підвищені механічні характеристики, жароміцність, високу стійкість до утворення окалини, стійкі до корозії й впливу агресивного середовища. Застосування цих сталей у промисловості дуже зросло за останні роки. Найбільше поширення одержали сталі типу 12Х18Н9, що відрізняються стійкістю до впливу повітря й кислот. Їх використовують для виготовлення конструкцій, які працюють при температурах до 600 - 650°, іноді (якщо термін експлуатації конструкції нетривалий) - при більш високих температурах. При зварюванні сталі типу 12Х18Н9 ділянки основного металу, розташовані з обох сторін від шва, піддаються нагріванню. У ділянках, тривалий час критичних температур, що знаходяться під впливом високих температур (450 - 850<sup>0</sup>С), може розвинути корозія між кристалічними решітками, яка полягає в тому, що граничні шари зерен під дією агресивного середовища втрачають свої антикорозійні властивості. Це явище - результат збіднення граничних шарів зерен аустеніту хромом внаслідок випадання складних карбідів заліза й хрому на границях кристалів аустеніту. З метою зменшення схильності сталі до міжкристалічної корозії знижують вміст у ній вуглецю чи скорочують час перебування металу в інтервалі критичних температур.

До зварних з'єднань із сталі типу 12Х18Н9 висувають підвищені вимоги. На якість зварних з'єднань істотно впливає режим зварювання. Надмірне збільшення напруги підсилює окислення *Cr*, *Ti*, *V* (феритоутворювальних елементів), тому що чим більша дуга, тим важче захистити зону зварювання від навколишнього повітря. Тому зварювання аустенітної сталі рекомендується робити короткою дугою.

Збільшення сили зварювального струму при незмінній швидкості зварювання спричиняє збільшення об'єму зварювальної ванни. При цьому спостерігається укрупнення зерен металу шва, що підвищує схильність до міжкристалічної корозії й утворення гарячих тріщин, особливо в литих аустенітних сталях. Підвищення швидкості зварювання навіть при рівній погонній енергії призводить до збільшення швидкості кристалізації і здрібнення структури шва. Звідси впливає, що погонна енергія значно впливає на властивості пришовної зони при зварюванні легованих і високолегованих сталей.



**Рисунок 25 - Структура зварених швів а) аустеніто-феритний; б) аустенітний**



**Рисунок 26** – Структурна діаграма зварних швів

Властивості зварювального з'єднання багато в чому залежать і від структури металу шва. У двофазному аустенітно-феритному шві (рис.25, а) первинний ферит залягає у вигляді окремих пелюстків, основна маса якого утворюється всередині кристалів і лише невелика частина на границях зерен аустеніту. Випадання надлишкової фази, багатой хромом, буде відбуватися в місцях великого скупчення фериту, тобто всередині зерен. Агресивне середовище при цьому, проникаючи в глиб металу на границях зерен аустеніту, буде зустрічати стійкі (не збіднені хромом) кристали аустеніту, надлишкова фаза з яких випала всередину кристала.

Товщина прошарків між зернами аустеніту зменшиться, внаслідок цього стійкість таких швів до міжкристалічної корозії та гарячих тріщин підвищиться в порівнянні з чисто аустенітними швами (рис. 25, б). Зміст фериту у зварних швах можна визначити розрахунковим шляхом, користуючись діаграмою (рис. 26), чи за допомогою спеціального приладу — феритометра.

Ступень легування металу шва з деякою похибкою може бути встановлено співставленням хімічного складу основного металу та металу наплавленого валика за формулою:

$$R_{ш} = R_0\gamma + (1 - \gamma)R_e \pm \Delta R, \quad (1)$$

де  $R_{ш}$  - вміст елемента в металі шва чи наплавлення, %;  $R_0$  - вміст цього елемента в основному металі, %;  $1 - \gamma$  - частка електродного металу в



металі шва чи наплавлення;  $R_e$  - вміст елемента, що розраховується в металі який наплавляється даною маркою електродів чи зварювальним дротом, %;  $\Delta R$  - величина переходу даного елемента з покриття чи флюсів або його вигорання (для спрощених розрахунків не враховується);  $\gamma$  - частка основного металу в металі шва чи наплавлення.

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Вибрати електроди для зварювання сталі марки 30ХГСА такого хімічного складу (%):  $C = 0.31$ ;

$Mn = 0.9$ ;  $Si = 1.0$ ;  $Cr = 1.0$ , щоб після зварювання структура металу шва вийшла мартенситною, якщо  $\gamma = 0.35$ .

