

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДРОГОБИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**імені ІВАНА ФРАНКА**

**Кафедра технологічної та професійної освіти**

«До захисту допускаю»  
завідувач кафедри технологічної та професійної освіти,  
доктор педагогічних наук, професор  
\_\_\_\_\_ Л. В. Оршанський

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**Методичні особливості вивчення основ  
зварювального виробництва та паяння в 11 класі  
технологічного профілю**

**Спеціальність 014.10 Середня освіта (Трудове навчання та технології)**

**Магістерська робота**

на здобуття кваліфікації – вчитель трудового навчання,  
технологій та креслення

**Автор роботи:** Стецко Василь Ігорович \_\_\_\_\_  
*підпис*

**Науковий керівник:** кандидат фіз.-мат. наук, доцент

Павловський Юрій Вікторович \_\_\_\_\_  
*підпис*

**Дрогобич – 2022**

**Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка**

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ 15.10.2020 р.  
(підпис) (дата)

**Завдання**

**на підготовку магістерської роботи**

**1. Тема:** «Методичні особливості вивчення основ зварювального виробництва та паяння в 11 класі технологічного профілю».

**2. Керівник** – канд. фіз.-мат. наук, доцент Павловський Ю.В.

**3. Студент** – Стецко Василь Ігорович.

**4. Перелік питань, що підлягають висвітленню у кваліфікаційній роботі:**

1. Охарактеризувати суть процесів з'єднання елементів металевих конструкцій зварюванням та паянням;
- 2) Проаналізувати технологічні особливості різних видів зварювання та паяння;
- 3) Розробити методичні матеріали вивчення основ зварювального виробництва та паяння в 11 класі технологічного профілю.

**5. Список рекомендованої літератури:**

1. Биковський О.І., Пінковський І.В. Довідник зварника. Київ: Техніка, 2002. 336 с.
2. Игнатов А.Г., Козлов А.В., Скрипченко А.И. и др. Лазерное технологическое оборудование для обработки материалов. Л.: ЦНИИ РУМБ. 1988. 118 с.
3. Каракозов Э.С. Сварка давлением. М.: Машиностроение. 1986. 276 с.
4. Нигора В.М., Криворотько В.М., Ковальова Н.І. Рознімні та нерознімні з'єднання деталей: навч. посібн. К.:НУХТ, 2014. 219 с.
5. Паяння матеріалів: підручник / Г.В. Єрмолаєв та ін.; за загальною редакцією В.Ф. Хорунова і В.Ф. Квасницького. Миколаїв: НУК, 2015. 340 с.
6. Овчинников В.В., Гуреев М.А. Технология дуговой и плазменной сварки и резки металлов. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 240 с.
7. Овчинников В.В. Современные виды сварки: учебн. пособ. для студентов среднего профессионального образования. 5-е изд. М.: издательский центр «Академия», 2016. 208 с.
8. Троицкий В.А., Радько В.П. Дефекты сварных соединений и средства их обнаружения. К.: Вища школа, 1983. 242 с.
9. Чеботарев М.И., Лихачев В.Л., Тарасенко Б.Ф. Сварочное дело. Пайка. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 104 с.

**6. Етапи підготовки роботи:**

| № з/п | Назва етапу                                                                                                                                                                 | Термін виконання | Термін звіту перед керівником, кафедрою |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|
| 1.    | Вивчення й аналіз психолого-педагогічної та методичної літератури; визначення вихідних положень дослідження (об'єкт, предмет, методи); формування мети; постановка завдань. | до 25.12.2020 р. | 28.12.2020 р.                           |
| 2.    | Підготовка 1-го розділу роботи.                                                                                                                                             | до 28.09.2021 р. | 08.10.2021 р.                           |
| 3.    | Підготовка 2-го розділу роботи.                                                                                                                                             | до 02.05.2022 р. | 05.05.2022 р.                           |
| 5.    | Формування висновків. Оформлення роботи.                                                                                                                                    | до 10.05.2022 р. | 18.05.2022 р.                           |
| 6.    | Перевірка роботи на плагіат                                                                                                                                                 | до 23.05.2022 р. | 25.05.2022 р.                           |
| 7.    | Попередній захист роботи і рецензування.                                                                                                                                    | до 30.05.2022 р. | 31.05.2022 р.                           |

**7. Дата видачі завдання** – 15.10.2020 р.

**8. Термін подачі роботи керівнику** – 20.05.2022 р.

**9. З вимогами до виконання роботи і завданням ознайомлений** \_\_\_\_\_ Стецко В.І.

**10. Керівник** \_\_\_\_\_ доц. Павловський Ю.В.

## ЗАХИСТ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

**Тема:** «Методичні особливості вивчення основ зварювального виробництва та паяння в 11 класі технологічного профілю».

Оцінка за стобальною шкалою: \_\_\_\_\_

Оцінка за національною чотирибальною шкалою: \_\_\_\_\_

### Коротка мотивація оцінки захисту:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

|       |              |        |                      |
|-------|--------------|--------|----------------------|
| _____ | Голова ДЕК   | _____  | _____                |
| дата  |              | підпис | прізвище та ініціали |
|       | Секретар ДЕК | _____  | _____                |
|       |              | підпис | прізвище та ініціали |

## АНОТАЦІЯ

**Стецко В.І. Методичні особливості вивчення основ зварювального виробництва та паяння в 11 класі технологічного профілю. – Рукопис.**

У магістерській роботі охарактеризовано суть процесів з'єднання елементів металевих конструкцій зварюванням та паянням. Здійснено аналіз теоретичних основ процесів зварювання та паяння. З'ясовано особливості традиційних та спеціальних способів зварювання. Вивчено та проаналізовано основні типи дефектів зварних з'єднань. Розроблено календарно-тематичне планування вивчення основ зварювального виробництва та паяння в 11 класі технологічного профілю, розширені конспекти уроків: «Технологія паяння проводів та деталей радіоелектроніки», «Зварні з'єднання та шви» і кросворд «Зварні шви». Це сприятиме ефективному засвоєнню учнями технологій зварювання і паяння, усвідомленню їхнього значення у житті сучасного суспільства, сприятиме формуванню технологічної культури.

## SUMMARY

**Stetsko V.I. Methodical features of studying the basics of welding production and soldering in the eleventh grade of technological profile. – Manuscript.**

The master's thesis describes the essence of the processes of joining elements of metal structures by welding and soldering. The analysis of theoretical bases of welding and soldering processes is carried out. Features of traditional and special welding methods are found out. The main types of defects of welded joints are studied and analyzed. The calendar-thematic planning of studying the basics of welding and soldering in the eleventh grade of technological profile has been developed, lesson outlines have been expanded: "Technology of soldering wires and parts of electronics", "Welded joints and seams" and crossword puzzle "Welded seams". This will contribute to the effective assimilation of welding and soldering technologies by students, awareness of their importance in the life of modern society, will promote the formation of technological culture.

## Зміст

|                                                                                                                                                       |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Вступ .....</b>                                                                                                                                    | <b>6</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЇ З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ КОНСТРУКЦІЙ<br/>ЗВАРЮВАННЯМ ТА ПАЯННЯМ .....</b>                                                             | <b>9</b>  |
| <b>1.1. З'єднання елементів металевих конструкцій зварюванням .....</b>                                                                               | <b>9</b>  |
| <i>1.1.1. Суть процесу зварювання .....</i>                                                                                                           | <i>9</i>  |
| <i>1.1.2. Види конструктивних з'єднань деталей зварюванням .....</i>                                                                                  | <i>12</i> |
| <b>1.2. Технологічні особливості різних видів зварювання .....</b>                                                                                    | <b>15</b> |
| <i>1.2.1. Традиційні способи зварювання плавленням .....</i>                                                                                          | <i>15</i> |
| <i>1.2.1.1. Газополум'яне зварювання .....</i>                                                                                                        | <i>15</i> |
| <i>1.2.1.2. Ручне дугове зварювання покритими електродами .....</i>                                                                                   | <i>16</i> |
| <i>1.2.1.3. Автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу .....</i>                                                                                   | <i>18</i> |
| <i>1.2.1.4. Дугове зварювання в середовищі захисних газів .....</i>                                                                                   | <i>20</i> |
| <i>1.2.1.5. Дугове зварювання порошковим дротом .....</i>                                                                                             | <i>23</i> |
| <i>1.2.1.6. Електрошлакове зварювання .....</i>                                                                                                       | <i>25</i> |
| <i>1.2.2. Спеціальні способи зварювання плавленням .....</i>                                                                                          | <i>27</i> |
| <i>1.2.2.1. Плазмове зварювання .....</i>                                                                                                             | <i>27</i> |
| <i>1.2.2.2. Електронно-променеве зварювання .....</i>                                                                                                 | <i>29</i> |
| <i>1.2.2.3. Лазерне зварювання .....</i>                                                                                                              | <i>32</i> |
| <i>1.2.3. Спеціальні способи зварювання тиском .....</i>                                                                                              | <i>35</i> |
| <b>1.3. Технологія з'єднання елементів металевих конструкцій<br/>    паянням .....</b>                                                                | <b>43</b> |
| <b>РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ<br/>ВИВЧЕННЯ ОСНОВ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА<br/>ПАЯННЯ В 11 КЛАСІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОФІЛЮ .....</b> | <b>47</b> |
| <b>2.1. Розробка календарно-тематичного планування вивчення<br/>    основ зварювального виробництва та паяння в 11 класі .....</b>                    | <b>47</b> |
| <b>2.2. Розробка методичних матеріалів вивчення основ технології<br/>    паяння проводів та деталей електроніки .....</b>                             | <b>48</b> |

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2.3. Розробка методичних матеріалів вивчення зварних</b> |           |
| <b>з'єднань та швів.....</b>                                | <b>57</b> |
| <b>2.4. Розробка кросворду .....</b>                        | <b>64</b> |
| <b>Висновок .....</b>                                       | <b>67</b> |
| <b>Список використаних джерел .....</b>                     | <b>68</b> |

## Вступ

Створення економних, надійних і довговічних конструкцій з нових конструкційних матеріалів, які працюють у широкому діапазоні температур в агресивних середовищах є важливою науково-технічною задачею найближчого майбутнього. Розв'язання цієї задачі нерозривно пов'язане з розвитком і вдосконаленням традиційних та створенням і впровадженням спеціальних способів з'єднання деталей.

Широкого розповсюдження набули такі способи з'єднання елементів конструкції, як зварювання та паяння, які відомі з давніх часів. Швидке поширення зварювання, однак, почалося лише наприкінці XVIII століття, пов'язане з інтенсивним розвитком промисловості.

