

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
З ДИСЦИПЛІНИ “ ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
І МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО”
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ З РОЗДІЛУ
“ЗВАРЮВАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ МЕХАНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ
УСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства.
Протокол №13 від 16.06.11

Методичні вказівки з дисципліни “ Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство” до виконання лабораторного практикуму з розділу “Зварювальне виробництво” для студентів механічних спеціальностей усіх форм навчання / Укл.: Трофименко В.В., Клименко О.П., Овчаренко В.І. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2013. – 36 с.

Укладачі: В.В. Трофименко, канд. техн. наук
О.П. Клименко, канд. техн. наук
В.І. Овчаренко, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск О.Б. Гірін, д-р техн. наук

Навчальне видання
Методичні вказівки
з дисципліни “ Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство”
до виконання лабораторного практикуму
з розділу “Зварювальне виробництво” для студентів механічних
спеціальностей усіх форм навчання.

Укладачі: ТРОФИМЕНКО ВІТАЛІЙ ВАСИЛЬОВИЧ
КЛИМЕНКО ОЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ
ОВЧАРЕНКО ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ

Авторська редакція

Підписано до друку 01.02.13. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов.-друк. арк. 1,63. Облік.-вид. арк. 1,71. Тираж 80 прим. Замовлення №159.
Свідоцтво ДК №303 від 27.12.2000.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, м. Дніпропетровськ-5, просп. Гагаріна, 8.

Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

ВСТУП

Зварювання – це технологічний процес виготовлення нерознімних з'єднань твердих матеріалів шляхом встановлення міжатомних зв'язків між частинами, що зварюються, при їх місцевому нагріванні, пластичному деформуванні або їх сумісній дії. Суть зварювання полягає у зближенні елементарних часток частин, що зварюються, настільки, щоб між ними почали діяти міжатомні зв'язки, які забезпечують міцність з'єднання.

Залежно від виду енергії, що застосовується при зварюванні, розрізняють три класи зварювання: термічний, термомеханічний та механічний:

Види зварювання	Клас		
	термічний	термомеханічний	механічний
електродугове електрошлакове газове електронно-променеве плазмове іонно-променеве фотонне (світлове) індукційне термітне	контактне дифузійне газопресове індукційно-пресове дугопресове шлакопресове конденсаторне ковальське (горнове)	вибухом тертям холодне ультразвукове магніто-імпульсне	

До **термічного** класу належать види зварювання, які здійснюються плавленням, тобто місцевим розплавленням з'єднуваних частин з використанням теплової енергії. Джерела теплоти характеризуються температурою та концентрацією, яка визначається найменшою площею нагрівання та найбільшою густиною теплової енергії у плямі нагрівання.

Теплова енергія, підведена ззовні, оплавляє кромки частин, що зварюються. Після видалення джерела нагрівання починається кристалізація, в результаті якої формується монолітний шов, який міцно з'єднує зварені частини деталі.

Термомеханічний клас зварювання здійснюється з використанням теплової енергії та тиску. При цьому теплова енергія підвищує пластичність матеріалу та рухомість атомів, що разом з деформацією сприяє утворенню міжатомних зв'язків та формуванню зварного шва.

До **механічного** класу належать види зварювання, що здійснюються з використанням механічної енергії і тиску. При зварюванні сумісно деформуються поверхневі нерівності, з них видаляються оксидні та органічні плівки і одночасно встановлюється контакт між атомами ювенільних (чистих) поверхонь. Для активізації атомів і утворення міжатомних зв'язків необхідна значна пластична деформація зварюваних частин, яка можлива у разі достатнього запасу пластичності матеріалу.

Існують й інші принципи класифікації способів зварювання. Наприклад:

1. За способом отримання зварного з'єднання:
 - зварювання плавленням (способи термічного класу);
 - зварювання тиском (способи механічного та термомеханічного класів).
2. За ступенем механізації розділяють:
 - ручне;
 - механізоване;
 - автоматичне.
3. За способом захисту матеріалу під час зварювання:
 - на повітрі;
 - у вакуумі;
 - у захисних газах;
 - під флюсом;
 - по флюсу;
 - в піні;
 - з комбінованим захистом та ін.

Зварюють не лише метали, а й окремі неметалеві матеріали, зокрема пластмаси (додаток А). заготовками для різноманітних зварних металевих конструкцій служать вальцівки, кованки, штамповки та виливки. Раціонально вибираючи матеріал і профіль заготовки можна створити полегшену й надійну зварну конструкцію з невисокою собівартістю її виготовлення.

ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВЛЕННЯМ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

РУЧНЕ ЕЛЕКТРОДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Мета роботи: ознайомитися з основами ручного дугового зварювання, властивостями зварювальної дуги, з конструкцією та роботою зварювального обладнання; вивчити вплив величини струму на коефіцієнти розплавлення та наплавки, величину витрат та розбризкування і продуктивність при ручному дуговому зварюванні; оволодіти елементарними навиками ручного електродугового зварювання сталі.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Ручне дугове зварювання належить до найпоширеніших способів зварювання завдяки універсальності, можливості зварювання в усіх просторових положеннях (додаток Б), простоті конструкції та невисокій вартості обладнання (додаток В), можливості отримання стабільних і порівняно високих властивостей металу шва. При ручному зварюванні подача штучного електрода в зону зварювання та переміщення дуги вздовж зварних кромek виконується вручну. Джерелом тепла є **зварювальна дуга**, у стовпі якої утворюється температура 6000...8000°C. Дуга становить потужний стабільний

електричний розряд в іонізованій атмосфері газів і парів металів. Іонізування дугового проміжку починається у момент запалення дуги та підтримується у процесі її горіння. Електричні властивості дуги описуються її статичною вольт-амперною характеристикою (рис. 1.1, крива 2), яка становить залежність між напругою на дузі та силою зварювального струму.

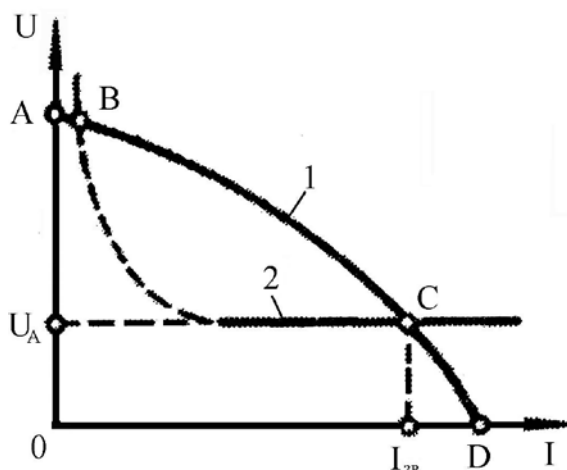


Рис. 1.1. Спадаюча зовнішня характеристика джерела струму (1) і статична вольт-амперна характеристика дуги (2):
 А - точка холостого ходу; В - точка запалювання дуги;
 С - точка стабільного горіння дуги; D - точка короткого замикання

Щоб забезпечити стабільний режим зварювання, *джерела живлення* зварювальної дуги повинні мати певну зовнішню характеристику. Зовнішньою характеристикою називають графічну залежність між напругою на затискачах джерела струму і струмом навантаження. Для ручного дугового зварювання кращі результати дає спадна зовнішня характеристика (рис. 1.1, крива 1). Напруга між електродами і деталями перед початком зварювання називається напругою холостого ходу U_{xx} (рис. 1.1, т. А) і дорівнює звичайно 60...80 В. Для запалювання дуги електрод торкається деталей, що зварюються. У зварювальному електричному колі виникає струм короткого замкнення $I_{кз}$ (рис. 1.1, т. D). Момент запалювання (виникнення) дуги відповідає т. В (рис. 1.1).

Проте такий стан дуги нестабільний, і він швидко переходить у стабільний (рис. 1.1, т. С), який відповідає власне процесу зварювання і характеризується напругою на дузі U_0 та силою зварювального струму $I_{зв}$.

Режим ручного дугового зварювання визначається головним чином діаметром електрода і силою зварювального струму. Швидкість зварювання і напруга дуги, як правило, не регламентуються. Їх добирає сам зварник залежно від марки електрода і положення шва в просторі.

Діаметр електрода беруть залежно від товщини зварюваного металу:

Товщина металу, мм	1...2	3	4...5	6...12	13 і більше
Діаметр електрода, мм	1,5...2,5	3	3...4	4...5	5 і більше

Визначення кількісних характеристик процесу плавлення електродів різних марок робиться шляхом плавлення електродів і наплавки валиків в нижньому положенні на сталю пластину.

Для визначення впливу величини зварювального струму на величину характеристик плавлення електродів необхідно підібрати три режими: мінімальний, середній, максимальний.

Сила зварювального струму в основному залежить від діаметра електрода. Для діаметрів 3...6 мм її визначають за формулою (1):

$$I=k \cdot d, \quad (1.1)$$

де I – сила зварювального струму, А;

d – діаметр електрода, мм;

k – коефіцієнт, що дорівнює 40...60 – для електродів із стрижнем з низьковуглецевої сталі і 35...40 – для електродів із стрижнем з високолегованої сталі.

Наплавка повинна проводитися в один шар і за можливості без перерв в горінні дуги. Заміри часу виконуються за допомогою двох секундомірів. За допомогою першого секундоміра обліковується весь час розплавлення електрода, включаючи випадкові обриви дуги.

За допомогою другого секундоміра реєструється час можливих перерв в процесі горіння дуги. На основі показань секундомірів підраховується чистий час горіння дуги.

Зварювальне обладнання ручного дугового зварювання складається з джерела живлення дуги, зварювальних провідників, електродотримача й електродів. При зварюванні неплавкими електродами застосовують вуглецеві (графітові) електроди діаметром 6...30 мм і завдовжки 200...300 мм або вольфрамові електроди (при зварюванні в інертних газах) діаметром 1...6 мм. Для зварювання плавкими електродами з покриттям використовують металеві електроди діаметром 1,6...12 мм і завдовжки 150...450 мм.