#### Розв'язування

Приймаємо електроди типу Э150-Э марки НИАТ-3, що забезпечують одержання наплавленого металу такого хімічного складу (%):  $C = 0.18$ ;  $Mn = 1.5$ ;  $Si = 0.5$ ;  $Cr = 0.4$ .

Розрахувати хімічний склад металу шва за формулою (1):

$$R_{uCr} = 0.35 \cdot 0.31 + 0.65 \cdot 0.18 = 0.21 \% ; R_{uCr} = 0.35 \cdot 1.0 + 0.65 \cdot 1.5 = 1.35 \% ;$$

$$R_{uMn} = 0.35 \cdot 0.9 + 0.65 \cdot 1.5 = 1.29 \% ; R_{uSi} = 0.35 \cdot 1 + 0.65 \cdot 0.5 = 0.67 \% ;$$

$$R_{uMo} = 0.65 \cdot 0.4 = 0.26 \% .$$

Визначити еквівалент  $Cr$  і  $Ni$  (див. рис. 26):

$$C_{екв} = \% Cr + \% Mo + 1.5 \% Si = 1.35 + 0.26 + 1.5 \cdot 0.67 = 2.6 \% ;$$

$$N_{екв} = 30 \% C + 0.5 \% Mn = 30 \cdot 0.21 + 0.5 \cdot 1.29 = 6.94 \% .$$

За діаграмою Шеффлера визначити структуру металу шва. Для даного випадку вона мартенситна. Отже, електроди НИАТ - 3 задовольняють задану умову.

**Задача 2.** Визначити чи потрібне підігрівання при зварюванні встик двох деталей товщиною 10 мм із сталі марки 35ХМ такого хімічного складу (%):  $C = 0.35$ ;  $Mn = 0.55$ ;  $Cr = 0.9$ ;  $Mo = 0.2$ .

#### Розв'язування

Визначити еквівалент вуглецю за формулою

$$C_{екв} = \%C + \% Mn/6 + \%Cr/5 + \%V/5 + \%Mo/4 + \%Ni + \%Cu + \%P/2 = 0.35 + 0.55/6 + 0.9/5 + 0.2/4 = 0.62 \%$$

Повний еквівалент вуглецю, з урахуванням впливу товщини, визначається за формулою

$$C'_{екв} = C_{екв} (1 + 0,0055s) = 0,62 (1 + 0.005 \cdot 10) = 0.65.$$

При такому еквіваленті вуглецю підігрів необхідний. Температура попереднього підігріву

$$T_{II} = \sqrt{C'_{екв} - 0,25} = 350 \cdot \sqrt{0.65 - 0.25} = 222^\circ C$$

### Задачі для самостійного розв'язування

**Задача 3.** Вибрати електроди для зварювання сталі марки 15X25Т такого хімічного складу (%):  $B \leq 0.15$ ;  $Si \leq 1$ ;  $Mn \leq 0.8$ ;  $Cr = 24 \dots 27$ , щоб після зварювання структура металу шва містила 40% фериту, якщо  $\gamma = 0.3$ .

**Задача 4.** Визначити температуру попереднього підігріву при зварюванні встик двох деталей товщиною 30 мм зі сталі марки 30ХН2МФА такого хімічного складу (%):

$B = 0.3$ ;  $Mn = 0.45$ ;  $Si = 0.3$ ;  $Cr = 0.75$ ;  $Ni = 2.25$ ;  $Mo = 0.25$ .

**Задача 5.** Визначити структуру зварного шва, виконаного електродами типу Э46А-Б марки УОНИ-13/45 на пластині зі сталі марки 30ХН2МФА. Частка основного металу в металі шва  $\gamma = 0.25$ .

### Необхідні матеріали

1. Пластини зі сталі типу 12Х18Н9 (100×100×10 мм).
2. Пластини з маловуглецевої сталі марки Ст3 (100×100×10 мм).
3. Зразки з хромонікельової сталі, випробувані на міжкристалічну корозію, на які є всі дані за матеріалами, режимом і технологією зварювання.
4. Електроди УОНИ-13/45 і електроди для зварювання високолегованих сталей різних марок, наприклад ЭА-395/9, ЭА-400/10 чи ін.
5. Зварювальний дріт.