Новітні методи зварювання є одними з провідних технологічних процесів сучасної промисловості. До двох третин сталюого прокату в світі витрачається на виробництво зварних конструкцій. Сьогодні досягнуті значні успіхи в розробці прогресивних методів зварювання, створенні високоекономних зварних конструкцій, освоєнні зварювання багатьох спеціальних сталей, кольорових металів і їх сплавів та інших матеріалів. Застосування електрозварювання дозволяє успішно замінювати складні об'єкти ковальського і ливарного виробництва простішими зварними конструкціями.

Інтенсивна розробка нових методів паяння розпочалася пізніше – наприкінці першої половини XIX століття. У цей час виникла гостра необхідність з'єднувати елементи конструкцій з різнорідних і важких металів та сплавів. Паяння, хоч і відрізняється за своєю природою від зварювання, також відноситься до галузі зварювальної технології і знаходить дуже широке застосування у приладобудуванні та машинобудуванні, крім того, його починають застосовувати навіть у будівельних конструкціях.

Всі ці процеси не можуть залишатися осторонь розвитку середньої та професійно-технічної освіти, мають відображатися у змісті спеціальних та загальноосвітніх предметів, факультативних занять та науково-технічних гуртків.

Отже, тема магістерської роботи «Методичні особливості вивчення основ зварювального виробництва та паяння в 11 класі технологічного профілю» є цікавою та актуальною.

**Об'єкт дослідження:** способи з'єднання елементів металевих конструкцій зварюванням та паянням.

**Предмет дослідження:** методичні особливості вивчення технології зварювання та паяння в класах технологічного профілю.

**Мета дослідження:** аналіз технологій з'єднань елементів металевих конструкцій зварюванням і паянням та розробка методичних матеріалів їх вивчення в 11 класі технологічного профілю.

Реалізація поставленої мети передбачає розв'язання таких **завдань**:

1) охарактеризувати суть процесів з'єднання елементів металевих конструкцій зварюванням та паянням;

2) проаналізувати технологічні особливості різних видів зварювання та паяння;

3) розробити методичні матеріали вивчення основ зварювального виробництва та паяння в 11 класі технологічного профілю.

**Теоретичне значення роботи.** Охарактеризовано суть процесів з'єднання елементів металевих конструкцій зварюванням та паянням. Здійснено аналіз теоретичних основ процесів зварювання та паяння. З'ясовано особливості традиційних та спеціальних способів зварювання. Вивчено та проаналізовано основні типи дефектів зварних з'єднань.

**Практичне значення роботи.** Розроблено календарно-тематичне планування вивчення основ зварювального виробництва та паяння в 11 класі технологічного профілю. Розроблено розширені конспекти уроків: «Технологія паяння проводів та деталей радіоелектроніки», «Зварні з'єднання та шви» та кросворд «Зварні шви».

**Апробація роботи.** Матеріали магістерської роботи доповідалися на засіданні кафедри технологічної та професійної освіти і представлені у збірнику матеріалів VIII міжнародної науково-практичної конференції викладачів та

студентів навчально-наукового інституту фізики, математики, економіки та інноваційних технологій ДДПУ ім. І. Франка (с. 323-325).

**Структура роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, двох розділів, висновків та списку використаних літературних джерел з 37 найменувань. Робота представлена на 70 сторінках, містить 32 рисунки та 6 таблиць.

## РОЗДІЛ 1.

### ТЕХНОЛОГІЇ З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ КОНСТРУКЦІЙ ЗВАРЮВАННЯМ ТА ПАЯННЯМ

#### 1.1. З'єднання елементів металевих конструкцій зварюванням

##### *1.1.1. Суть процесу зварювання*

Складні конструкції, як правило, отримують у результаті об'єднання між собою окремих елементів (деталей, агрегатів, вузлів). Такі об'єднання можуть виконуватися за допомогою роз'ємних або нероз'ємних з'єднань.

Відповідно до ГОСТ 2601-84 зварювання визначається як процес отримання нероз'ємних з'єднань шляхом встановлення міжатомних зв'язків між зварюваними частинами при їх місцевому або загальному нагріванні або пластичній деформації, або спільною дією того й іншого. Нероз'ємні з'єднання, виконані з допомогою зварювання, називають зварними з'єднаннями. Найчастіше за допомогою зварювання з'єднують деталі з металів. Однак зварні з'єднання застосовують і для деталей з неметалів – пластмас, керамік або їх поєднань [1].

Для отримання зварних з'єднань не вимагається застосування будь-яких спеціальних сполучних елементів (заклепок, накладок тощо). Утворення нероз'ємного з'єднання в них забезпечується за рахунок прояву дії внутрішніх сил системи. При цьому відбувається утворення зв'язків між атомами металу деталей, що з'єднуються. Для зварних з'єднань характерне виникнення металевого зв'язку, обумовлене взаємодією іонів і обмінних електронів. Для отримання зварного з'єднання недостатньо простого зіткнення поверхонь деталей, що з'єднуються. Міжатомні зв'язки можуть встановитися тільки тоді, коли атоми отримують деяку додаткову енергію, необхідну для подолання існуючого між ними певного енергетичного бар'єру. При цьому атоми досягають стану рівноваги в дії сил притягання та відштовхування. Цю енергію називають енергією активації. При зварюванні її вводять ззовні шляхом

нагрівання (термічна активація) або пластичного деформування (механічна активація). Зближення зварювальних частин і додавання енергії активації – необхідні умови для утворення нероз’ємних зварних з’єднань [2].

Зварний шов – затверділий після розплавлення метал, який є литою структурою з характерними особливостями, що з’єднує зварювані деталі.

Сукупність деталей, з’єднаних зварним швом називається зварним з’єднанням.

За допомогою зварювання можливе з’єднання між однаковими і різними металами, а також термопластичними пластмасами. Матеріали для виготовлення зварних конструкцій різноманітні: алюміній і його сплави, сталі всіх типів і призначень, титан і його сплави, вольфрам, поліетилен, капрон, графіт, кераміка із оксиду алюмінію.

Переваги зварних з’єднань [3]:

1) економія металу. У зварних конструкціях стики виконуються без допоміжних елементів (накладок), додаткових конструкцій. Маса наплавленого металу приблизно становить 1-1,5% і рідко перевищує 2% маси виробу, в порівнянні із клепанними з’єднаннями;

2) зниження трудомісткості виготовлення. Скорочуються попередні операції і складне допоміжне обладнання;

3) зменшення вартості виробів. Вартість нижча за рахунок зменшення маси з’єднань і трудомісткості їх виготовлення;

4) збільшення якості та міцності з’єднання. Зварні шви створюють абсолютно щільні і герметичні з’єднання, що важливо при виготовленні котлів, цистерн, трубопроводів.

Класифікація основних, найпоширеніших видів зварювання представлена на рис. 1.1. У промисловості використовується зварювання металів вибухом, хімічно-термічне зварювання, лазерне, зварювання випромінюванням, зварювання світловим променем тощо.

Зварювання плавленням – це процес з’єднання двох деталей або заготовок у результаті кристалізації загальної зварювальної ванни, отриманої

розплавленням з'єднувальних кромок. При створенні нероз'ємного з'єднання використовуються спеціальні присадочні матеріали у вигляді електродів і флюсів. Електрод-провідник (пруток, дріт), за допомогою якого здійснюється підведення електроенергії в зону формування шва [4].

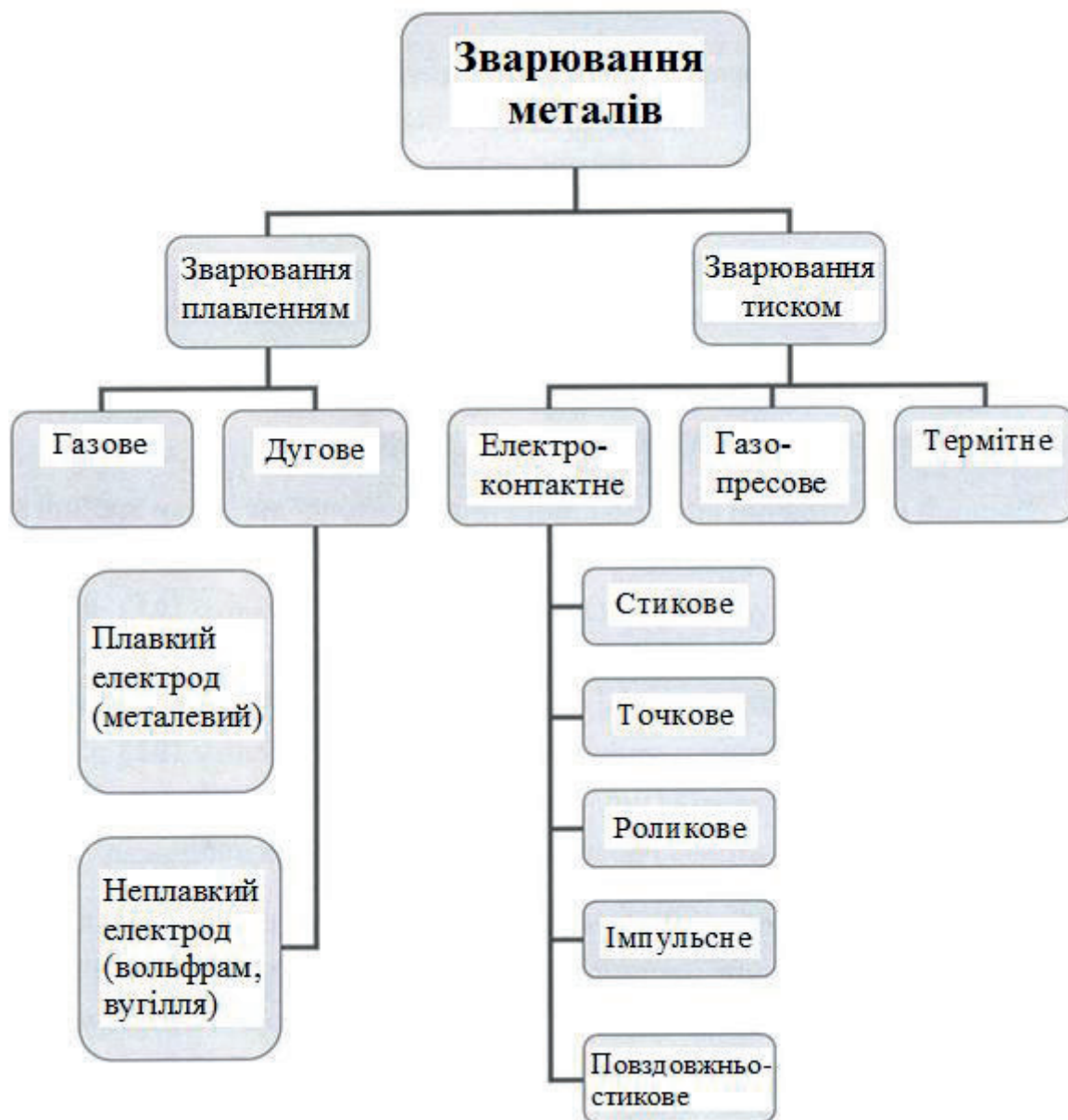


Рис. 1.1. Класифікація основних видів зварювання

Флюс – металевий матеріал, що вводиться для захисту розплавленого металу від шлаку та стабілізації дуги.