Під час ручного зварювання зварник маніпулює електродом, підтримуючи задану довжину дуги, подає електрод у дугу, а також переміщує його вздовж заготовки. Схема зварювання електродом із покриттям наведена на рис. 1.2.

До складу покриття входять:

- стабілізуючі (іонізуючі);
- газоутворюючі;
- шлакоутворюючі;
- розкислювальні;
- легуючі компоненти.

Стабілізуючі – це сполуки лужних і лужноземельних металів (наприклад крейда).

Газоутворюючі компоненти сприяють формуванню захисного газового середовища (деревне і харчове борошно, целюлоза тощо).

Шлакоутворюючі компоненти захищають електродний метал, метал

зварювальної ванни та гарячого шва від впливу повітря (оксиди металів та неметалів – марганцева руда, титанова руда, каолін тощо).

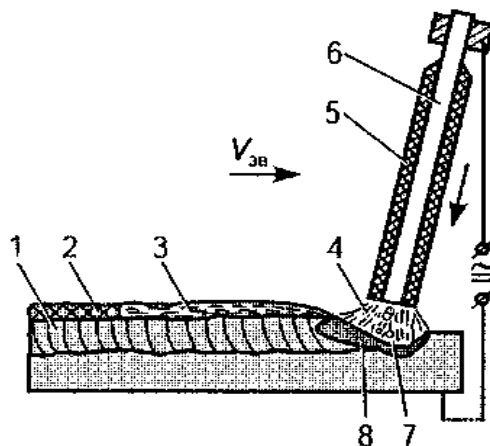


Рис. 1.2. Схема зварювання електродом з покриттям.

- 1 - зварний шов; 2 - тверда шлакова кірка; 3 - рідка шлакова ванна;
4 - газова захисна атмосфера; 5 - покриття електрода;
6 - стрижень електрода; 7 - зварювальна дуга; 8 - рідка металева ванна

Розкислювальні компоненти – це сполуки, що мають більшу спорідненість із киснем. Вони необхідні для видалення кисню з ванни і шлаків (феромарганець, феротитан, феросиліцій тощо).

Легуючі компоненти застосовують для одержання необхідного хімічного складу і властивостей зварного шва.

Переваги і недоліки ручного дугового зварювання. Ручне дугове зварювання забезпечує механічні властивості зварних швів, не нижчі за властивості основного металу, тому його широко застосовують при виготовленні найважливіших конструкцій і виробів у різних галузях промисловості і в будівництві. До переваг ручного зварювання належить також можливість виконання зварних швів у різних просторових положеннях і у важкодоступних місцях.

Недоліком цього способу зварювання є різна якість зварного шва, яка до того ще й залежить від кваліфікації зварника, і відносно невисока продуктивність процесу зварювання. Продуктивність при дуговому зварюванні в основному визначається силою зварювального струму. При ручному зварюванні струм обмежують через перегрівання при великому струмі довгих електродних стрижнів (завдовжки 350...450 мм) і погіршення в зв'язку з цим якості зварювання.

1.1. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Технологічні характеристики плавлення електродів визначаються експериментально і дозволяють судити про продуктивність та економічність процесу зварювання електродами тієї чи іншої марки.

1.1.1. Коефіцієнт розплавлення

Визначається (в г/А·год.) за формулою (1.2):

$$\alpha_p = \frac{G_p \cdot 3600}{I \cdot t} \quad (1.2)$$

де G_p - маса розплавленого металу електрода, г;

I - величина зварювального струму в А;

t - час горіння дуги, с.

Величина коефіцієнта розплавлення α_p залежить від ряду факторів, визначаючих процес зварювання чи наплавки:

- матеріалу електродного стержня;
- покриття електроду;
- роду струму;
- полярності при зварюванні постійним струмом;
- величини зварювального струму.

Порівняно мала величина α_p залежить від напруги на дузі (довжини дуги) та від положення металу, що наплавляється в просторі.

Маса розплавленого металу в грамах розраховується за формулою (1.3):

$$G_p = \frac{\pi d_m^2 \ell_p \gamma}{4}, \quad (1.3)$$

де d_m – діаметр металічного стержня, см;

ℓ_p – довжина розплавленої частини електродного стержня, см;

γ – щільність металу електродного стержня, г/см³.

Довжина розплавленої частини металічного стержня електрода в см визначається із залежності (1.4):

$$l_p = l_1 - l_2 \quad (1.4)$$

де l_1 – довжина стержня електрода до розплавлення, см;

l_2 – довжина стержня електрода після розплавлення, см.

Формула (1.3) може бути використана в розрахунках, якщо обмазка електрода складається з неметалічних компонентів. В випадку, коли в склад обмазки входять металічні компоненти, наприклад, залізний порошок, більш точні результати будуть отримані, якщо при розрахунках маси розплавленого електродного металу користуватися формулою (1.5):

$$p = \frac{\pi d_m^2 \ell_p \gamma}{4} \left(1 + \frac{K_n K_m}{10^4} \right), \quad (1.5)$$

де K_n – коефіцієнт маси покриття в процентах;

K_m – коефіцієнт, враховуючий металічні складові покриття електрода, %.

Значення решти членів цієї формули відомі з формули (1.3).

1.1.2. Коефіцієнт наплавки

Визначається (в г/А·год.) за формулою (1.6):

$$\alpha_n = \frac{G_n \cdot 3600}{I \cdot t}, \quad (1.6)$$

де G_n - маса наплавленого металу, г;

I - величина зварювального струму в А;

t - час горіння дуги, с.

Маса наплавленого металу у грамах визначається із залежності (1.7):

$$G_n = G_2 - G_1, \quad (1.7)$$

де G_1 - маса пластини до наплавки, г;

G_2 - маса тієї ж пластини після наплавки, г.

Величина коефіцієнта наплавки залежить, в основному, від тих самих факторів, що й величина коефіцієнта розплавлення. Але на величину α_n значно більший вплив чинять такі фактори, як величина зварювального струму, довжина дуги та зв'язана з нею напруга на дузі, положення металу, що наплавляється, в просторі, що пояснюється значним змінням величини витрат металу при зміненні цих факторів.

1.1.3. Витрати електродного металу

В процесі зварювання та наплавки, внаслідок виникнення високих температур і особливостей процесу переносу електродного металу, спостерігаються витрати електродного металу на угар (газ), розбризкування, окислення та випаровування.

Коефіцієнт витрат визначається за формулою (1.8):

$$\psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} \cdot 100\%, \quad (1.8)$$

де G_p , G_n - відповідно маса розплавленого та наплавленого електродного металу, г.

Величина коефіцієнта витрат дуже зростає із збільшенням сили зварювального струму та довжини дуги.

1.1.4. Продуктивність процесу

Продуктивність процесу дугового зварювання (в г/год.) визначається за формулою (1.9):

$$Q = \alpha_n \cdot I, \quad (1.9)$$

де α_n – коефіцієнт наплавки, г/А·год.;

I - величина зварювального струму, А.

Продуктивність процесу дугового зварювання прямо-пропорціональна коефіцієнту наплавки та величині зварювального струму.

1.2. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Зварювальний пост змінного чи постійного струму, амперметр зі шкалою до 300 А, технічні ваги, різновіси, масштабна лінійка, штангенциркуль, секундомір, електроди діаметром від 3 мм до 4 мм різних марок з якісним покриттям, пластини з низьковуглецевої сталі.

1.3. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Стальні пластини розміром 60x150x10 мм очистити від забруднень, зважити з точністю до 0,1 г.

2. Виміряти діаметр і довжину відібраних для дослідження електродів.

3. Зробити наплавку валика на пластину з відповідним досліду номером.

4. При наплавці валика зробити заміри величини зварювального струму в амперах, секундоміром час горіння дуги в секундах.

5. Наплавлені пластини охолодити в воді, очистити від бризок, шлаку та зважити.

6. Знаючи вагу пластини до та після наплавки, підрахувати вагу напавленого металу.

7. Виміряти довжину огарка електрода з точністю до 1 мм та, знаючи початкову довжину металічного стержня, встановити довжину розплавленої частини електрода I_p .

8. Користуючись формулою (1.3) підрахувати вагу розплавленого металу, визначити вагу розплавленого металу можна зважуванням.

9. Визначають вагу електродного стержня в огранці попередньо очистивши його від обмазки, тоді (1.10):

$$I_p = I_{p1} - I_{p2} \quad (1.10)$$

10. За формулами, які наведено вище, підрахувати коефіцієнт розплавлення α_p , наплавки α_n , витрати на угар та розбризкування ψ і продуктивність зварювання Q для трьох режимів зварювання.

11. Дослідні данні занести до таблиці 1.1.

Результати досліджень

№		№ досліду	1	2	3
1	Електрод	Марка електрода по ДСТУ			
2		Діаметр електрода, d , см			
3		Довжина електрода, l_1 , см			
4		Довжина огарка, l_2 , см			
5		Довжина розплавленої частини електрода, l_p , см			
6		Вага розплавленого металу, G_p , г			
7	Пластина	Вага пластини до наплавки, G_1 , г			
8		Вага пластини після наплавки, G_2 , г			
9		Вага наплавленого металу, G_n , г			
10	Режим сварки	Час горіння дуги, с			
11		Величина струму, А			
12	Показники процесу	Коефіцієнт розплавлення α_p , г/А·год			
13		Коефіцієнт наплавки α_n , г/А·год			
14		Витрати на угар та розбризкування ψ , %			
15		Продуктивність Q , г/год			

1.4. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи.
2. Висвітлити мету роботи.
3. Дати характеристику ручного дугового зварювання, його особливостей та галузей застосування.
4. Охарактеризувати зварювальну дугу, її властивості як джерела тепла.
5. На основі експериментальних даних побудувати графіки залежності коефіцієнтів розплавлення, наплавки, витрат металу на угар та розбризкування і продуктивності від величини струму (рис. 1.3 та рис. 1.4).