### Устаткування, пристосування, інструмент

1. Зварювальний апарат постійного струму з електровимірювальними приладами.
2. Феритометр.
3. Точило.
4. Напилки.
6. Бачок із водою.

### Порядок виконання роботи

Перед постановкою дослідів ознайомитися з інструкцією користування феритометром.

**Дослід 1.** Визначити кількість фериту у металі наплавлення на сталі марок 12Х18Н9Т і Ст3.

1. Зачистити пластину.
2. Підібрати силу зварювального струму за діаметром електрода  $I_{зв} = (30 \dots 40)$
3. Наплавити валик ( $l = 30 \dots 60$  мм), відмічаючи силу зварювального струму, напруги і часу горіння дуги.
4. Остудити пластину. Зачистити від бризок і шлаку.
5. Наждачним кругом чи напилком підготувати на поверхні валика площадку розміром не менш 6×20 мм.

6. Феритометром визначити кількість фериту в наплавленому шарі і порівняти з кількістю фериту у шві, визначеною за діаграмою Шеффлера (рис. 26). При визначенні кількості фериту ( $\alpha$ -фази) у шві розрахунковим методом хімічний склад наплавленого металу може бути визначений за формулою (1).

7. Повторити дослід, застосовуючи інші марки електродів.

**Дослід 2.** На стандартних зразках, що випробовуються на міжкристалічну корозію, встановити вплив хімічного складу матеріалу на схильність окремих ділянок зварених з'єднань до міжкристалічної корозії.

1. Вивчити паспортні дані досліджуваних проб.

2. Встановити ймовірні причини відносної зміни схильності сталі до міжкристалічної корозії проб. Дані дослідження зафіксувати.

Дані усіх вимірювань і результати розрахунків занести в таблицю.

**Таблиця – Результати дослідів**

Матеріал	Марка електрода	Режим			Вміст фериту у шві, %	
		Сила струму, $A$	Напруга, $U, B$	Час горіння дуги, $c$	За діаграмою Шеффлера	За показаннями приладів

### Зміст звіту

1. Методика постановки дослідів, приклади розрахунків.
2. Таблиці записів і результатів розрахунків.
3. Висновки й пояснення отриманих результатів.

### Контрольні питання

1. Чому двофазна сталь ( $\gamma + \alpha$ ) менш схильна до гарячих тріщин?
2. Структурна діаграма Шеффлера і її практичне значення.
3. Що таке міжкристалічна корозія, причини її виникнення та методи запобігання.
4. Чому еквівалент вуглецю є критерієм для оцінки необхідності застосування підігріву при зварюванні сталі?
5. Особливості технології зварювання різнорідних і двошарових сталей.

## Лабораторна робота №12

### Визначення змочуваності та розтікання рідкого припою по поверхні металу

**Мета роботи:** визначити вплив складу припою, флюсу й підготовки поверхні на розтікання.

#### Зміст роботи

Необхідною умовою вдалого процесу паяння є добра змочуваність і розтікання рідкого припою по поверхні металу.

Розглядаючи поведінку краплі рідини на твердій поверхні (рис. 27) можна зробити висновок, що форма обрису краплі залежить від відношення величин поверхневих натягів на границі розділу фаз: тверде тіло – газ (флюс), тверде тіло – рідина (припій), газ (флюс) – рідина (припій).

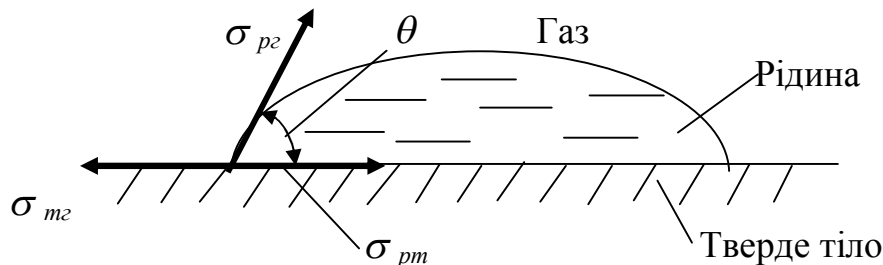


Рисунок 27 – Рівновага краплі рідини на поверхні твердого тіла

При хорошому змочуванні й розтіканні краєвий кут  $\theta \ll 90^\circ$ .  
Механізм розтікання пов'язаний з процесом поверхневої дифузії.