Зварювання тиском – це процес з'єднання поверхневих шарів деталей, при якому відбувається активна дифузія частинок, що веде до повного зникнення межі поділу і до проростання через неї кристалів. Зварювання

тиском здійснюється без застосування присадкового матеріалу. У сучасному машинобудуванні та приладобудуванні зварювання тиском здійснюють декількома шляхами в залежності від типу виробів і вимог, які до них висуваються [5].

### ***1.1.2. Види конструктивних з'єднань деталей зварюванням***

Зварні шви класифікують таким чином:

- 1) за протяжністю – безперервні, переривчасті, точкові;
- 2) за положенням у просторі – нижні, вертикальні, горизонтальні, точкові;
- 3) за зовнішньою формою шва – посилені (опуклі), нормальні, ослаблені (увігнуті);
- 4) за кількістю проходів – однопровідні, багатопровідні;
- 5) за формою підготовлених кромek;
- 6) за характером виконання шва.

Розрізняють такі види конструктивних з'єднань деталей зварюванням, відповідно до рис. 1.2.

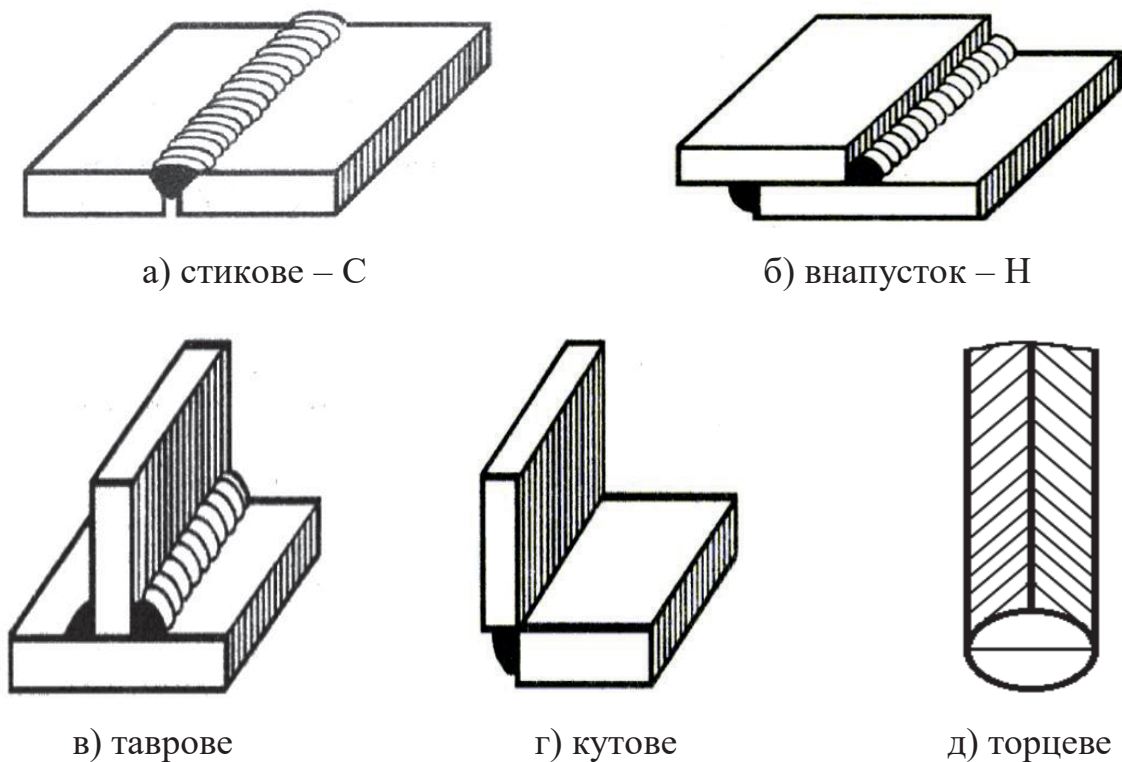


Рис. 1.2. Основні види конструктивних з'єднань деталей зварюванням

За формою одержуваного поперечного шва прийнято розрізняти підсилені (випуклі), нормальні та ослаблені (вгнуті) зварні з'єднання (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Зварні з'єднання за формою одержуваного поперечного шва

Кромки деталей, що з'єднуються в залежності від технології зварювання (ручна або автоматична) і розташування шва (вільний доступ до неї з одного або двох сторін) можуть бути рівними або спеціально підготовленими (зрізаними) для подальшого з'єднання зварюванням.

Залежно від товщини зварювальних деталей відповідно виконують різну підготовку кромки (рис. 1.4-1.7).

При товщині металу до 8 мм зварювання виконують без розділення кромки (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Підготовка кромки металу товщиною до 8 мм до зварювання

При товщині від 3 до 26 мм виконують V-подібну обробку кромки (рис. 1.5).

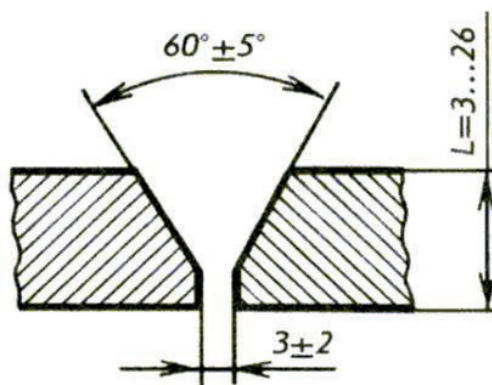


Рис. 1.5. Підготовка кромки металу товщиною 3-26 мм до зварювання

При товщині металу від 12 до 60 мм рекомендується двостороння Х-подібна обробка кромки (рис. 1.6).

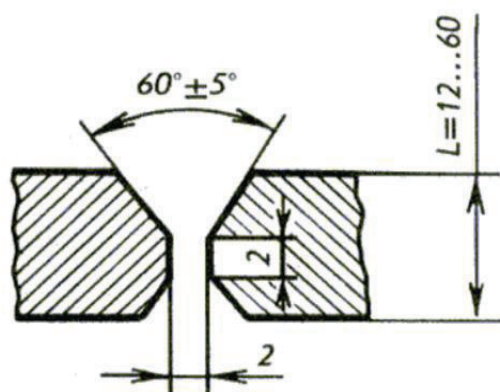


Рис. 1.6. Підготовка кромки металу товщиною 12-60 мм до зварювання

При товщині більше 20 мм зварюють з криволінійним зрізом кромки (рис. 1.7).

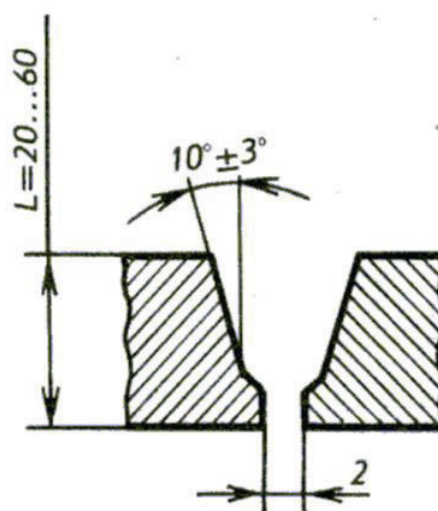


Рис. 1.7. Підготовка кромки металу товщиною понад 20 мм до зварювання

Найменша товщина робочих швів у машинобудівних конструкціях дорівнює 3 мм. Винятком становлять конструкції, у яких товщина самого металу менша 3 мм.

## **1.2. Технологічні особливості різних видів зварювання**

### ***1.2.1. Традиційні способи зварювання плавленням***

До традиційних способів зварювання відносять: газополум'яне зварювання, ручне дугове зварювання покритими електродами, автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу, дугове зварювання в середовищі захисних газів, дугове зварювання порошковим дротом та електрошлакове зварювання [6-12].

#### ***1.2.1.1. Газополум'яне зварювання***

*Особливості способу.* Газополум'яне зварювання належить до групи способів зварювання плавленням. Істотна відмінність газополум'яного зварювання – плавний і повільний нагрівання металу – в одних випадках є недоліком способу, в інших – перевагою. Ця відмінність і визначає основні сфери його застосування: зварювання сталей малої товщини (0,2...5 мм), кольорових металів, чавуну, спеціальних та інструментальних сталей, виконання наплавних робіт. Завдяки універсальності, порівняльній простоті та портативності необхідного обладнання газополум'яне зварювання дуже доцільне при виконанні багатьох видів ремонтних робіт. У той же час порівняно повільне нагрівання металу газовим полум'ям помітно знижує продуктивність зварювання зі збільшенням товщини металу, а при товщині понад 8...10 мм газове зварювання зазвичай економічно невигідне. При уповільненому нагріванні розігрівається великий об'єм основного металу, який прилягає до зварювальної ванни, що спричиняє короблення зварюваних деталей [7].

*Утворення зварного з'єднання.* При нагріванні полум'ям пальника відбувається місцеве розплавлення металу деталей, що з'єднуються. Розплавлений метал кромки разом із металом присадки утворює зварювальну

ванну. Розплавлений метал змочує кромки деталей, видаляє плівку, що покриває їх, і створює можливість прояву сил міжатомної взаємодії. У процесі зварювання газове полум'я переміщається вздовж кромок деталей, що з'єднуються. Разом із ним переміщається і зварювальна ванна. В результаті послідовного охолодження та затвердіння металу зварювальної ванни утворюється зварне з'єднання. Об'єм зварювальної ванни малий у порівнянні з об'ємом з'єднуваних деталей, тому відбувається інтенсивне відведення теплоти. Для підтримки металу зварювальної ванни в рідкому стані та нормального перебігу процесу зварювання необхідні висока температура та велика теплова потужність джерела нагрівання.

*Використовувані матеріали.* При газополум'яному зварюванні застосовуються кисень, горючі гази, присадний дріт та флюси.

Кисень – найпоширеніший елемент – у газоподібному стані прозорий, не має кольору, запаху та смаку, не здатний горіти, але активно підтримує процес горіння. Горючі гази і пари утворюють із киснем вибухові суміші, які мають широкі межі вибуховості при запаленні. Поширення вибухової хвилі у таких сумішах протікає зі швидкістю 3000 м/с та більший. Основний спосіб промислового отримання кисню в усьому світі – видобування з атмосферного повітря методом його глибокого охолодження та ректифікації повітря.

Для газового зварювання та різання застосовуються різні горючі гази, при згорянні яких у суміші з технічним киснем температура газового полум'я перевищує 2000°C. За хімічним складом вони (за винятком водню) є вуглеводневими сполуками або сумішами різних вуглеводнів. Найчастіше для газополум'яного зварювання застосовується ацетилен, при згорянні якого в кисні утворюється полум'я з вищою температурою, ніж при згорянні інших горючих газів.