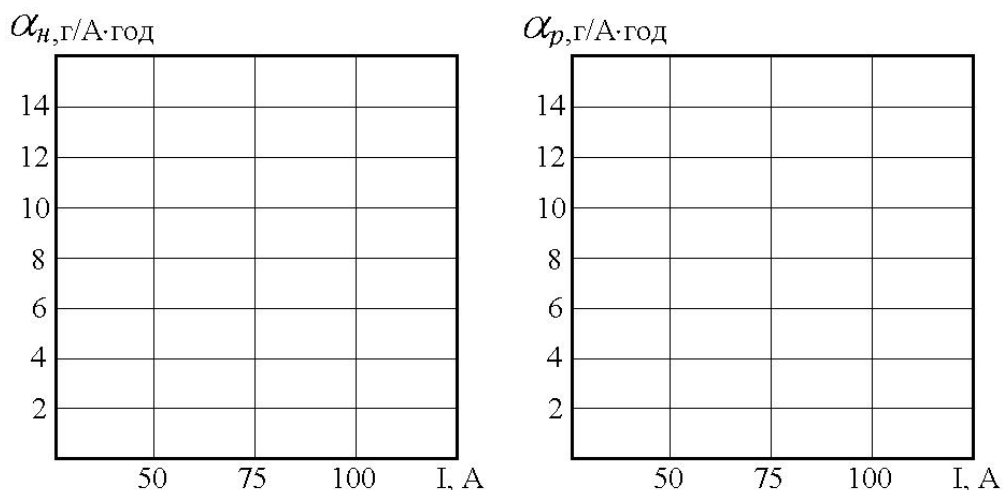


Рис. 1.3. Залежності коефіцієнтів наплавки та розплавлення від сили струму

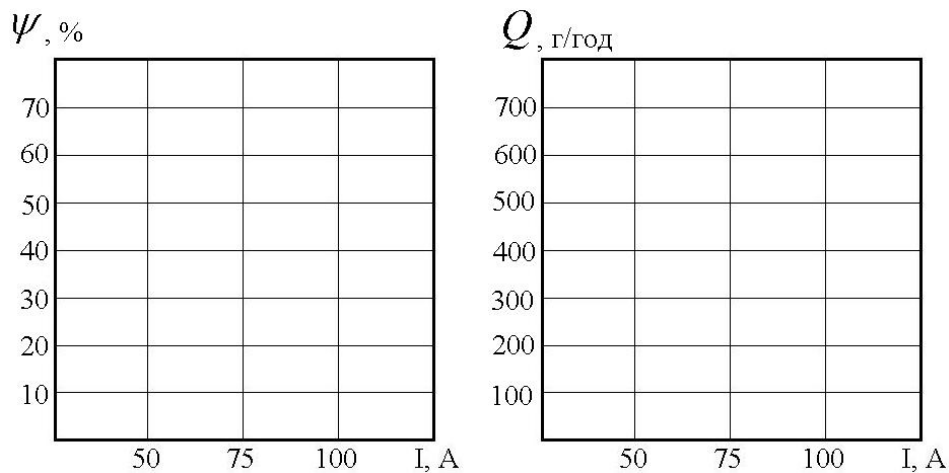


Рис. 1.4. Залежності коефіцієнту витрат та продуктивності від сили струму

6. Зробити висновок щодо оптимального режиму ручного дугового зварювання.

1.5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте визначення процесу зварювання.
2. Що таке зварювальна дуга?
3. Які електроди використовують при ручному дуговому зварюванні?
4. Якими параметрами характеризується режим ручного дугового зварювання?
5. Як визначити силу зварювального струму?
6. Дати визначення коефіцієнтів розплавлення, наплавки, витрат, продуктивності зварювання.
7. Як змінюється коефіцієнт витрат на угар та розбризування із зміненням струму і довжини дуги?
8. Чому змінюється коефіцієнт наплавки із зміненням величини зварювального струму?
9. Навіщо для визначення коефіцієнта наплавки поверхню пластини зачищають від бризок металу та шлаку, які утворились при розплавленні електрода?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

МЕТАЛОГРАФІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ СТАЛЕВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Мета роботи: проаналізувати якість зварного з'єднання за допомогою макроструктурного та мікроструктурного методів дослідження.

2.1. МАКРОСКОПІЧНІ ДЕФЕКТИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ МЕТАЛІВ ПЛАВЛЕННЯМ

Дефектами зварних з'єднань називають такі негативні ознаки, наявність яких викликає погіршення механічних, фізико-хімічних і технологічних властивостей зварних конструкцій. Дефекти зварювання металів плавленням виникають внаслідок порушення вимог нормативних документів до зварюваних матеріалів, підготовки, складання та зварювання з'єднуваних елементів, термічної та механічної обробки з'єднань та конструкцій у цілому.

За Державним стандартом України ДСТУ 3491-96 дефекти класифіковані на шість груп (додаток Г):

- тріщини;
- порожнини, пори;
- тверді включення;
- несплавлення та непровари;
- порушення форми шва;
- інші дефекти.

Тріщини – це несучільності, що можуть утворюватися внаслідок дії зовнішніх навантажень або термічних чи структурних внутрішніх напружень під час охолодження зварного з'єднання. Вони можуть розташовуватися у металі зварного шва, зоні термічного впливу, на межі сплавлення в основному металі. За величиною тріщини бувають *макроскопічні*, які можна виявити неозброєним оком, і *мікроскопічні*, які виявляються фізичними методами не менш як при п'ятдесятиразовому збільшенні. Тріщини настільки знижують міцність матеріалу, що їх присутність у навантажених зварних з'єднаннях недопустима.

Порожнини у вигляді *газових порожнин* (довільної округленої форми) чи *газових пор* (сферичної форми) утворюються внаслідок виділення під час кристалізації газів, розчинених у розплавленому металі. Унаслідок охолодження розчинність газів у розплаві зменшується, а їх надлишок намагається виділитися в атмосферу. Поверхнева кірка закристалізованого металу перешкоджає повному виділенню газів і частина їх залишається в металі, утворюючи порожнини й пори. Ці порушення суцільності металу зменшують корисний переріз зварного шва, що ослаблює зварне з'єднання. Проте завдяки округлій формі газові порожнини не викликають таких значних концентрацій напружень, як тріщини. Найчастіше зустрічаються поодинокі невідповідно розсіяні газові порожнини й пори, але бувають порожнини, локалізовані у вигляді скупчень, ланцюжків.

Іншим видом несучільності шва є *усадкова пухкість* та *усадкові раковини*, що виникають під час кристалізації внаслідок зсідання металу.

Тверді включення. Це тверді нерідні речовини металевого чи неметалевого походження в металі зварного шва. Найчастіше – це шлакові, флюсові *неметалеві включення* (оксиди, силікати, сульфідні тощо), склад, кількість, розподіл яких залежить від основного й наплавленого металу, способу й режиму зварювання. Їх форма може бути найрізноманітнішою – від сферичної до витягнутої пластинчастої чи рейкової. Отже, їх вплив на міцність з'єднання може бути сильнішим за газові порожнини, надто, що їх присутність зменшує корозійну стійкість зварних швів.

Несплавлення та непровар. *Несплавлення* – це відсутність з'єднання між металом зварного шва та основним металом або між окремими валиками зварного шва. Натомість *непровар* – це несплавлення основного металу по всій довжині шва чи на ділянці внаслідок неспроможності розплавленого металу проникнути у вузькі проміжки між частинами конструкцій, що з'єднуються. Несплавлення й непровар досить поширені та небезпечні дефекти, що різко зменшують міцність зварного з'єднання.

Порушення форми шва. Основними відхиленнями форми зовнішніх поверхонь зварного шва або геометрії з'єднання від устанавленого значення є:

- *підріз* – заглибина в основному металі вздовж краю шва, що виплавляється під час зварювання; вона послаблює переріз основного металу і зумовлює концентрацію напружень;

- *усадковий рівчак* – підріз з боку кореня одностороннього зварного шва, викликаний зсіданням металу під час кристалізації по межі сплавлення;

- *пропалювання* – витікання металу зварювальної ванни, внаслідок якого утворюється наскрізний отвір у зварному шві;

- *неповне заповнення шва* через недостатню кількість присадного металу під час зварювання;

- *наплив* – надлишок наплавленого металу, що натік на поверхню основного, але не сплавився з ним;

- *перевищення проплаву* – надлишок наплавленого металу на зворотному боці стикового шва понад устанавлене значення;

- *натікання*, при якому метал зварного шва осідає під дією сили тяжіння і не сплавляється з поверхнею основного металу;

- *відновлення* – місцева нерівність поверхні шва в місці поновлення процесу зварювання.

До цього типу дефектів стандарт зараховує також *перевищення випуклості, неправильний профіль, нерівномірну ширину та нерівну поверхню швів, лінійне та кутове зміщення* двох зварюваних елементів.

2.2. МІКРОСТРУКТУРА ЗВАРНОГО ШВА

Зварний шов утворюється внаслідок розплавлення й наступної кристалізації електродного (присадного) металу і частини основного металу.

Характерними особливостями кристалізації зварного шва є:

- висока швидкість охолодження (звичайно десятки чи сотні градусів за секунду);

- наявність додаткових центрів кристалізації, якими є оплавлені зерна основного металу на границі зварного шва. Від кожного такого зерна виростає група однаково орієнтованих дендритів, що зростаються в стовпчастий кристаліт. Напрямок росту головних осей дендритів протилежний до напрямку тепловідведення. Звичайно вони орієнтовані перпендикулярно до границі розділу твердої й рідкої фаз. Під час зварювання вуглецевої сталі, яке виконують без підігрівання, при корені шва (поблизу границі сплавлення) розташовуються дрібні дендрити, що взаємно гальмують свій ріст у бічних напрямках і тому мають чітко виражені лише первинні осі. У верхній частині шва в зв'язку з меншим переохолодженням утворюються грубіші дендрити з осями другого, а то й третього порядку;

- переривчастий характер процесу. Унаслідок значного переохолодження на початковій стадії кристалізація відбувається досить інтенсивно з виділенням певної кількості теплоти. Якщо теплота від джерела нагрівання й кристалізації перевищує теплоту, відведену всередину основного металу, то кристалізація призупиняється. Після відновлення охолодження кристалізація розпочинається зародкоутворенням на вершинах дендритів раніше закристалізованого шару. Що швидше охолодження, то різкіше виявляється переривчастість кристалізації у вигляді шаруватості мікроструктури шва. За повільного охолодження кристалізація не переривається і шари у зварному шві відсутні.