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{mg} - \sigma_{mp}}{\sigma_{pg}}; \quad K_{розт} = \sigma_{pg}(\cos \theta - 1).$$

Змінюючи склад припою, основи, флюсу (газу), стан поверхні, температуру нагрівання, можна впливати на величини поверхневих натягів і тим самим на хід процесу розтікання.

Аналітично оцінити кількісно змочуваність і розтікання для будь-якої пари матеріалів є практично неможливим, оскільки визначення поверхневого натягу представляє значні експериментальні труднощі. Тому оцінку змочування й розтікання ведуть дослідним шляхом, розплавляючи на поверхні пластини металу припій і заміряючи площу розтікання краплі і крайовий кут. Зіставляючи результати різних дослідів, можна зробити висновки про технологічні властивості припоїв в даних конкретних умовах (флюс, температура, час розтікання і т. д.), а варіюючи склад флюсу та припою, температуру й час паяння, підготовку поверхні, - підібрати найвигідніші умови паяння.

## Обладнання та матеріали

1. Тигельна піч із температурою нагріву до 350<sup>0</sup>С, обладнана пристроєм для регулювання температури з точністю до ±3<sup>0</sup>С.
2. Планіметр або калька з міліметровою сіткою.
3. Епідіаскоп.
4. Інструменти – пінцет, плоскогубці, абразивна шкірка, ножиці для метали, рисувалки, металева лінійка, лещата.
5. Зразки діаметром 40×40мм товщиною 1.0 - 1.5мм із маловуглецевої сталі – 19 шт., із міді – 3 шт.
6. Припій групи Sn-Pb різних включень з складом олова 0; 30; 40; 60; 80; 100% у вигляді стрічок товщиною 1.25–1.5мм.
7. Флюси: каніфольний (у вигляді 40-відсоткового спиртового розчину), водний розчин хлористого цинку концентрацій 5; 15; 25; 40; 50%.
8. Травники і знежирювальні розчини для обробки сталі і міді такого складу (табл.1).

**Таблиця 1 – Склад травників і режим обробки сталей**

Номер складу	Призначення складу	Склад розчину	Режим обробки	
			Температура, <sup>0</sup> С	Час обробки, хв
1	Миючий для сталі	Тринатрійфосфат 50-70 г/л Вуглекислий натрій 30 г/л Їдкий натрій 10 г/л Рідке скло 3-5 г/л	75-80	20-30
2	Миючий для міді	Їдкий натрій 10-20 г/л Вуглекислий натрій 25-30 г/л Рідке скло 3-5 г/л	60-70	3-5
3	Травний для сталі	Соляна кислота 80-100 г/л Присадка КС 0,5-1,0 г/л	20-40	10-15
4	Травний для міді	Азотна кислота (нит. вага 1.4) 20 см <sup>3</sup> Сірчана кислота (нит. вага 1.74) 80 см <sup>3</sup> Хромовий антигідрид 60 г Вода 200 г	20	До повного відділення окислу

## Порядок виконання роботи

1. Провести підготовку поверхонь зразків і маркування відповідно до таблиці 2. Перед заключною обробкою один кут пластини зігнути лещатами під кутом  $90^{\circ}$  до поверхні заготовки для зручності внесення зразків в піч.
2. Зі стрічок припою відповідних складів вирізати необхідну кількість однакових за розмірами пластинок ( $7 \times 7$  мм). Товщину стрічок в усіх випадках брати однаковою. Пластинки припою вкласти в центр відповідної пластини і на них нанести флюс, кількість якого в усіх випадках потрібно брати однаковою, що легко можна зробити, використовуючи піпетку.
3. Пластини в горизонтальному положенні по черзі покласти в тигельну піч, температура якої на  $40^{\circ}\text{C}$  вища температури плавлення припою (точки ліквідус), і витримати протягом 2 хвилин.

Для експериментів з впливу температури її значення брати з таблиці 2.

Послідовність завантаження зразків у піч слід вибирати такою, щоб звести до мінімуму затрати часу для налаштування печі на потрібний температурний режим. Після витримки зразки витягнути з печі і охолодити на повітрі.

4. Пластини із залишками активного флюсу ( $\text{ZnCl}_2$ ) добре промити під водою і висушити.
5. Провести заміри площі розтікання за допомогою планіметра або кальки з міліметровою сіткою. Шляхом проектування профілю краплини через епідіаскоп на екран виміряти величину крайового кута. Отримані дані занести в таблицю й побудувати криві розтікання як функції температури, складу флюсу і припою.