Іноді ацетилен замінюють іншими горючими газами: метан, пропан, коксовий газ, сланцевий газ, нафтовий газ.

#### ***1.2.1.2. Ручне дугове зварювання покритими електродами***

*Особливості методу.* Покритими електродами зварюють конструкції з

чорних і кольорових металів та різних сплавів. Раціональна область застосування дугового зварювання покритими електродами – виготовлення металевих конструкцій елементів завтовшки більше 2 мм при невеликій протяжності швів, розташованих у важкодоступних місцях і в різних просторових положеннях. Основними переваги цього способу зварювання є простота обладнання та універсальність, а його недоліком – невисока продуктивність, зумовлена малими допустимими значеннями густини струму і тим, що формування шва відбувається в основному за рахунок електродного металу. Схема ручного дугового зварювання покритим електродом показана на рис. 1.8. Збудження дуги відбувається при короткочасному замиканні електричного зварювального кола торканням зварюваного металу кінцем електрода. У процесі зварювання в міру плавлення електрода він підводиться до виробу з одночасним переміщенням вздовж з'єднання і поперек стику для отримання шва необхідних форми та перерізу. При зварюванні покритим електродом відбувається плавлення стрижня та покриття. Розплавлене покриття утворює шлак і гази. Шлаковий шар захищає метал від взаємодії з киснем та азотом повітря, а гази відтісняють повітря від зони плавлення [8, 9].

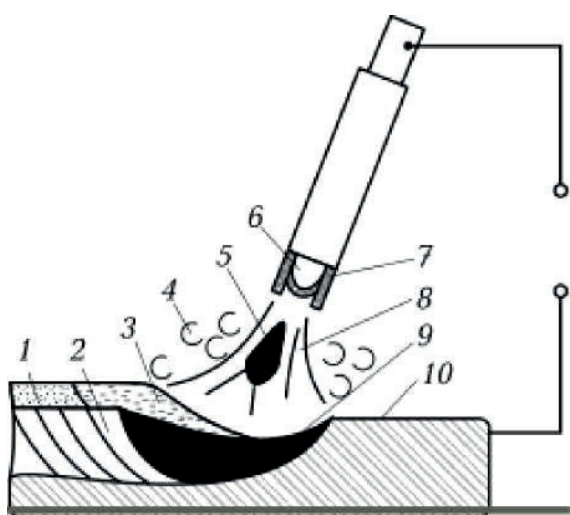


Рис. 1.8. Схема ручного дугового зварювання покритим електродом; 1 – шлакова кірка; 2 – зварний шов; 3 – рідка шлакова плівка; 4 – газовий захист; 5 – крапля електродного металу; 6 – електрод; 7 – електродне покриття; 3 – зварювальна дуга; 3 – зварювальна ванна; 10 – основний метал зварюваної деталі

Найширше застосовується ручне зварювання електричною дугою прямої дії. Кращі результати досягають при зварюванні короткою дугою, довжина якої не перевищує 0,5-1,1 діаметра електрода, при струмі 90-350 А та напрузі дуги 18-30 В.

### 1.2.1.3. Автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу

*Особливості методу.* Автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу успішно застосовується при виготовленні резервуарів і тонкостінних труб для нафтопроводів. Широке застосування цього способу в промисловості пояснюється високою продуктивністю процесу, високою якістю та стабільністю властивостей зварного з'єднання, покращеними умовами роботи, економною витратою зварювальних матеріалів та електроенергії.

До недоліків способу належить можливість зварювання тільки в нижньому положенні, що зумовлено набряком розплавленого флюсу і металу при відхиленні площини шва від горизонталі більше ніж на  $10-15^\circ$ .

Найчастіше застосовується зварювання з використанням одного електрода – однодугове зварювання. Зварювальна дуга горить між електродним дротом 2 і деталлю, яка перебуває під шаром флюсу 1 (рис. 1.9). У розплавленому флюсі 7 газами та парами флюсу та розплавленого металу утворюється порожнина – газовий міхур 4, в якому горить зварювальна дуга. Тиск газів у газовому міхурі в поєднанні з механічним тиском, який створюється дутою, виявляється достатнім для витіснення рідкого металу з-під дуги, що покращує теплопередачу від неї до основного металу. З підвищенням сили зварювального струму збільшується механічний тиск дуги та глибина проплавлення основного металу  $h_{\text{пр}}$ .

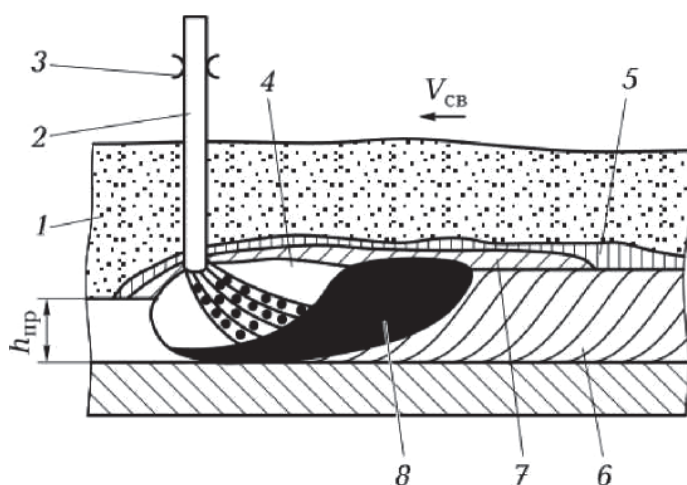


Рис. 1.9. Зварювання під шаром флюсу: 1 – шар флюсу; 2 – електродний дріт; 3 – ковзкий контакт; 4 – газовий міхур; 5 – шлакова кірка; 6 – зварний шов; 7 – розплавлений флюс; 8 – зварювальна ванна

Кристалізація розплавленого металу зварювальної ванни 3 призводить до утворення зварного шва 6. Затверділий флюс утворює шлакову кірку 5 на

поверхні шва. Розплавлений флюс, утворюючи міхур та покриваючи поверхню зварювальної ванни, ефективно захищає розплавлений метал від взаємодії з повітрям. Металургійні взаємодії між розплавленим металом та шлаком сприяють отриманню металу шва з необхідним хімічним складом. Підведення струму до електродного дроту 2 здійснюється через ковзний контакт 3 на відстані до 70 мм від дуги (виліт електрода). Це дозволяє без перегріву електрода використовувати зварювальні струми до 2000 А. Густина зварювального струму досягає 200-250 А/мм<sup>2</sup>, у результаті підвищується глибина проплавлення основного металу та швидкість розплавлення електродного дроту, тобто досягається висока продуктивність [10].

Зварювання під шаром флюсу можна виконувати на змінному та постійному струмі. Подача електродного дроту в дугу і переміщення дуги відносно стику виконуються спеціальними механізмами. У деяких випадках доцільним є застосування дводугового або багатодугового зварювання під шаром флюсу. При цьому всі дуги живляться від одного джерела або кожна дуга від окремого джерела.

*Використовувані матеріали.* Для дугового зварювання під флюсом застосовуються електродний дріт і флюс. Електродний дріт використовують такий, як і при інших способах зварювання плавленням. Може застосовуватися також порошковий дріт, формований зі стрічки в трубку, всередину якої запресований флюс. Останнім часом розроблені композитні дроти з оболонкою з пластмаси та серцевиною із суміші флюсу та залізного порошку. Переваги такого дроту – повна відсутність гігроскопічності.

Зварювальний флюс повинен добре захищати краплі електродного металу та рідкий метал зварювальної ванни від впливу повітря; забезпечувати стійке горіння дуги, гарну якість шва та утворення шлакової кірки, яка легко відокремлюється від поверхні шва після затвердіння; забезпечувати задані хімічний склад та механічні властивості металу шва. При плавленні з флюсу не повинно виділятися великої кількості газів та пилу [10].

Флюси класифікуються за способом виготовлення, хімічним складом та

призначенням. За хімічним складом флюси поділяються на кислі та основні, залежно від співвідношення відповідних оксидів. За призначенням флюси поділяють на три групи: для зварювання вуглецевих та легованих сталей, для зварювання високолегованих сталей, для зварювання кольорових металів та сплавів. Всередині цих груп флюси можуть відрізнятися за розміром частинок. Залежно від діаметра електродного дроту використовуються відповідні флюси: чим більше діаметр дроту, тим більші частинки флюсу.

За способом виготовлення флюси поділяються на плавлені та неплавлені. Неплавлені флюси виготовляються без плавлення компонентів шихти. До неплавлених належать керамічні флюси та виготовлені шляхом подрібнення природних мінералів. Керамічні флюси виготовляються з тих же компонентів, що і електродні покриття. Їх замішують на рідкому склі, а потім спікають і подрібнюють. Недолік таких флюсів – низька міцність зерен (багато відходів, дрібних фракцій) і можлива неоднорідність складу через поділ речовин з різною питомою вагою при їх перемішуванні.

#### ***1.2.1.4. Дугове зварювання в середовищі захисних газів***

*Особливості методу.* Для отримання якісних з'єднань при дуговому зварюванні необхідний захист дуги і розплавленого металу від шкідливого впливу повітря. При зварюванні в середовищі захисних газів для захисту зони дуги і розплавленого металу використовується газ, який подається струменем за допомогою пальника. Зварювання в середовищі захисних газів можна виконувати неплавким або плавким електродом (рис. 1.10). При зварюванні неплавким електродом дуга горить між електродом і зварюваною деталлю. У процесі зварювання електрод не розплавляється та не потрапляє в шов. Дуга, переміщаючись вздовж зварювальних кромek оплавляє їх. У міру видалення дуги розплавлений метал твердне, утворюючи шовк, який з'єднує кромки деталі [11].

При зварюванні плавким електродом дуга горить між електродним дротом, який безперервно подається в дугу, і зварюваною деталлю. Дуга

розплавляє дрiт i зварювальнi кромки, в результатi чого утворюється загальна зварювальна ванна. В мiру перемiщення дуги зварювальна ванна твердне, формуючи шов, який з'єднує кромки.