Переривчастій кристалізації може сприяти періодичний характер підведення теплоти у зварювальну ванну від джерела нагрівання, наприклад, під час електродугового зварювання.

Переривчастість кристалізації зумовлює лускату будову поверхні шва. У поперечному перерізі мікрошліфа вона виявляється після спеціального травлення для виявлення первинної кристалізації.

Недоліком зварних швів є *ліквація* – неоднорідний розподіл хімічних елементів – легувальних та домішкових. Вона зумовлена тим, що ці елементи зменшують температуру кристалізації металу, внаслідок чого під час зниження температури зварювальної ванни найперше кристалізується чистіший метал, а наприкінці, за нижчої температури – метал, збагачений цими елементами.

Для зварних швів властиві два види ліквації – зональна і дендритна.

Зональна ліквація полягає у неоднорідності хімічного складу центральної й периферійної частин зварного шва. Під час кристалізації внаслідок росту дендритів від країв шва шкідливі домішки відтісняються у центральну частину шва, де закінчується кристалізація. Скупчення домішок викликає окрихчення та ослаблення її міцності. Тому правильним вибором форми країв зварюваних виробів, режиму зварювання забезпечують такий характер кристалізації, при якому ослаблена частина витісняється у випуклість шва, що формується з метою його підсилення.

Дендритна ліквація полягає в тому, що периферійні ділянки і міжосьовий простір дендритів збагачені шкідливими домішками відносно осей дендритів, що утворюються при вищих температурах на початковій стадії кристалізації.

Це ослаблює зв'язки між дендритами, сприяє утворенню тріщин. Швидке охолодження під час кристалізації зварного шва підсилює дендритну ліквідацію і тому є небажаним.

Найефективнішим засобом боротьби з ліквідацією є зварювання з використанням високоякісного присадного матеріалу, електродів, якнайменше забруднених домішками, під шаром флюсів чи в середовищі захисних газів, що запобігає насиченню розплаву зварювальної ванни домішками з навколишнього середовища.

До мікроструктурних дефектів зварного шва за певних умов зараховують неметалеві включення: оксиди, сульфідів, нітриди та інші. Джерелом забруднення металу шва ними є обмазка електродів, флюси, атмосфера, металургійні реакції в розплаві тощо. За оптимального перебігу зварювання ці включення переходять у шлакову кірку, що накриває шов. Але іноді вони застрягають між осями дендритів, що швидко ростуть. Якщо при цьому вони утворюють суцільні прошарки, то шов істотно окрихчується.

Механічні властивості зварного шва в значній мірі залежать від параметрів структури первинної кристалізації. У сталі – це структура аустеніту. Завжди бажано одержати дрібнозернисту структуру первинної кристалізації, оскільки її дрібність успадковується структурою вторинної кристалізації (фазового перетворення в твердому стані), що забезпечує високу міцність і ударну в'язкість порівняно з грубою структурою. У доєвтектоїдних сталях, які добре зварюються і тому найчастіше підлягають зварюванню, внаслідок вторинної кристалізації в інтервалі температур від A_{r3} до A_{r1} збіднений вуглецем аустеніт частково перетворюється в ферит, а збагачений вуглецем аустеніт перетворюється нижче A_{r1} в перліт. Зрозуміло, що на ділянках дендритних осей, які містять менше Карбону й домішок, утворюються феритні зерна. Натомість перлітні колонії утворюються на периферійних ділянках дендритів і в міждендритних прошарках. Кожен дендрит подрібнюється на кілька феритних зерен та перлітних колоній. Таким чином, феритно-перлітна структура вторинної кристалізації дрібніша за дендритну аустенітну структуру.

Необхідно уникати швидкого охолодження, особливо під час зварювання легованих сталей, оскільки воно може зумовити часткове чи повне гартування шва з утворенням крихких нерівноважних структур. Особливо небезпечним є утворення мартенситу. Термічні напруження, сумуючись зі структурними, можуть викликати утворення тріщин у шві з такою структурою.

Характерну структуру має зварний шов, одержаний дво- або багат шаровим наплавленням присадного матеріалу. Грубозерниста структура литого металу нижнього шару при наплавленні на нього верхнього шару внаслідок фазової перекристалізації (нормалізації) замінюється на дрібнозернисту. У верхньому шарі утворюється грубозерниста лита структура.

2.3. МІКРОСТРУКТУРА ЗОНИ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ

Зоною термічного впливу (ЗТВ) називають ту частину основного металу поблизу зварного шва, в якій під дією нагрівання від розплавленого металу

зварювальної ванни змінюється структура й властивості. Структура й розміри ЗТВ залежать від виду і режимів зварювання. Найменші розміри ця зона має при значному температурному градієнті (перепаді температур), коли використовуються потужні джерела нагрівання (електродугове, лазерне зварювання). Так, в умовах газового зварювання розміри ЗТВ сягають 25 мм і більше, електродугового зварювання електродом з якісним покриттям (обмазкою) – розмір може змінюватися від 4 до 6 мм, електродугового зварювання голим електродом – не перевищує 2,5 мм, лазерного зварювання – ЗТВ практично відсутня.

Термічна дія на метал у ЗТВ під час зварювання має низку особливостей порівняно зі звичайною термічною обробкою сталей:

- висока швидкість нагрівання, що може сягати сотень градусів за секунду, викликає істотне підвищення температур фазових перетворень A_{c1} і A_{c3} ;

- короткочасність перебування сталі в аустенітному стані (від часток до десятків секунд) зумовлює значну фізико-хімічну неоднорідність структури;

- неоднакові температури нагрівання різних ділянок ЗТВ (в інтервалі від температури плавлення до кімнатної температури);

- різні швидкості охолодження залежно від умов зварювання, товщини, теплопровідності металу тощо.

Залежно від температури нагрівання розрізняють наступні ділянки ЗТВ (рис. 2.1):

- зона часткового розплавлення 1. Її ширина незначна (до 0,5 мм). Частина зерен і приграничні ділянки інших зерен розплавляються. Збільшується величина зерен та посилюється хімічна неоднорідність;

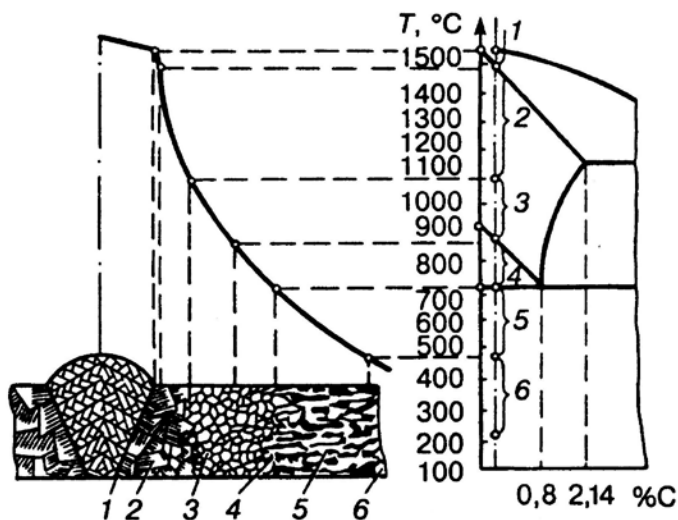


Рис. 2.1. Схема мікроструктури зварного з'єднання і розподіл температури в його зонах відповідно до спрощеної діаграми фазової рівноваги Fe-C

- зона перегрівання 2, ширина якої може сягати від 3 до 5 мм. Високі температури нагрівання зумовлюють значний ріст зерен аустеніту. Можливе утворення структури Відманштетта, яка характеризується грубими пластинчастими виділеннями фериту, що перерізають перлітні колонії. Така

груба структура зумовлює підвищену крихкість металу, що може спричинити зародження й поширення тріщин на ділянці перегрівання;

- *зона нормалізації* 3, шириною від 0,2 до 5 мм. Короткочасне нагрівання в інтервалі температур від A_{c1} до $A_{c3} + (100...150)^{\circ}C$ сприяє утворенню дрібного аустенітного зерна, внаслідок чого під час наступного охолодження утворюється дрібнозерниста ферито-перлітна структура, що володіє добрим поєднанням міцності та ударної в'язкості;

- *зона неповної перекристалізації* 4, шириною від 0,1 до 5 мм. Під час нагрівання до температури в інтервалі від A_{c1} до A_{c3} утворюється аустеніт і зберігається певна частина неперетвореного фериту. Після охолодження з аустеніту утворюється дрібна ферито-перлітна структура й залишаються грубіші зерна неперетвореного фериту. Така неоднорідність структури дещо погіршує механічні властивості цієї ділянки;

- *зона рекристалізації* 5, шириною від 0,1 до 5 мм. Існує лише у наклепаній сталі. Витягнуті, здеформовані під час холодної обробки тиском зерна внаслідок рекристалізації в інтервалі температур від $450^{\circ}C$ до A_{c1} замінюються рівноосними дрібними зернами основної структури.

- *зона синьоламкості* 6. Тут метал нагрівається до температури $200...450^{\circ}C$ і за своєю структурою не відрізняється від структури основного металу, Ала порівняно з ним він менш пластичний.

Розглянута схема структури ЗТВ (рис. 2.1) умовна, оскільки не враховує впливу високих швидкостей нагрівання й охолодження на температури й механізми фазових перетворень у сталях. Так, після зварювання середньовуглецевих або легованих сталей, критична швидкість гартування яких менша, ніж маловуглецевих, у ЗТВ можуть утворюватися структури гартування (мартенсит, троостит, бейніт). Ці структури, особливо мартенсит, володіють підвищеною крихкістю, що може спричинити появу тріщин у ЗТВ. Щоб запобігти цьому, метал перед зварюванням підігривають, зварюють у закритих приміщеннях, уникаючи несприятливої дії кліматичних умов.