## Контрольні запитання

1. Яка дія каніфолі і хлористого цинку під час паяння?
2. Чим пояснюється властивість припою евтектичного складу добре розтікатися?
3. Як пояснити властивість припою погано розтікатися на поверхні, покритій шаром окислу?

Таблиця 2

Матеріал зразка (плас- тини)	Підготовка поверхні	Склад припою	Склад флю- су	Температура нагріван- ня, °С	Час витримки в печі, хв	Площа розтікання, см <sup>2</sup>	Краєвий кут, град
1	2	3	4	5	6	7	8
Ст.3	Зачистити абразивн шкуркою	100% Sn	50-%розчин ZnCl <sub>2</sub> у воді				
_____	_____	80% Sn 20% Pb	_____				
_____	_____	60% Sn 40% Pb	_____				
_____	_____	40% Sn 60% Pb	_____				
_____	_____	30% Sn 70% Pb	_____				
_____	_____	100% Pb	_____				
_____	_____	30%Sn 70%Pb	40% розчин каніфолі в спирті				
_____	_____	70% Pb	40% розчин Zn-Cl <sub>2</sub> у во- ді				
_____	_____	70% Pb	25-% роз- чин Zn-Cl <sub>2</sub> у воді				
_____	_____	70% Pb	15-% роз- чин Zn-Cl <sub>2</sub> у воді				

*Продовження таблиці 2*

1	2	3	4	5	6	7	8
_____	_____	30% Sn 70% Pb	5-% розчин Zn-Cl <sub>2</sub> у воді				
Мідь	_____	30% Sn 70% Pb	50% розчин Zn-Cl <sub>2</sub> у воді				
_____	_____	70% Pb	40% розчин каніфолі в спирті				
Ст.3	Травлення в суміші №3	70% Pb	50% розчин Zn-Cl <sub>2</sub> у воді				
Мідь	Травлення в суміші №4	70% Pb	_____				
Ст.3	Обезжирю- вання в су- міші №1 або ацетоні без оброки шкуркою	70% Pb	_____				
_____	Зачистка абр. шкур- кою з на- ступним знежирю- ванням у суміші №1 чи ацетоні	70% Pb	Без флюсу				
_____	_____	70% Pb	50% розчин у воді				
_____	_____	70% Pb	_____				
_____	_____	70% Pb	_____				
_____	_____	70% Pb	_____				
_____	_____	70% Pb	_____				



## Лабораторна робота №13

### Капілярні явища при паянні

**Мета роботи:** виявити залежність висоти підняття припою від величини зазору при різних способах підготовки поверхонь, що з'єднуються.

#### Зміст роботи

Заповнення зазору при паянні рідким припоєм відбувається під дією капілярних сил.

Явище капілярності тісно пов'язане з процесом змочування твердого тіла (поверхні металу) рідиною (розплавленим припоєм).

Якщо не враховувати хімічної взаємодії припою та основи, то висота підняття рідини між двома плоскопаралельними пластинами, що утворюють капілярний зазор

$$h = \frac{2 \cdot \cos \theta \cdot \sigma}{l \rho g}, \text{ де}$$

$\theta$  - крайовий кут змочування;

$\sigma$  - поверхневий натяг рідини;

$l$  – зазор (відстань між паралельними площинами);

$\rho$  – густина рідини;

$g$  – прискорення вільного падіння.

Таким чином, висота підняття рідини у капілярному зазорі прямо пропорційна поверхневому натягу, залежить від природи металу та припою і обернено пропорційна величині зазору й густині рідини.

Тому при конструюванні паяних з'єднань і їх складанні слід намагатися досягти якомога менших зазорів, щоб забезпечити найглибше проникнення припою в зазор.

Однак при цьому необхідно враховувати ряд обставин:

1) надмірне зменшення зазору може вимагати значного часу для його заповнення;

2) із зменшенням зазору підвищуються вимоги до точності обробки спряжених поверхонь, що збільшує вартість обробки;

3) при паянні різнорідних металів через різницю коефіцієнтів лінійного розширення зазор в процесі паяння та кристалізації змінюється, що призводить до поганого його заповнення, виникнення значних внутрішніх напруг, тріщин та жолоблення деталей;

4) при дуже малих зазорах заповнення його припоєм при паянні з використанням флюсів може забруднюватись через утворення «пробок» (продуктів реакції флюсу з оксидами металу, що мають значну в'язкість) на шляху руху рідини.