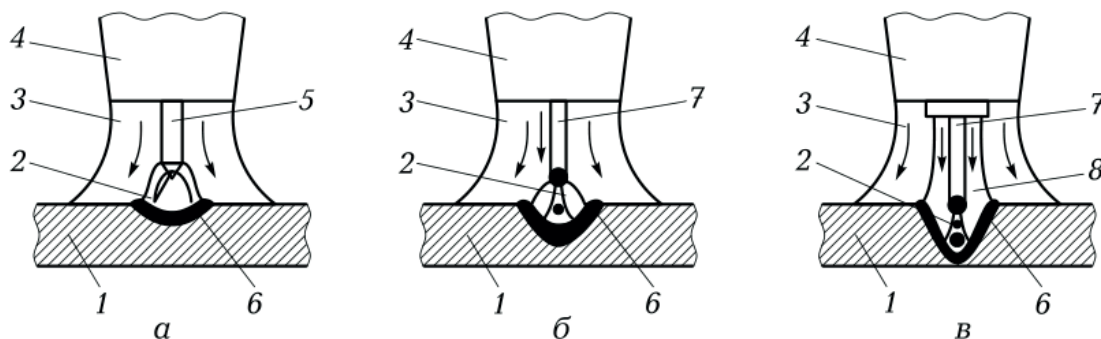


Рис. 1.10. Схеми зварювання в середовищі захисних газів: а) неплавким електродом; б) плавким електродом; в) плавким електродом в двох потоках газу: 1 – деталь; 2 – дуга; 3 – зовнішній потік захисного газу; 4 – сопло; 5 – неплавкий електрод; 6 – зварювальна ванна; 7 – електродний дрiт; 8 – внутрішній потік захисного газу

У розвитку традиційних способів зварювання серед захисних газів розроблено ряд нових способів: імпульсно-дугове, вібро-дугове.

Основними параметрами режиму ручного аргонодугового зварювання неплавким електродом є струм дуги, швидкість зварювання і витрата захисного газу; при зварюванні плавким електродом – струм дуги, витрата захисного газу, швидкість зварювання і швидкість подачі електродного дроту.

До переваг дугового зварювання в середовищі захисних газів належать висока концентрація енергії дуги, що забезпечує мінімальну зону термічного впливу та невеликі деформації зварного вузла; висока продуктивність процесу; ефективний захист розплавленого металу, особливо при використанні інертних газів як захисне середовище; відсутність необхідності застосування флюсів чи обмазок; можливість зварювання у різних просторових положеннях.

*Використовувані матеріали.* При зварюванні в середовищі захисних газів використовуються інертні та активні гази, плавкі електроди, і зварювальний дрiт.

Інертні гази (аргон, гелій та їх суміші) при зварюванні не взаємодіють з металом зварюваних деталей. Аргон – це безбарвний неотруйний газ, майже в півтора рази важчий за повітря. З більшістю елементів аргон не утворює хімічні сполуки. Аргон не розчиняється у металах ні в рідкому, ні в твердому стані. Аргон відпускається, транспортується і зберігається в сталевих балонах в газоподібному стані при тиску 15 МПа або в зрідженому переохолодженому стані ( $T < -186^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 0,1 \dots 1$  МПа). Для зварювання електродом конструкцій з вуглецевих легированих сталей використовується аргон, що містить 1...5% кисню. Гелій – це безбарвний неотруйний газ без запаху і смаку, значно легший за повітря і аргон, добре дифундує через тверді тіла. Гелій виробляється переважно шляхом зрідження природних газів. Для зварювання використовується гелій високої чистоти та гелій сорту А. Гелій транспортується та зберігається у сталевих балонах у газоподібному стані при тиску 15 МПа або у зрідженому стані при тиску не більше 2 МПа. Гелій значно дорожчий за аргон, тому застосовується в основному при зварюванні хімічно чистих та активних металів і сплавів, а також сплавів на основі алюмінію та магнію [11].

На практиці іноді застосовуються суміші аргону та гелію (50% Ar + 50% He та 40% Ar + 60% He), які виробляються шляхом змішування двох газів, що відбираються з двох окремих балонів.

Активні гази (вуглекислий газ та його суміші з киснем і азотом) при зварюванні взаємодіють з металом зварюваних деталей.

Азот – це безбарвний неотруйний газ. У зварювальному виробництві азот знаходить широке застосування. Він використовується для зварювання міді та її сплавів, стосовно яких є інертним газом. Відносно більшості інших металів азот є активним газом, часто шкідливим, тому його намагаються уникати.

Неплавкі електроди найчастіше є стрижнями з вольфраму. Вольфрамові електроди можуть містити активуючі добавки оксиду лантану (ЕВЛ), ітрію (ЕВІ), діоксиду торію (ЕВТ). Ці добавки полегшують запалення, підтримують горіння дуги та підвищують емісійну стійкість. Найчастіше використовуються електроди ЕВЛ та ЕВІ діаметром 0,5-10 мм, що витримують максимальне

струмове навантаження. Через окислення вольфрамових електродів та їх швидке руйнування не допускається використання для захисту газів, що містять кисень.

Зварювальний дріт може бути виготовлений із сталі, алюмінію та його сплавів, міді та її сплавів. При зварюванні сталевих конструкцій в основному використовується холоднотягнутий сталевий зварювальний дріт. Зварювальний дріт поділяється на низьковуглецевий, легований і високолегований.

#### ***1.2.1.5. Дугове зварювання порошковим дротом***

*Конструкції порошкового дроту.* Порошковий дріт є безперервним електродом, що складається з металевої оболонки та порошкової серцевини (рис. 1.11). Промисловістю випускається порошковий дріт двох типів: газозахисний (для зварювання в середовищі вуглекислого газу) та самозахисний (для зварювання без додаткового захисту). Конструкція порошкового дроту визначає деякі особливості його розплавлення дугою. Серцевина дроту на 50-70% складається з неметалевих матеріалів, і його електроопір у сотні разів більший за електроопір металевої оболонки. Тому практично весь зварювальний струм проходить через металеву оболонку, розплавляючи її. Плавлення серцевини, розташованої всередині металевої оболонки, відбувається в основному за рахунок тепловипромінювання дуги і теплопередачі від металу оболонки, що розплавляється. Цим зумовлена здатність серцевини виступати з оболонки, торкатися ванни рідкого металу або переходити до неї у частково не розплавленому стані. Це збільшує засміченість шва [6].

*Технологія зварювання.* Схема дугового зварювання порошковим дротом приведена на рис. 1.12. Зазвичай порошковий дріт використовується для зварювання шланговими напівавтоматами. Зважаючи на можливість спостереження за утворенням шва техніка зварювання стикових і кутових швів у різних з'єднаннях практично не відрізняється від техніки їх зварювання в середовищі захисних газів плавким електродом. Однак утворення на поверхні

зварювальної ванни шлаку, що затікає при деяких умовах у зазор між кромками передньої частини зварювальної ванни, ускладнює проварювання кореня шва. При багат шаровому зварюванні поверхню попередніх шарів слід ретельно зачищати від шлаку.

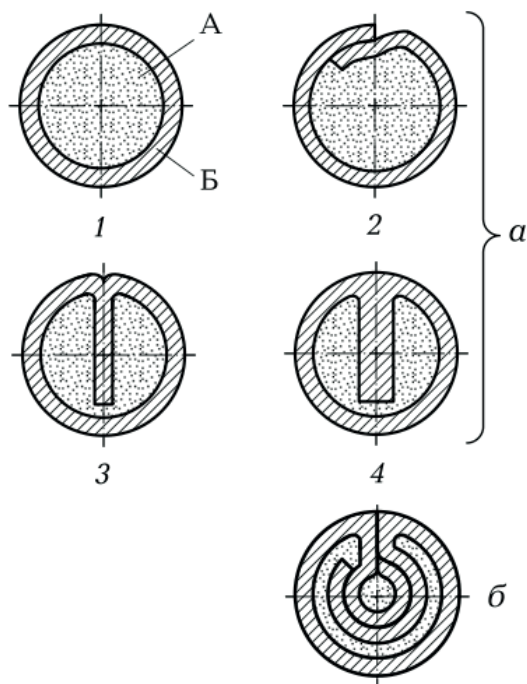


Рис. 1.11. Конструкції порошкового дроту: *а* – одношарова (1 – трубчаста; 2 – з нахлестом; 3, 4 – із загином оболонки); *б* – двошарова; А – порошкова серцевина; Б – сталева оболонка

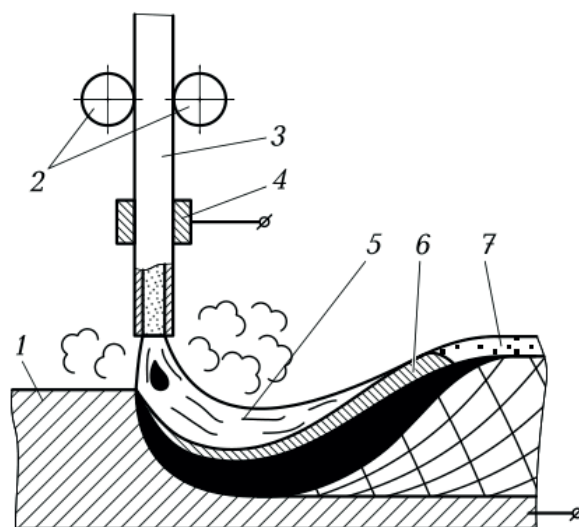


Рис. 1.12. Схема дугового зварювання порошковим дротом: 1 – зварювана деталь; 2 – подаючі ролики; 3 – порошковий дріт; 4 – ковзний струмопідвід; 5 – дуга; 6 – розплавлений шлак; 7 – затверділий шпак

Зварювання порошковим дротом має недоліки. Порошковий дріт, трубчастої конструкції з огляду на малу жорсткість вимагає застосування подавальних механізмів з обмеженою силою стиснення дроту в подаючих роликах. При використанні дроту діаметром 2,6 мм і більше для стійкого горіння дуги необхідні підвищені зварювальні тючки. Цим обумовлено використання їх для зварювання лише у нижньому та рідко у вертикальному положенні. Крім того, зварювальна ванна збільшеного об'єму покрита розплавленим шлаком, не утримується у вертикальному і стельовому

положенні силою поверхневого натягу і тиском дуги. Істотний недолік порошкових дротів, що стримує їх широке промислове застосування, – наявність порожнин у дроті, через що підвищується ймовірність утворення пор у швах. Нерозплавлені компоненти серцевини, що переходять у зварювальну ванну, сприяють появі в розплавленому металі газоподібної фази. Те саме відбувається через дисоціацію мармуру, окислення та відновлення вуглецю, при нагріванні та плавленні феромарганцю у поєднанні з мармуром. Ці фактори також призводять до появи в швах внутрішніх та поверхневих пор [6].

#### ***1.2.1.6. Електрошлакове зварювання***

Електрошлакове зварювання (ЕШЗ) широко застосовується в промисловості для з'єднання деталей підвищеної товщини зі сталей, чавунів, міді, алюмінію, титану та їх сплавів. Одним з переваг ЕШЗ є можливість зварювання за один прохід деталей практично будь-якої товщини, що не вимагає видалення шлаку і відповідного налаштування зварювальної установки перед зварюванням наступного проходу, як при інших способах зварювання. При цьому зварювання виконується без зняття фасок на кромках. Для зварювання можна використовувати один або кілька дротяних електродів або електродів збільшеного перерізу. При ЕШЗ досягається висока продуктивність і економічність процесу, які тим вищі, чим товщі зварювальні елементи [12].