До структурних дефектів зварних з'єднань зараховують грубозернистість, структуру Відманштетта, нерівномірність величини зерен, різкі переходи мікроструктури в межах ЗТВ. Структурні дефекти можуть бути виправлені наступною термічною обробкою – відпалом, нормалізацією чи відпуском.

Оцінюючи міцність зварного з'єднання, необхідно враховувати й співставляти з механічними властивостями основного металу властивості зварного шва й ЗТВ. Наприклад, під час електродугового зварювання маловуглецевої сталі голим електродом розплавлений метал інтенсивно оксидується, насичується з повітря азотом і тому окрихчується навіть сильніше за метал на ділянці перегрівання ЗТВ. У цьому випадку міцність зварного з'єднання буде визначатися властивостями зварного шва. Натомість після зварювання електродами з товстою обмазкою, під шаром флюсів, що забезпечуватиме високу якість металу шва, переважаючий негативний вплив на міцність зварного з'єднання буде виявляти структура ділянки перегрівання ЗТВ.

2.4. МЕТОДИ МЕТАЛОГРАФІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛЕВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Щоб оцінити якість зварних з'єднань використовуються, як правило, два основних методи металографічного аналізу – макроскопічний і мікроскопічний.

Макроскопічний (макроструктурний) аналіз полягає у дослідженні будови (макроструктури) металів неозброєним оком або при невеликих збільшеннях (до 30 разів).

Мікроскопічний (мікроструктурний) аналіз полягає у дослідженні мікроструктури металів за допомогою оптичного металографічного мікроскопа при збільшеннях від 50 до 1500 разів.

Кожен із цих методів аналізу складається з наступних послідовних стадій:

- приготування шліфів – шліфування, полірування;
- травлення поверхні шліфів для виявлення структури й дефектів;
- дослідження будови поверхні шліфів.

Зразок (шліф) для металографічного дослідження якості зварного з'єднання вирізають впоперек осі зварного шва так, щоби поверхня розрізу містила всі зони зварного з'єднання. Поверхню розрізу вирівнюють обпилюванням за допомогою напилків і шліфують на шліфувальному папері різних номерів зернистості (розмірів часточок) абразиву. Шліфування здійснюється шляхом послідовного переходу від грубозернистого паперу до дрібнозернистого після зникнення рисок від попереднього шліфування з одночасною зміною напрямку шліфування на 90°.

Якщо макрошліфи після шліфування можна відразу травити, то мікрошліфи для усунення рисок від шліфування необхідно попередньо відполірувати до дзеркального блиску. При цьому застосовують механічне або електролітичне полірування.

Механічне полірування виконують на полірувальних верстатах з обертальним горизонтальним диском, обтягнутим сукном або фетром. Матеріал змочують полірувальною рідиною, що містить дрібні (від 0,002 до 0,05 мм) тверді часточки абразивних матеріалів (оксиди алюмінію, хрому тощо). Як полірувальний матеріал широко застосовують алмазні пасти, що містять алмазні порошки різної величини.

Електролітичне полірування полягає в тому, що шліф занурюють, як анод у ванну з електролітом. Під час проходження електричного постійного струму між анодом і катодом через середовище електроліту відбувається анодне розчинення виступів на шліфованій поверхні шліфа та вигладжування її.

Травлять поверхні шліфів хімічними реактивами, що з різною інтенсивністю розчиняють чи забарвлюють окремі структурні, фазові складові. Травники сильніше розчиняють краї тріщин, порожнин та слабше – суцільний метал.

2.5. МАКРОСКОПІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

За допомогою макроскопічного аналізу зварних з'єднань можна виявити зони зварного з'єднання, будову металу шва, порушення суцільності металу

(макротріщини, газові порожнини, усадкові пухкості, несплавлення і непровари), порушення форми з'єднання (підрізи, пропалювання, напливи), забруднення домішками і їх ліквідацію тощо.

Виявлення дефектів, що порушують суцільність металу, проводиться шляхом глибокого травлення поверхні макрошліфа реактивами сильної дії (розчинами кислот), внаслідок чого краї цих дефектів розтравлюються і стають видимими неозброєним оком. Для травлення частіше застосовують 10...25%-ний водний розчин азотної кислоти HNO_3 (при кімнатній температурі від 3 до 30 хвилин), 5...20%-ний водний розчин сірчаної кислоти H_2SO_4 (при 60...70°C протягом 2 годин), 50%-ний водний розчин соляної кислоти HCl (при 60...80°C від 15 до 60 хвилин).

Виявлення зон зварного шва і ЗТВ, дендритної будови зварних швів, ліквідації вуглецю та фосфору здійснюється травленням реактивами поверхневого травлення, наприклад, реактивом Гейна, що складається з 85 г купрум хлориду CuCl_2 , 53 г амонію хлориду NH_4Cl і 1000 мл дистильованої води. Макрошліф занурюють шліфованою поверхнею у реактив на 30...60 секунд. Унаслідок реакції обміну залізо витісняє з реактиву мідь, яка, осідаючи на поверхні шліфа, захищає її від розтравлювання. Розтравлюються лише ті ділянки (порожнини, тріщини, неметалеві включення, місця ліквідації фосфору, карбону), які внаслідок затруднення обмінної реакції не захищені міддю. Після витримки макрошліф виймають з розчину, знімають ватою під струменем води шар міді й просушують. Розтравлені ділянки дефектів мають темніше забарвлення.

Виявлення ліквідації сірки за методом фотовідбитка (методом Баумана). Лист глянцевого бромисто-срібного фотопаперу на світлі замочують від 5 до 10 хвилин у 5%-ному водному розчині сульфатної кислоти H_2SO_4 . Після легкого просушування між листочками фільтрувального паперу для видалення надлишку розчину фотопапір накладають емульсійною стороною на поверхню макрошліфа, вигладжують його для усунення бульбашок повітря й газів та витримують у контакті з макрошліфом від 2 до 3 хвилин. Одержаний відбиток промивають у воді й фіксують до 15 хвилин в 25%-ному водному розчині тіосульфату натрію, знову промивають у воді й просушують.

Місця на поверхні макрошліфа, збагачені сіркою, яка в сталі перебуває у сульфідах FeS і MnS , відтворюються на відбитку ділянками коричневого кольору внаслідок перебігу таких хімічних реакцій (2.1), (2.2):



Газ сірководень H_2S реагує з аргентуму бромідом AgBr емульсійного шару фотопаперу, утворюючи аргентуму сульфід Ag_2S коричневого кольору (2.3):



2.6. МІКРОСКОПІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Під час мікроскопічних досліджень нетравлених мікрошліфів зварних з'єднань на світлому фоні поля зору мікроскопа добре виявляються дрібні порожнини, непровари, тріщини, різноманітні неметалеві включення, оскільки вони мають темне забарвлення, часом різних відтінків. Відрізнити мікропорожнини від включень можна шляхом виведення мікрометричним гвинтом мікроскопа поверхні шліфа із фокальної площини й наступного повернення до неї (до чіткого зображення). При цьому краї мікропорожнини на відміну від країв неметалевих включень внаслідок заглиблення сходяться й розходяться.

Щоб виявити структуру різних зон зварного з'єднання, мікрошліфи потрібно протравити. Найпоширенішим реактивом для травлення сталей є 3...5 %-ний розчин азотної кислоти HNO_3 в етиловому спирті. Для травлення високолегованих маловуглецевих сталей (наприклад, корозійностійких) застосовується реактив, що складається з 3 частин соляної (HCl) і 1 частини азотної (HNO_3) кислот.

Протравлену поверхню мікрошліфа розглядають під мікроскопом спочатку при малих збільшеннях від 100 до 200 разів, а потім за потреби кращого вивчення окремих фаз і структурних складових при збільшеннях у 300 і більше разів.

2.7. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Комплект макро- та мікрошліфів зварних з'єднань вуглецевих сталей; шліфувальний папір різної зернистості; реактив Гейна для травлення макрошліфів; 5%-ний водний розчин сірчаної кислоти H_2SO_4 , глянцева бромисто-срібний фотопапір, фільтрувальний папір; 3...5%-ний розчин азотної кислоти HNO_3 в етиловому спирті, металографічні мікроскопи; ванночки, пінцети, вата, етиловий спирт.

2.8. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота виконується індивідуально. Кожен студент отримує дві половинки зразка зварного з'єднання з низько- чи середньовуглецевої сталі, розрізаного навпіл впоперек шва. Одна половина зразка – це макрошліф, інша – мікрошліф з полірованою поверхнею.

2.9. МАКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ

2.9.1. ДОСЛІДЖЕННЯ МАКРОБУДОВИ ТА ВИЯВЛЕННЯ МАКРОСКОПІЧНИХ ДЕФЕКТІВ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ

1. Прошліфувати на шліфувальному папері різних номерів зернистості абразиву (з послідовним переходом від паперу з більшим номером зерна до

паперу з меншим номером) поверхню поперечного перерізу зразка зварного з'єднання.

2. Протравити макрошліф при кімнатній температурі реактивом Гейна протягом 3...5 хвилин.

3. Очистити поверхню макрошліфа від осадженої міді протиранням ватою під струменем води, промийте етиловим спиртом та просушити.

4. Зарисувати та проаналізувати макроструктуру зварного з'єднання. Виявити макродефекти з'єднання та відмітити їх на рисунку. Визначити ширину ЗТВ.

2.9.2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІКВАЦІЇ СІРКИ У ПЕРЕРІЗІ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ ЗА МЕТОДОМ ФОТОВІДБИТКА

1. Прошліфувати на шліфувальному папері різних номерів зернистості абразиву (з послідовним переходом від паперу з більшим номером зерна до паперу з меншим номером) поверхню поперечного перерізу зразка зварного з'єднання.

2. Протерти робочу поверхню макрошліфа ватою, просякнutoю етиловим спиртом.