Спосіб не позбавлений недоліків. Наприклад, ЕШЗ технічно можливий при товщині деталі більшій 16 мм, але рідко економічно вигідний при виготовленні конструкцій з елементів товщиною понад 40 мм. Електрошлакове зварювання дозволяє зварювати лише вертикальні шви. При зварюванні конструкцій з деяких металів утворення несприятливих структур у металі шва і навколошовної зони потребує подальшої термообробки, що забезпечує необхідні властивості зварного з'єднання.

## **1.2.2. Спеціальні способи зварювання плавленням**

### **1.2.2.1. Плазмове зварювання**

Плазмове зварювання є одним із видів дугового зварювання в якому джерелом нагрівання зварюваних заготовок використовують стиснуту дугу. При традиційному дуговому зварюванні дуга горить вільно між електродом і зварюваною деталлю. Однак, якщо певним чином не дати дузі заповнити весь цей об'єм, примусово стиснувши її, то температура дуги суттєво зросте. Одним із способів стискання дуги є її пропускання через тонке сопло. При цьому газ, який утворює плазму, буде стискати дугу витікаючи через сопло пальника. Проходячи через стовп дуги частина газу буде нагріватися, іонізуватися та виходити із сопла вже у вигляді струменя плазми. Зовнішній шар газу, який охоплює стовп дуги, залишається значно холоднішим і створює теплову та електричну ізоляцію між дутою та соплом плазмотрона, що оберігає його від руйнування. Плазма – це частково чи повністю іонізований газ, який складається з нейтральних атомів, молекул, іонів та електронів. Типовий плазмований стан речовини має місце в електричному газовому розряді. Плазма газового розряду, залежно від складу середовища, характеризується температурами 2000-50000°C. У дугах середньої потужності (сила струму до 1000 А) температура плазми 5000-20000°C [13].

Плазмовим називається зварювання стиснутою дугою. Стовп дуги поміщається у вузький канал, який обмежує його розширення. Пристрій для отримання стисненої дуги називається плазмотроном. Найпростіший плазмотрон складається з ізолятора, неплавкого електрода і мідного водоохолоджуваного сопла. В сопло тангенціально (але дотичної до його циліндричної поверхні) або аксіально (вздовж осі електрода) подається плазмоутворюючий газ (інертний, нейтральний або з вмістом кисню), який у стовпі дуги нагрівається до високої температури. Плазматрони можуть працювати на постійному або змінному струмі.

Розрізняють плазматрони прямої та непрямої дії (рис. 1.13). У плазматронах непрямої дії дуга горить між електродом і соплом плазмотрона.

Такі плазматрони застосовуються для обробки неелектропровідних матеріалів та нагрівання газу. Для зварювання найчастіше застосовуються плазматрони прямої дії. У них дуга горить між електродом та оброблюваною деталлю. Відстань між ними в плазматроні більша, ніж при зварюванні пальниками для вільної дуги, тому стиснута дуга збуджується у дві стадії. Після подачі в плазматрон газу іскровим розрядом від осцилятора або замикання проміжку електрод-сопло графітовим стрижнем збуджується допоміжна (чергова) дуга між електродом і соплом. При використанні другого варіанта збудження допоміжної дуги підвищується знос електрода та сопла. Чергова дуга живиться від окремого малопотужного джерела або від основного джерела через обмежуючий опір (щоб обмежити її струм і зменшитися знос сопла). Під дією газу чергова дуга утворює струмінь плазми невеликої потужності, яка при зіткненні з деталлю збуджує основну (робочу) дугу. Якщо в коло деталі включити контактор, то робочу дугу можна збуджувати в потрібний момент часу. При автоматичному зварюванні після збудження робочої дуги чергова дуга може вимкнутися. При ручному зварюванні чергова дуга повинна горіти постійно.

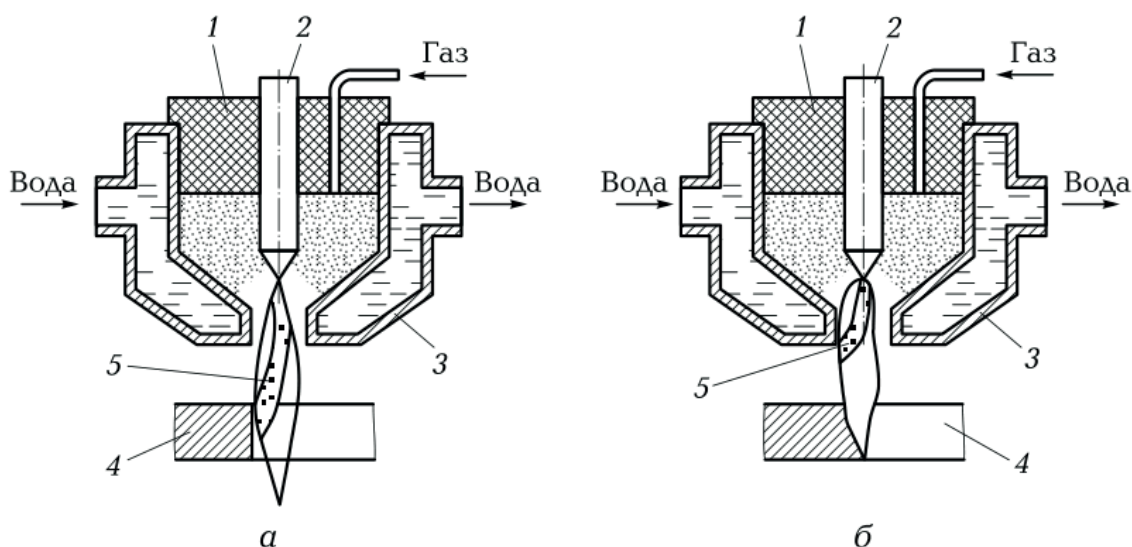


Рис. 1.13. Схеми плазматронів прямої (а) і непрямої (б) дії: 1 – ізолятор; 2 – неплавкий електрод; 3 – сопло плазматрона; 4 – зварювана деталь; 5 – стиснута дуга

Зварювання стиснутою дугою застосовується при виготовленні

конструкцій із високолегованих сталей, титану, нікелевих сплавів, молібдену, вольфраму та багатьох інших металів та їх сплавів.

Плазмове зварювання має значні переваги в порівнянні з іншими способами зварювання [14]:

- стабільне горіння дуги. При цьому забезпечується більш рівномірне проплавлення кромek, ніж при аргонодуговому зварюванні;
- проплавляюча здатність вища, ніж при зварюванні дугою, що горить в аргоні;
- циліндрична форма стовпа дуги та струменя плазми, за рахунок чого площа поверхні металу, через яку відбувається теплопередача від струменя до металу, залежить від відстані між електродом пальника та деталлю;
- низька чутливість до зміни довжини дуги. Зміна довжини дуги конічної форми (при аргонодуговому зварюванні) завжди приводить до зміни діаметра плями нагріву та зміни ширини шва. При плазмовому зварюванні практично завжди підтримується постійний діаметр плями, через що можна стабілізувати проплавлення основного металу. Це використовується при зварюванні дуже тонких листів.

Одним із суттєвих недоліків плазмового зварювання є можливість утворення подвійної (каскадної) дуги, що виникає при підвищеній густині зварювального струму. Утворення дуги між соплом плазмотрона і зварюваної деталі призводить до оплавлення сопла і зменшення сили струму основної дуги.

#### *1.2.2.2. Електронно-променеве зварювання*

Суть електронно-променевого зварювання (ЕПЗ) полягає в тому, що нагрівання здійснюється керованим електронним пучком за рахунок кінетичної енергії електронів, які рухаються з великою швидкістю глибокому вакуумі. При взаємодії швидких електронів з поверхнею металу значна частина їхньої кінетичної енергії перетворюється на теплоту, яка розплавляє метал. Щоб забезпечити умови для зварювання потрібно видобути вільні електрони, тоді їх сконцентрувати і надати великої швидкості для підвищення енергії, яка при

гальмуванні в зварюваному металі перетворюється на теплоту. У цьому методі розпечений металічний катод є джерелом вільних електронів, які прискорюються сильним електричним полем між катодом та анодом. За допомогою циліндричних магнітних полів відбувається фокусування електронів. При проникненні електронів у метал відбувається різке гальмування електронного потоку. Для створення електронного променя використовується спеціальний прилад – електронна гармата (рис. 1.14), яка випускає вузькі електронні промені з високою густиною енергії.

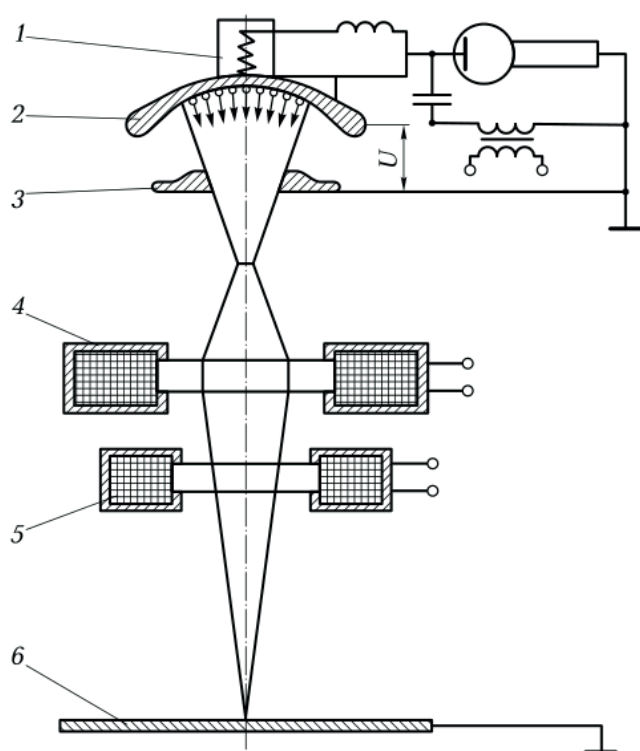


Рис. 1.14. Електронно-променева гармата: 1 – катод; 2 – прикатодний електрод; 3 – прискорюючий електрод (анод); 4 – фокусуючі магнітні лінзи; 5 – магнітна відхиляюча система; 6 – зварювана деталь

Електронно-променеве зварювання має серйозні переваги порівняно з іншими способами зварювання [15]:

- можливість з'єднання за один прохід деталей з металів та сплавів товщиною 0,1-400 мм, що є найширшим діапазоном серед усіх методів зварювання;

- мала довжина зони термічного впливу при відносно невеликому зниженні властивостей у ній завдяки високій концентрації енергії у промені, мінімальному введенню теплоти та високій швидкості охолодження зварного

з'єднання. Особливе значення це має при зварюванні конструкцій з аустенітної сталі, сплавів цирконію, молібдену та інших металів, схильних при нагріванні до значного росту зерна та зниження корозійної стійкості;