3. Листок бромисто-срібного фотопаперу, витриманий на світлі понад 5 хвилин у 5%-ному водному розчині сірчаної кислоти H_2SO_4 , легко промокнути між двома листочками фільтрувального паперу для вилучення зайвих крапель розчину.

4. Прикласти листок фотопаперу емульсійною стороною до поверхні макрошліфа, видалити бульбашки повітря зі зони контакту, не зміщуючи папір рівномірно притискаючи його до макрошліфа по всій поверхні протягом 3...5 хвилин.

5. Після промивання фотовідбитка у воді занурити його для фіксування зображення на 15...20 хвилин у 25%-ний водний розчин тіосульфату натрію $Na_2S_2O_3$, знову промийте у воді й просушіть.

6. Прикласти фотовідбиток до звіту та проаналізуйте за ним розподіл сірки у всіх зонах з'єднання, причини та наслідки ліквації.

2.10. МІКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ

2.10.1. МІКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ НЕТРАВЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ МІКРОШЛІФА

1. Протерти ватою з етиловим спиртом поліровану поверхню мікрошліфа та просушити її.

2. Переглянути в полі зору металографічного мікроскопа при збільшенні у 100 разів поліровану поверхню мікрошліфа до травлення.

3. Зарисувати на схемі зварного з'єднання виявлені порушення суцільності металу (тріщини, порожнини тощо) та неметалеві включення (оксиди, сульфідні, нітриди, силікати та інші), оцінивши їх кількість, розміри,

форму, забарвлення, розташування. Визначити ступінь забруднення металу шва та основного металу неметалевими включеннями відповідно до ГОСТ 1778-70.

2.10.2. МІКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОТРАВЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ МІКРОШЛІФА

1. Протерти ватою з етиловим спиртом поліровану поверхню мікрошліфа та просушити її.

2. Накапати піпеткою на поліровану поверхню мікрошліфа кілька крапель 3...5%-ного розчину азотної кислоти HNO_3 в етиловому спирті, щоб він накрив усю поверхню. Тривалість травлення залежить від хімічного складу й структури сталі. Ознакою завершення травлення є потьмяніння поверхні. Звичайно травлення вуглецевих сталей триває декілька секунд.

3. Послідовно переглянути в полі зору металографічного мікроскопа при збільшенні в 100 разів структуру зварного шва, зони термічного впливу, основного металу і зарисувати загальну схему мікроструктури зварного з'єднання.

4. Визначити будову металу шва (зерниста, дендритна).

5. Дослідити характер первинної кристалізації металу шва, звертаючи увагу на форму, розміри, орієнтацію кристалітів на різних ділянках зварного шва.

6. Вивчити та описати структуру всіх ділянок ЗТВ, визначити їх ширину. Позначити їх на схемі зварного з'єднання.

7. За структурою оцінити різницю в хімічному складі (за вмістом карбону) металу шва і основного металу.

8. Проаналізувати вплив різних чинників (хімічного складу, способу та режиму зварювання) на мікроструктуру зварного шва і ЗТВ. Відмітити наявність та визначити ділянки розташування структурних дефектів, таких як грубозернистість, структура Відманштетта, різнозернистість, різкі переходи структури, структури гартування.

2.11. ЗМІСТ І ВИМОГИ ДО ЗВІТУ

У звіті необхідно:

1. Вказати порядковий номер і назву лабораторної роботи.
2. Висвітлити мету роботи і завдання.
3. Зарисувати схеми макроструктури зварного з'єднання, його мікроструктури до і після травлення, на яких помітити макро- й мікроскопічні дефекти та особливостей структури; прикласти фотовідбиток.
4. Проаналізувати отримані результати.
5. Зробити висновок про якість досліджуваного зварного з'єднання відповідно до умов експлуатації.
6. Назначити рекомендації щодо запобігання та усунення виявлених дефектів зварного з'єднання.

2.12. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Макроскопічні дефекти зварних з'єднань та як вони впливають на експлуатаційні властивості?
2. Які характерні властивості структури сталевих зварних швів?
3. Чим відрізняється структура різних ділянок зони термічного впливу сталевих зварних з'єднань?
4. Які дефекти мікроструктури можуть існувати в зоні зварного шва та ЗТВ?
5. Які особливості макроструктурного аналізу зварних з'єднань?
6. Які особливості мікроструктурного аналізу зварних з'єднань?
7. За якими ознаками оцінюється якість зварних з'єднань?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія конструкційних матеріалів. Практикум: Навч. посібник / В.М. Плескач, І.П. Волчок. - Запоріжжя: Дике Поле, 2007. - 168 с.
2. Технологія конструкційних матеріалів. Підручник / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін. - К.: Вища школа, 2002. - 374с.
3. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Практикум: Навч. посібник / Василь Попович та інш. - Львів: Видавництво "Папуга", 2004. - 422 с.
4. Материаловедение и технология металлов: Учебник для студентов машиностроит. спец. Вузов /Г.П.Фетисов, М.Г.Карпман, В.М.Матюнин и др. - М.:Высш. шк, 2000. - 638с.
5. Мещеряков В.М. Технология конструкционных материалов и сварка: учебн. пособие - Ростов н/Д: Феникс, 2008. - 316 с.
6. Роянов В.О., Зусін В.Я., Самотугін С.С. Виникнення дефектів при зварюванні і споріднених процесах: Навчальний посібник: 2-е вид. - Маріуполь: Вид-во «Рената», 2005. - 198 с.

ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС

Зварювання пластмас здійснюють шляхом використання теплоносія (нагрітого газу або інструмента) або нагріву тертям, струмами високої частоти (СВЧ), ультразвуком.

Контактні методи застосовують переважно для з'єднання деталей з термопластів, а зварювання реактопластів, зазвичай, проводять СВЧ або ультразвуком, які використовують і для зварювання термопластів.

Зварювання однорідних термопластів відбувається під тиском за рахунок взаємного проникнення (дифузії) частинок поверхневих шарів, розігрітих до в'язкотекучого стану. Температура зварювання та затрати тепла на розігрів матеріалу залежать від його складу, теплоємності, товщини та ширини зварювального шва. Тому нагрівачі бажано виготовляти з терморегуляторами. При роботі з термопластами, широко застосовують зварювання гарячим газом (газовим теплоносієм) та нагрітим інструментом (контактний нагрів).

Зварювання гарячим газом виконується за допомогою спеціальних зварювальних пальників. Сутність цього способу полягає в тому, що зварювані поверхні термопласта і присадний пруток (якщо він використовується) нагріваються гарячим газом і розм'якшуються до такого ступеня, що при незначному тиску відбувається їх злипання. Газовим теплоносієм слугує повітря або інертний газ (аргон, азот). Застосовується інертний газ для зварювання поліетилену, поліамідів та інших термопластів. Повітря в такий пальник подається від компресора під тиском 0,15...0,25 МПа (тобто 1,5...2,5 атм), а інертний газ – безпосередньо з балона.

В електричному пальнику повітря, що подається (або азот), нагрівається електричними спіралями. Розжарення спіралі регулюється автотрансформаторами. В газовому пальнику повітря (або азот) нагрівається за рахунок згоряння горючого газу в порожнині пальника, а подача газу регулюється краном.

Вадою газових пальників є неточність регулювання температури газу, що обігріває поверхні.

Перед зварюванням на кромках зварюваних деталей, залежно від їхньої товщини, знімають фаску під кутом 30...60°.

Зварювання контактним нагрівом виконують як вручну, так і на спеціальних механічних установках та пристроях.

Залежно від форми матеріалу як нагрівачі можуть використовуватися: паяльники, стрижні, пластини, клини та наконечники різних форм. При зварюванні контактним нагрівом після видалення нагрітого інструмента поверхні деталей також стискають, чим і забезпечують нероз'ємне з'єднання.

Зварювання пластмас тертям, як і металів, засноване на використанні тепла, що виділяється при терті поверхонь зварюваних деталей. Труби та прутки зварюють на спеціальних установках, але можна застосовувати і токарні верстати.

Зварювання з нагрівом СВЧ засноване на використанні тепла, яке виділяється за рахунок діелектричних втрат в зоні дії високочастотного електричного поля. В промисловості широко застосовують спеціальні машини, що забезпечують роликоне, точкове, пресове зварювання плівок, листів, труб. Зварювання з нагрівом СВЧ забезпечує міцність та герметичність швів, високу продуктивність і економічність процесу.

Ультразвукове зварювання пластмас практично таке саме як і ультразвукове зварювання металів, оскільки в обох випадках ультразвукові коливання магнітостриктора перетворюються на теплову енергію, яка сприяє формуванню нероз'ємного з'єднання.

При зварюванні ультразвуком заготовки з пластика розігріваються тільки в зоні контактуючих поверхонь, що гарантує від перегріву. Використання спеціальних хвилеводів дає змогу застосовувати ультразвукове зварювання у важкодоступних місцях.

Нероз'ємні з'єднання в деталях із пластмас здійснюють і шляхом склеювання. Для цього використовують синтетичні клеї, які підрозділяють на три групи:

- термореактивні (на основі фенолформальдегідних, поліуретанових, поліефірних, епоксидних та інших смол);
- термопластичні (дихлоретан, бензол та інші);
- на основі каучуків.

Склеювання виконують без нагріву (клеї Б-3, ПУ-2, ВК-5 та інші) та з нагрівом до 150...250 °С (клеї БФ-2, БФ-4, ВК-3 тощо).

Технологічний процес склеювання деталей складається:

- з підготовки поверхонь;
- зачистки (знежирювання);
- нанесення клею;
- просушування клейових плівок перед з'єднанням (іноді);
- з'єднання поверхонь, що необхідно склеїти;
- закріплення під визначеним тиском;
- термообробки (тверднення) клейового з'єднання, або витримки при нормальній температурі.

ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ ТА ШВИ

Ручне електродугове зварювання ефективно при одержанні всіх типів зварних з'єднань (рис. Б.1), основними з яких є стикові, кутові, таврові і внапусток.