- висока швидкість кристалізації металу малої за обсягом зварювальної ванни і досягнення дрібнокристалічної будови металу шва, що за своїми властивостями мало відрізняється від основного металу. Ця перевага зумовлена глибоким проплавленням металу за малої погонної енергії та високої швидкості відведення теплоти із зони зварювання;

- можливість у багато разів зменшити деформації деталей у порівнянні з дуговим зварюванням, що зумовлено введенням значно меншої кількості теплоти, особливо при імпульсному режимі зварювання;

- можливість використання електронного променя при зварюванні у вузьку щілину (коли методи дугового зварювання неприйнятні) завдяки великій концентрації енергії в малому поперечному перерізі променя та перенесення енергії променем на значну відстань від катода;

- можливість зміни в широких межах робочої відстані від електронної гармати до деталі, що зварюється без істотної зміни параметрів шва: 50-120 мм для низьковольтних гармат та 50-500 мм – для високовольтних;

- ефективний захист металу від взаємодії з газами в процесі зварювання, що проводиться в умовах високого вакууму;

- можливість переміщення електронного променя за складними контурами з використанням програми ПК. Ця можливість пов'язана з тим, що відхилення потоку електронів у магнітному полі здійснюється практично безінерційно;

- суттєво (в 3-10 разів) знижені енергетичні витрати та порівняно з іншими способами дугового зварювання;

- раціональність з'єднань деталей із тугоплавких металів; деталей із термічно зміцнених металів, коли небажана, утруднена або неможлива подальша термообробка; деталей після остаточної механічної обробки за необхідності забезпечення мінімальних зварювальних деформацій; конструкцій

відповідального призначена при значній їх товщині.

Недоліками електронно-променевого зварювання є:

- конструктивно складне та високовартісне обладнання;
- технологічна необхідність використання вакуумних камер, а це обмежує розміри зварюваних деталей;
- у процесі ЕПЗ виділяється шкідливе рентгенівське випромінювання;
- необхідність висококваліфікованого персоналу.

### *1.2.2.3. Лазерне зварювання*

Лазерне випромінювання забезпечує високу концентрацію енергії, що значно перевершує інші джерела енергії, що використовуються для зварювання. Лазерне зварювання принципово відрізняється від ЕПЗ тим, що у більшості випадків не вимагає вакуумних камер, хоча при потужностях понад 5-25 кВт місцеве вакуумування дозволило б збільшити глибину ЛЗ у кілька разів і наблизитися до глибини проплавлення ЕПЗ. Крім того, при ЛЗ, на відміну від ЕЛЗ, немає сильного іонізуючого випромінювання, намагніченість заготовок не впливає на лазерний пучок, що дозволяє більш точно наводити його на стик при зварюванні. Вплив лазерного випромінювання є високолокальним, що визначає ряд особливостей властивостей зварних з'єднань [16, 17].

ЛЗ проводиться на повітрі, а частіше – в середовищі захисних газів Ar, He, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> тощо. Завдяки цьому лазерне зварювання можна без проблем застосовувати для з'єднання великогабаритних металоконструкцій (що є проблематичним для ЕПЗ). Лазерний промінь за допомогою дзеркальних оптичних систем або по світловоду легко транспортується і прямує у важкодоступні місця. При цьому забезпечується надійне та оперативне керування процесом лазерного зварювання з регульованими енергетичними характеристиками. Завдяки широкому діапазону режимів ЛЗ реалізується високопродуктивний процес з'єднання різних металів завтовшки від декількох мікрон до десяти і більше міліметрів (рис. 1.15, 1.16) [18, 19].

Хоча на лазерний пучок практично не впливають магнітні поля

зварюваних деталей (при кутах нахилу променя до зварювальних пластин від  $90^\circ$  до  $15-30^\circ$ ), але вони впливають на плазмовий факел, здатні його відхиляти і, відповідно, впливати на формування зварних швів. Крім того, вид захисного газу, який використовується при зварюванні (при потужності випромінювання більший 1-3 кВт), в основному визначає теплофізичні характеристики плазмового факела, його розміри, температуру та положення і, відповідно, гідродинаміку процесу та металургійні особливості, формування зварного шва (рис. 2, г-е) [20-23].

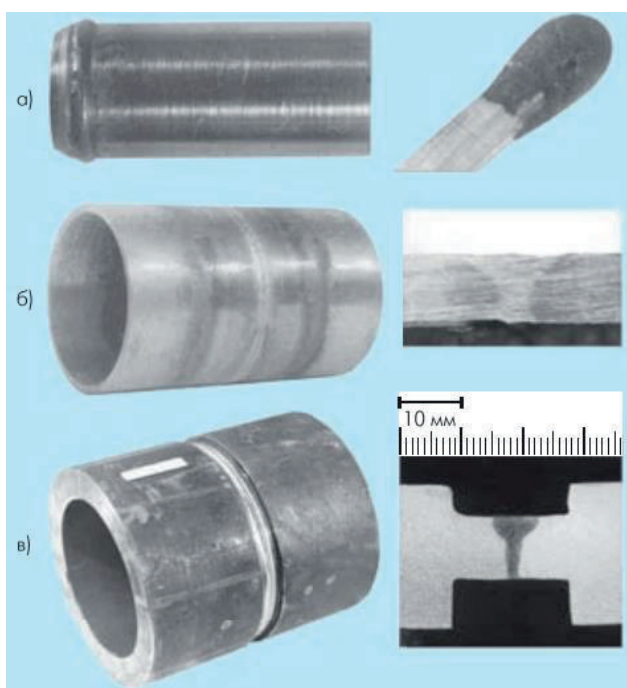


Рис. 1.15 Зовнішній вигляд лазерних зварних з'єднань та шліфів із труб діаметром 4 (а), 60 (б) та 300 мм (в) зі сталі 08Х18Н10Т (а, в) та Ст20 (б). Товщина стінки: а) 0,2 мм; б) 3 мм; в) 12 мм.

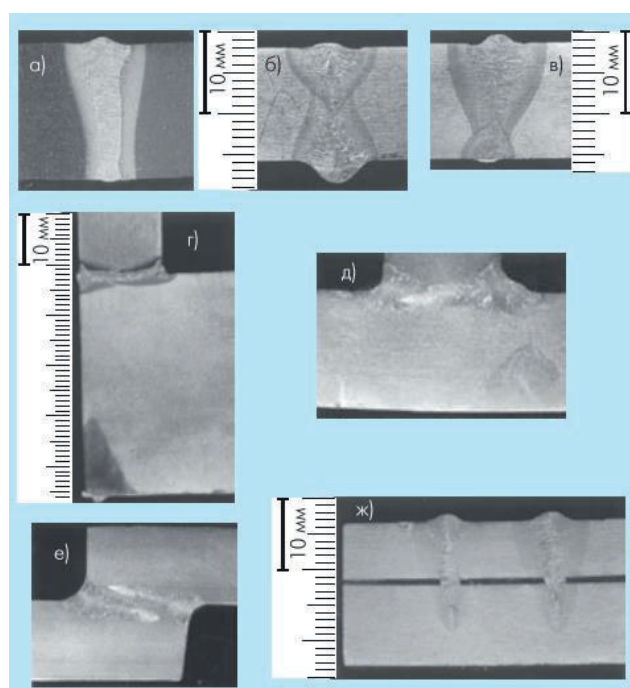


Рис. 1.16. Макрошліфи зварних з'єднань: стикового одностороннього (а), двостороннього (б), з підварюванням кореня шва (в), кутового (г), таврового (д), внапустку (е), проплавного 3-шарового (ж). Використано корпусну сталь 09Г2С (а), високоміцну сталь 12ХН4МДА (б-г, ж), високолеговану корозійно-стійку сталь 08Х18Н10Т (д-ж)

Для зварювання металів використовуються твердотільні (у тому числі волоконні) і газові лазери як періодичної, так і безперервної дії. Швидкості ЛЗ

із безперервним випромінюванням у кілька разів перевищують традиційні методи зварювання плавленням – близько 50–200 і більше м/год. Це означає як високу продуктивність процесу, а й малі витрати енергії, тобто. відношення потужності випромінювання до швидкості зварювання, що зумовлює економічну ефективність ЛЗ. При лазерному зварюванні імпульсним випромінюванням швидкість процесу значно нижча, ніж при зварюванні безперервним випромінюванням, і практично співставна зі швидкостями при традиційних методах зварювання.

Загалом основні переваги ЛЗ перед іншими видами зварювання [18-24]:

- висока продуктивність (цикл при автоматизованому завантаженні та вивантаженні деталей становить 0,04-4 хв при швидкості зварювання 40-1000 м/год та товщині зварювального металу за один прохід від часток міліметра до 20 мм і більше) та низька трудомісткість (у 3-20 разів нижча за традиційні способи зварювання);
- можливість зварювання найширшого спектру марок сталей, сплавів та матеріалів: від високолегованих, високовуглецевих марок сталі до сплавів міді та титану, пластмас, кераміки, алмазів, скла та різнорідних з'єднань;
- висока якість зварних з'єднань; у багатьох випадках механічні властивості швів виявляються на рівні основного матеріалу;
- нагрівання деталей та деформації мінімальні – у 3-5 разів нижчі, ніж при дуговому зварюванні (що найбільш характерно для імпульсно-періодичних режимів);
- можливість зварювання у важкодоступних місцях та різних просторових положеннях з кутом нахилу лазерного пучка до поверхні деталі до 15-30°, де зварювання традиційними способами часом неможливо;
- можливість зварювання без зміни режиму комбінованих виробів із змінною товщиною у 3-5 та більше разів;
- гнучкість процесу, можливість швидкого автоматичного програмованого та дистанційного переналаштування та переналагодження на інші режими або технологічні процеси;

- економія електроенергії та присадних матеріалів;
- добрі, комфортні умови праці, екологічна чистота.

### **1.2.3. Спеціальні способи зварювання тиском**

Зварювання тиском (механічне зварювання) – це процес створення зварного з'єднання, при якому з'єднувані деталі зварюються за допомогою пластичного деформування зварних кромок, а не їх розплавлення. Зварювання тиском може відбуватися за допомогою нагрівання (комбіновані, термомеханічні способи зварювання), так і без нього. Процес може відбуватися на повітрі, або у захисному середовищі. Іноді він супроводжується взаємним переміщенням зварюваних поверхонь (їх тертям одна до одної) [25].

Зварювання тиском може здійснюватися як без розплавлення з'єднуваних металів, так і з їх місцевим розплавленням в зоні стикання. У другому випадку, по суті, відбувається зварювання плавленням і такі види зварювання відносять до комбінованих видів. Взагалі, фізична суть міжатомних зв'язків, за допомогою яких відбувається схоплювання та утворення зварного стику, однакова при зварюванні тиском та плавленням. Але шляхи створення умов, за яких відбувається ця взаємодія, різні. Хоча при деяких видах зварювання тиском є нагрівання зварного з'єднання, але схоплювання матеріалів досягається, головним чином, за рахунок їх спільної пластичної деформації в зоні контакту, а нагрівання виступає лише як супутній фактор і в деяких процесах може, взагалі, бути відсутнім.