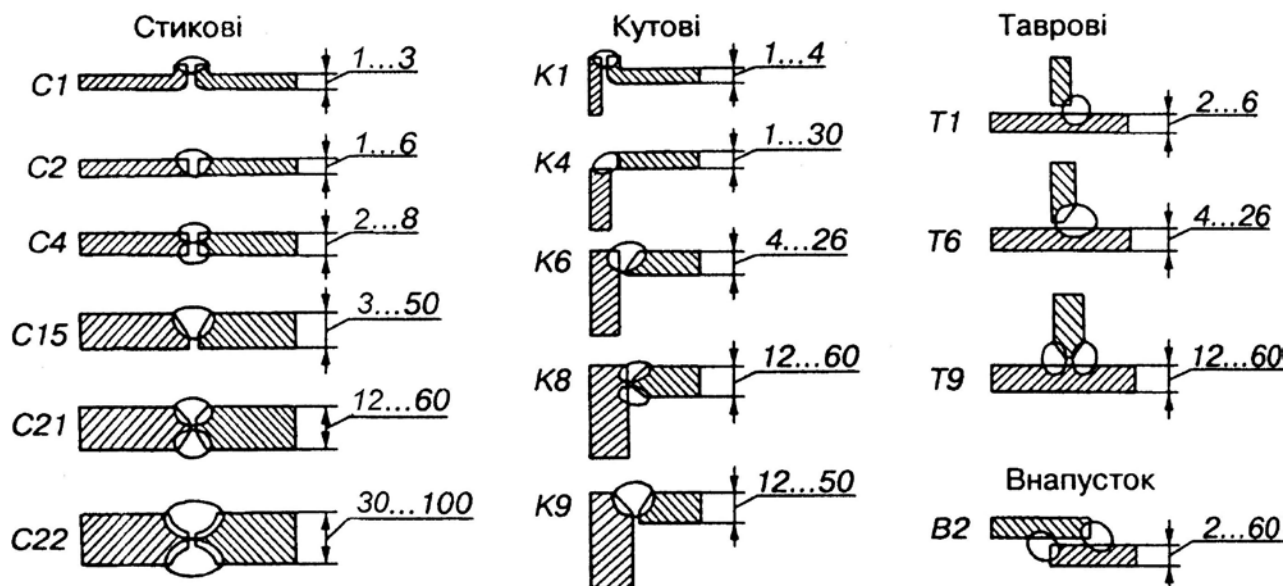


Рис. Б.1. Основні види зварних з'єднань

- стикові, коли з'єднуються два елементи, розташовані в одній площині, або ж на одній поверхні;
- кутові, коли з'єднуються два елементи розташовані під прямим кутом і зварені у місці дотику їх країв;
- напускні, коли зварювані елементи розташовані паралельно і перекривають один одного;
- таврові, коли до бокової поверхні одного елемента приєднується торцем другий елемент.

Стикові з'єднання залежно від товщини зварювальних листів виконують з відбортуванням (C1), без скосу кромки (C2, C4), з однобічним (C15) і двобічним (C21) симетричним або несиметричним скосом кромки одного чи обох листів. Двобічний симетричний скіс кромки обох листів криволінійної форми (C22) застосовують для листів завтовшки 30...100 мм.

Щоб забезпечити пропарювання по всьому перерізу зварюваних листів, між кромками залишають зазор 0...4 мм залежно від товщини металу.

Для запобігання пропалюванню гострі кромки листів притупляють на 1...3 мм. Спільний кут розкриття кромки дорівнює $(54 \pm 6)^\circ$.

Кутові та таврові з'єднання, як і стикові, залежно від товщини листів виконують без скосу кромки (K1, K4, T1), а також з однобічним (K6, T6) і двобічним (K8, K9, T9) скосами кромки одного чи обох листів. При скосі однієї кромки кут розкриття становить $(50 \pm 5)^\circ$, а при скосі двох кромки – $(54 \pm 6)^\circ$.

З'єднання внапусток (В2) застосовують для листів завтовшки 2...60 мм. Зварюють їх з одного або з двох боків суцільним чи переривчастим швом.

При виборі типу з'єднання слід віддати перевагу стиковому, тому що в ньому більш рівномірно розподіляються сили при передачі зусилля, цей шов легше виконувати і зручно контролювати якість з'єднання.

Напускне з'єднання обважнює конструкцію, тому при дії змінних динамічних навантажень його застосовувати не слід.

Техніка виконання зварних швів в основному залежить від положення їх у просторі і виду зварного з'єднання.

За положенням у просторі шви поділяють на нижні (рис. Б.2, а), вертикальні (рис. Б.2, б), горизонтальні (рис. Б.2, в) і стельові (рис. Б.2, г). Найзручніше виконувати нижні шви, оскільки тут розплавлений метал з ванни не витікає, значно важче – вертикальні, бо під дією сили ваги розплавлений метал стікає донизу.

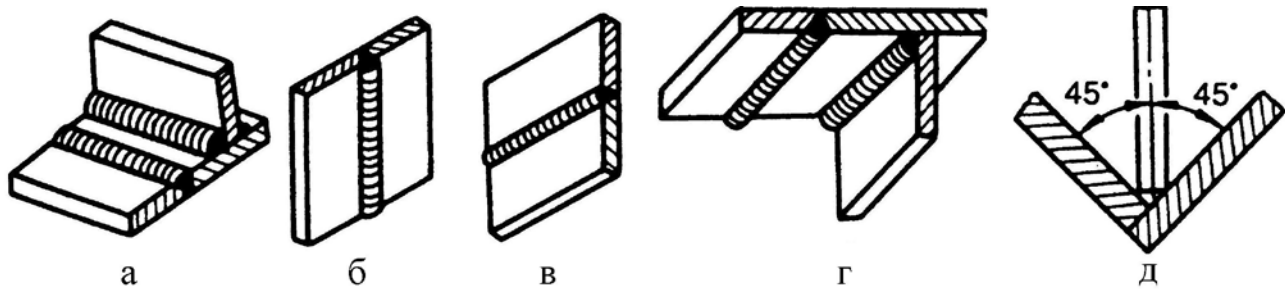


Рис. Б.2. Схеми просторового розміщення швів
а - нижні; б - вертикальні; в - горизонтальні;
г - стельові; д - кутові та таврові

Вертикальні шви зварюють згори донизу або знизу догори електродами діаметром до 5 мм.

Горизонтальні шви на вертикальній площині виконувати важче, ніж вертикальні. Скошують кромки в цьому разі тільки на верхньому листі. Запалюють дугу на горизонтальній кромці, потім переводять її на похилий скіс верхньої кромки, знову на горизонтальну кромку і т.д. Для цього застосовують електроди діаметром до 5 мм.

Стельові шви – найважчі для виконання, оскільки розплавлений метал витікає з ванни. Ці шви зварюють електродами діаметром 3...4 мм найкоротшою дугою, при якій перехід краплин з електрода на основний метал полегшений.

Якщо конструкція виробу дозволяє, то його повертають так, щоб усі шви можна було виконувати в нижньому положенні, а кутові та таврові з'єднання зварювати в "човник" (рис. Б.2, д).

Позначення швів зварних з'єднань здійснюється за ГОСТ 2312-72 і вказується номер ГОСТ, тип з'єднання, метод і спосіб зварювання, катет шва, довжина або крок та інші особливі позначення (рис. Б.3).

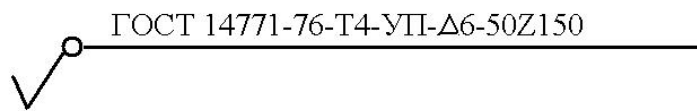


Рис. Б.3. Умовне позначення шва таврового з'єднання.

На рис. Б.3 зображене позначення шва таврового двобічного з'єднання, виконаного по замкнутому контуру електродуговим зварюванням у вуглекислому газі плавленими електродами. Шов переривчастий, з шаховим розташуванням ділянок. Катет шва – 6 мм, довжина провареної ділянки – 50 мм, шаг – 150 мм.

ГОСТ 14771-76, або ж ГОСТ 8713-79, або ж ГОСТ 5264-80 – вказує номер стандарту відповідного шва.

Т4 або С10, або Н2, У10 вказує порядковий номер шва у відповідному стандарті. Способи зварювання позначаються так: Е – електродугове, Г – газове, Ш – електрошлакове, І – в інертних газах, Уз – ультразвукове, Тр – тертям, Х – холодне, Дф – дифузійне, К – контактне, Лз – лазерне, Вб – вибухове, Пз – плазмове, У – у вуглекислому газі.

Додаток В

ЕЛЕКТРОДИ ДЛЯ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

При ручному електродуговому зварюванні застосовують штучні електроди (рис. В.1), які складаються з металевого стержня та покриття.

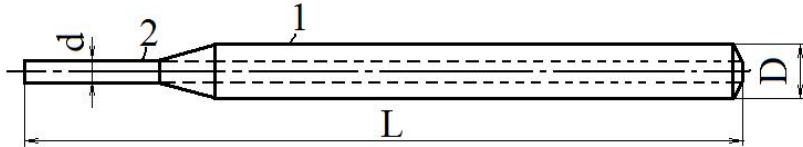


Рис. В.1. Покритий електрод

1 - покриття, 2 - металевий стержень, D - діаметр з покриттям,
 d - діаметр стержня, L - довжина електрода

Покриття на електроді повинно забезпечити:

- стійке горіння дуги, тому до його складу входять іонізуючі речовини (солі лужних металів);

- розкислення металів зварювальної ванни, тому в покриття додають розкислювачі (FeMn, FeSi, Al та ін.);

- легування металу, тому до покриття додають легуючі речовини (FeCr, FeMo та ін.);

- шлакоутворення, тому до покриття входять шлакоутворювальні речовини (мармур, польовий шпат, каолін, кварцовий пісок та ін.);

- газовий захист зварювальної ванни, тому в покриття додають газоутворювальні компоненти (декстрин, крохмаль, харчове та деревне борошно, оксигелюлоза).

Залежно від співвідношення товщини металевого дроту електрода та його товщини з обмазкою електроди поділяються на такі:

М – з тонким покриттям ($D/d \leq 1,2$);

С – з середнім покриттям ($1,2 < D/d \leq 1,45$);

Д – з товстим покриттям ($1,45 < D/d \leq 1,80$);

Г – з дуже товстим покриттям ($D/d > 1,80$).

За призначенням електроди розподіляються на п'ять груп:

- У – для зварювання вуглецевих та низьковуглецевих сталей з тимчасовим опором розриву до 600 МПа;

- Л – для зварювання легованих конструкційних сталей з тимчасовим опором розриву вище 600 МПа;

- Т – для зварювання теплостійких сталей;

- В – для зварювання високолегованих сталей зі спеціальними властивостями;

- Н – наплавочні.

За видом покриття електроди поділяють на такі типи:

- А – з кислим;

- Б – з основним;

Ц – з целюлозним;

Р – з рутиловим;

П – з іншим.

За допустимим просторовим положенням електроди поділяються на чотири групи:

1 – для усіх положень, окрім вертикального зверху донизу;

2 – для усіх просторових положень;

3 – для нижнього, горизонтального на вертикальній поверхні та вертикального знизу доверху;

4 – для нижнього та нижнього „у човник”.

За родом та полярністю струму і номінальною напругою холостого ходу джерела електроди використовують для роботи:

- на постійному струмі зворотної полярності;

- на постійному струмі будь-якої полярності;

- на змінному струмі.

За ГОСТ 9466-75 електроди позначаються на етикетках пачок, коробок, ящиків:

Е46А-УОНІ13/45-3,0-УД2 ГОСТ 9466-75, ГОСТ9467-75
Е 632/3/-Б10

Це означає: електрод типу Е 46А за ГОСТ 9467-75, марки УОНІ 13/45, діаметром 3,0 мм, для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей У, з товстим покриттям Д, 2-ї групи, з встановленою за ГОСТ 9467-75 групою індексів 432 (5), що вказують на характеристики наплавленого металу та металу шва, з основним покриттям Б, для зварювання в усіх просторових положеннях 1, на постійному струмі зворотної полярності.

Але у технічній документації допускається скорочення:

УОНІ 13/45-3,0-2 ГОСТ 9466-75.

Додаток Г

ДЕФЕКТИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТА МЕТОДИ ЇХ КОНТРОЛЮ

Таблиця Г.1

Класифікація основних дефектів зварних з'єднань та їх позначення за ГОСТ 23055-78

Вид дефекту	Умовні позначення		Схематичне зображення дефекту	Причини виникнення дефекту
	рос.	лат.		
Тріщини	Т	Е		Застосування сталей з підвищеним вмістом вуглецю та легуючих елементів
Непровари	Н	Д		Знижений струм, велика швидкість, подовжена дуга, погана зачистка шва
Пори	П	А		Зварювання проводилось подовженою дугою, електроди вологі, великий зазор між зварюваними деталями
Шлакові включення	Ш	В		Погане видалення шлаку з попереднього шва, мала погонна енергія джерел струму
Підрізи	–	Fc		Зварювання ведуть на великій швидкості подовженою дугою, недостатньо прогрітий основний метал
Нерівності	–	Fa		Неправильний рух електрода, подовжена дуга, коливання напруги у мережі

Контроль якості зварних з'єднань і швів починається з контролю якості вхідних матеріалів, перевірки на зварюваність металу, розробки кромки, відповідності електрода тощо. Контроль техніки зварювання складається з контролю режимів зварювання (струм, напруга, швидкість зварювання в умовлених межах), відсутності видимих дефектів (тріщини, підрізи, пори), одержання зварного шва заданої конфігурації. Контроль якості після зварювання регламентований ГОСТ 8242-89 „Шви зварних з'єднань. Методи контролю якості”. У ньому визначені методи контролю; залежно від виду та розміру дефектів, їх розташування, товщини матеріалів, а також засобів зварювання. Якість зварних з'єднань при монтажі залізобетонних конструкцій контролює ГОСТ 10922-75, в якому наведені допустимі значення параметрів зовнішніх та внутрішніх дефектів при виготовленні арматурних виробів і

закладних деталей, а також методики випробувань. Усі засоби контролю можна поділити на дві групи: руйнівні та неруйнівні.

Руйнівні випробування проводять на зразках-свідках, на моделях і дуже рідко на самих деталях. За ГОСТ 6996-66 „Зварювальні з’єднання. Методи визначення механічних властивостей” випробування проводять на розтягування, вигин, сплющування на зразках. При неруйнівних випробуваннях, здійснюваних на самих виробач, оцінюють ті чи інші фізичні властивості, лиш побічно характеризуючи якість, міцність та надійність.

На рис. Г.1 показано загальну схему неруйнівного контролю, яка містить в собі: об’єкт контролю (О), випромінювальний (В) та приймальний (П) перетворювачі, крізь які сигнали від випромінювача (СВ) і від приймача (СП) надходять на індикаторне устаткування (ІУ). З індикаторного устаткування знімають дані для прийняття рішень (Р) про якість об’єкта.

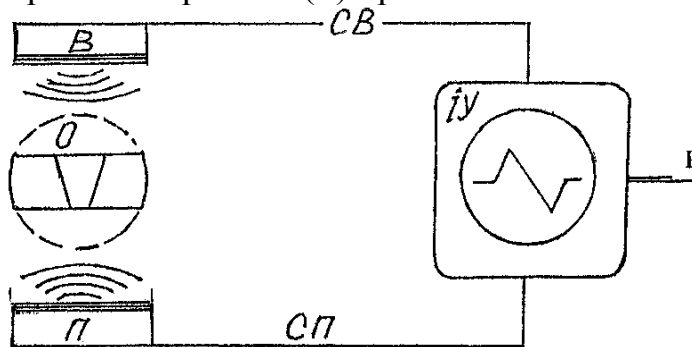


Рис. Г.1 Загальна схема неруйнівного контролю

Таблиця Г.2

Основні види дефектоскопії зварних з’єднань (ГОСТ 18358-78)

Вид дефектоскопії	Схема випробування	Умовне позначення	Характеристика
Радіаційна		Рд	Випромінювання рентгенівським та гамма-променями, нейтронними потоками. Реєстрація: радіографія, рентгеноскопія, радіометрія.
Ультразвукова		УЗд	Методи: ехо-метод поперечним хвилями, тіньовий.
Магнітна		Мд	Використовують електромагнітне постійне або змінне поле. Методи: магнітографічний, магнітопорошковий.
Капілярна		Кд	Використовують проникні рідини. Методи: люмінесцентний, кольоровий, люмінесцентно-кольоровий.
Течешуканням		ТЧд	Використовують гази та рідину. Методи: пневматичний, вакуумний, гідравлічний, гасом.

Радіаційна дефектоскопія Рд передбачає використання рентгенівського та гамма-випромінювання і реєстрацію дефектів на спеціальній плівці. Рентгенівське та гамма-випромінювання мають цінні властивості: спроможні проходити крізь непрозорі предмети (метали), діють на фотоплівку, викликають світіння (флюоресценцію) декількох хімічних елементів.

Рентгенографічним контролем виявляють згідно з ГОСТ 7512-75 дефекти зварних з'єднань: тріщини, непровари, металеві та шлакові включення. Ультразвукова дефектоскопія (УЗд) основана на можливості ультразвукових коливань відбиватися від межі розділу двох середовищ, які мають різні акустичні якості (такі дефекти, як тріщини, пори тощо).

УЗ_д зварних з'єднань згідно з ГОСТ 14782-71 дозволяє виявити розшарування, шлакові включення, пори та тріщини.

Магнітна дефектоскопія (М) заснована на здатності магнітних силових мереж змінювати свій напрям у місцях дефекту металу (рис. Г.2).

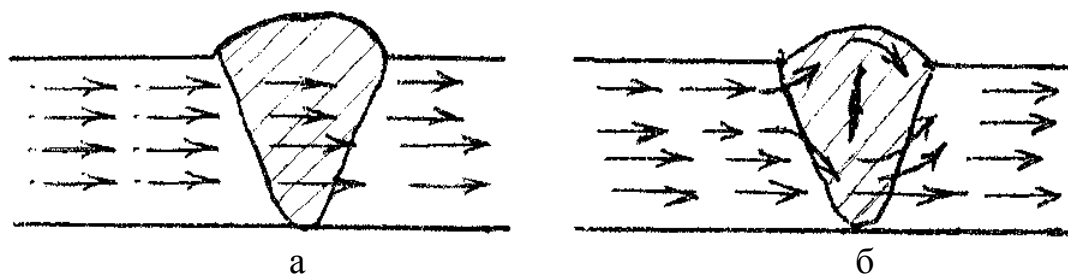


Рис. Г.2. Розподіл магнітного потоку у зварному з'єднанні.
а - зварний шов без дефектів, б - тріщина у зварному шві

Згідно з ГОСТ 8242-75 (Мд) зварних з'єднань застосовується для виявлення: поверхневих тріщин, а також внутрішніх тріщин і непроварів на глибині до 6 мм.

Капілярна дефектоскопія (Кд) базується на капілярному проникненні дефектоскопічних матеріалів у дефекти, їх конкретному зображенні у оптичному випромінюванні. Дефекти виявляються за допомогою рідини, яка залишається у порожнинах після видалення її з поверхні. Згідно з ГОСТ 3242-79 Кд зварних з'єднань застосовується для виявлення дрібних поверхневих дефектів у вигляді тріщин, розшарувань (люмінесцентний та кольоровий методи).

Згідно ГОСТ 18353-73 дефектоскопія течешуканням (ТЧд) заснована на здатності рідин проникати крізь різні пори. Із рідин використовується гас, вода, із газів – повітря та аміак. Гасова проба (ГОСТ 3285-77) дозволяє швидко знайти негерметичність шва при появі плям на зворотній поверхні, яка перед тим була промазана крейдовим розчином, а на зварний шов фарбопультром нанесений гас.