Технологія зварювання тиском залежить від способу зварювання, від типу матеріалів, що зварюються та інших факторів.

Основні види та способи зварювання тиском приведено в таблиці 1.1.

*Таблиця 1.1.*

**Основні види та способи зварювання тиском**

| <b>Дифузійне зварювання металів у вакуумі</b>                | <b>Зварювання тертям</b>                                              |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Дифузійне зварювання металу відбувається за рахунок взаємної | Зварювання тертям – це процес зварювання заготовок, який відбувається |

|                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| дифузії атомів по кромках зварюваних виробів. Процес відбувається з нагріванням нижче за температуру плавлення, тобто зварювання відбувається в твердому стані                                                                                                               | за рахунок теплової енергії, одержуваної в результаті тертя однієї заготовки об іншу та притискання їх із зусиллям одна до одної. Зварне з'єднання утворюється за рахунок пластичної деформації з'єднаних кромок                                        |
| <b>Ультразвукове зварювання</b>                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Зварювання вибухом</b>                                                                                                                                                                                                                               |
| Ультразвукове зварювання металів є одним з видів зварювання тиском і відбувається воно за допомогою ультразвукових коливань. Зварне з'єднання формується при стисканні зварюваних кромок, що відбуваються при невеликому зусиллі та одночасному впливі ультразвукових хвиль. | Зварювання вибухом – це один із відносно нових видів зварювання, який має деякі унікальні переваги, які недоступні для будь-якого іншого способу зварювання. Зварне з'єднання утворюється під впливом вибухової хвилі при детонації вибухової речовини. |

### *Дифузійне зварювання металів*

Зварювання відбувається за рахунок пластичної деформації кромок за нормальної температури нижче температури плавлення, тобто у твердому стані. Нагрів може відбуватися із застосуванням багатьох відомих джерел теплоти. Найчастіше практично застосовуються індукційний, радіаційний, електронно-променевий спосіб нагрівання, нагрівання електричним струмом, тліючим розрядом і нагрівання в розплаві солей.

У більшості випадків, дифузійне зварювання виконують у вакуумі, але на практиці його можна провести в середовищі захисних газів, відновлювальних газів, або їх суміші. Якщо зварювані метали мало схильні до дії кисню, процес можливий навіть на повітрі.

Область застосування дифузійного зварювання досить широка. У сучасних приладах найчастіше використовуються вузли та елементи, виготовлені з різномірних матеріалів, у тому числі і неметалевих (кераміка, скло тощо). Технологічні особливості дифузійного зварювання дозволяють використовувати його для виробництва металокерамічних та катодних вузлів,

напівпровідникових з'єднань. При цьому існують спеціальні конвеєрні системи для дифузійного зварювання, які дозволяють з високою мірою автоматизувати процес зварювання в умовах безперервного цілодобового виробництва. Дифузійне зварювання добре підходить для великогабаритних заготовок, що мають складну конфігурацію, які неможливо отримати механічною обробкою, литтям або штампуванням. Дифузійне зварювання істотно підвищує коефіцієнт використання металу заготовок, а в ряді випадків, заготовки взагалі неможливо отримати іншими способами зварювання. Найбільш ефективно застосування дифузійного зварювання в дослідному, одиничному та дрібносерійному виробництві. За допомогою дифузійного зварювання можна виготовити великі заготовки значної товщини, з яких, в подальшому, прокаткою отримати шаруваті композиційні листи. Тонкостінні конструкції з безлічі шарів з наповнювачем (типу гофри, стільники, ребра, панелі тощо) можна отримати, якщо поєднати процеси дифузійного зварювання та формоутворення в режимі надпластичності. Для цього спочатку листові елементи складної панелі або іншої конструкції зварюють у плоскі пакети. Для цього, до початку збирання пакета на листи наносять бар'єрне покриття. Далі пакет герметизують по всьому периметру, утворюють вакуум і запускають процес зварювання.

#### *Переваги дифузійного зварювання.*

1. За допомогою даного способу зварювання відносно легко отримати зварні з'єднання більшості конструкційних матеріалів: металів та сплавів на їх основі.
2. Дифузійним зварюванням можна зварювати як однорідні, так і різномірні матеріали, включаючи матеріали з властивостями, що сильно відрізняються (наприклад, метал і кераміку).
3. Якщо з'єднуються однорідні матеріали, то за своєю структурою та властивостями зварне з'єднання не відрізняється від основного металу.
4. Однією з особливостей дифузійного зварювання є можливість обмеження загальної деформації зварюваних кромek. При необхідності це дозволяє отримати високоточні (прецизійні) з'єднання, що не вимагають

подальшої механічної обробки.

5. При використанні схеми примусового деформування цикл зварювання можна обмежити або припинити будь-якої миті.

6. Для управління структурою та властивостями зварного з'єднання можуть застосовуватися принципи термомеханічної обробки, поєднані з циклом зварювання.

7. При виготовленні багатошарових тонкостінних конструкцій з наповнювачем складної форми (гофри, стільники, ребра тощо) можна поєднувати процеси дифузійного зварювання та формоутворення в режимі надпластичності. Це добре підходить для титанових чи алюмінієвих сплавів.

8. У серійному виробництві можливе багатошарове зварювання простих виробів (пакетне зварювання), при цьому процес зварювання легко автоматизувати, отримуючи високу продуктивність.

9. Дифузійне зварювання можна використовувати для напівфабрикатів і заготовок для подальшої обробки.

#### *Недоліки:*

1. Найчастіше продуктивність зварювання досить низька через те, що процес її досить тривалий.

2. Зварювальне обладнання (особливо для дифузійного зварювання у вакуумі, а не в захисному середовищі) досить складне, як і все технологічне оснащення. Крім того, воно піддається одночасному нагріванню та навантаженню, що висуває високі вимоги до технологічного рівня виробництва.

3. Габарити одержаних виробів обмежені типом застосовуваного зварювального обладнання.

4. Високі вимоги до якості з'єднуваних поверхонь роблять дорогим процес дифузійного зварювання.

5. Методи неруйнівного контролю зварних швів, що застосовуються на практиці, малоефективні для з'єднань, отриманих дифузійним зварюванням.

### *Зварювання тертям*

Зварювання тертя – це технологічний процес виготовлення зварного з'єднання, який відбувається за рахунок використання теплової енергії, що виникає на контактних поверхнях з'єднуваних заготовок, притиснутих із зусиллям одна до одної і, при цьому, одна із заготовок рухається відносно іншої [26]. Як і за інших методів зварювання тиском, зварне з'єднання утворюється в результаті спільної пластичної деформації ділянок зварених заготовок. Але відмінною особливістю процесу зварювання тертям є отримання теплової енергії безпосередньо в зоні з'єднання за рахунок трансформування роботи, спрямованої на подолання сил тертя між заготовками. Ці сили виникають при взаємному переміщенні поверхонь тертя зварюваних заготовок.

Переваги зварювання тертям [26]:

1. Висока якість з'єднання. У місці стику відсутні багато дефектів, властивих зварним швам, отриманим за допомогою інших видів зварювання. Наприклад, у місці з'єднання виключається утворення газових пор та зварених тріщин, різних неметалевих включень та інших дефектів.
2. Постійність механічних властивостей. Як правило, механічні властивості основного металу, місця стику та зони біля нього практично однакові через рівномірну структуру металу.
3. Висока продуктивність методу. Весь цикл зварювання займає від кількох секунд до кількох хвилин, залежно від розмірів зварюваних деталей.
4. Підготовка до зварювання займає менше часу. Через те, що немає необхідності видаляти оксидні плівки з з'єднуваних поверхонь і зачищати їх, це істотно економить час підготовки.
5. Не потрібні додаткові присадочні матеріали, як для багатьох інших видів зварювання.
6. Не потрібні додаткові операції після зварювання, такі як відпуск, відпал, проковування тощо.
7. Знижуються витрати на подальшу механічну обробку після зварювання.

8. Велика номенклатура матеріалів. Зварювання тертям дозволяє зварювати багато матеріалів, як між собою, так і в різних їх поєднаннях.

9. Високий коефіцієнт використання металу.

10. Найменший ступінь шкідливості. При зварюванні тертям немає яскравого сліпучого світла, як при дуговому зварюванні, немає виділення шкідливих газів, відсутні бризки розплавленого металу.

11. Легка можливість автоматизації.

12. Екологічність процесу. Для зварювання не потрібно захисних газових середовищ, флюсів або покриттів, тому немає виділення шкідливих речовин у повітряне середовище.

13. Низька енергоємність. Порівняно із звичайним дуговим зварюванням енергоємність знижена в 10 разів.

Недоліки:

1. Низька універсальність процесу та відносно невелика номенклатура зварюваних деталей.

2. Габарити зварюваних деталей обмежені. У випадку рухомих деталей, при зварюванні яких одна нерухомо закріплена, а друга обертається навколо своєї осі (ротаційне зварювання), економічно недоцільно зварювати заготовки, діаметром більше 150 мм.

3. Дороге та громіздке обладнання для зварювання тертям.

4. Можливе спотворення волокон у зоні зварювання, якщо зварне з'єднання під час експлуатації піддається високим динамічним навантаженням.

### ***Ультразвукове зварювання***

Ультразвукове зварювання — це вид зварювання тиском, який відбувається під впливом ультразвукових коливань. Нероз'ємне з'єднання під впливом ультразвукових хвиль утворюється в процесі стиснення зварюваних деталей яке відбувається при відносно невеликому зусиллі (порядку декількох одиниць ньютонів, або навіть десятків часток ньютонів при з'єднанні елементів мікросхем і порядку  $10^4$  Н при зварюванні товстих листів). Одночасно з

прикладеним зусиллям, на деталі, що з'єднуються, впливають механічні коливання з частотою 15-80 кГц [27].

При ультразвуковому зварюванні металів необхідні умови для утворення зварного з'єднання відбуваються під вплив ультразвукових хвиль, перетворених в механічні коливання. Енергія вібрації формує складні розтягувальні і стискаючі напруження, а також напруження зрізу. Коли напруження перевищують межу пружності зварюваних матеріалів на площині їх контакту відбувається пластична деформація. Під вплив ультразвуку та пластичної деформації, поверхневі оксидні плівки руйнуються та видаляються з поверхні, після чого утворюється зварна сполука. При цьому підвищення температури в зоні зварювання не істотно впливає на процес зварювання. При ультразвуковому зварюванні структура та властивості зварюваних металів змінюються незначно.

Великий світовий досвід застосування ультразвукового зварювання дозволяє виділити ряд переваг, характерних для цього процесу [27]:

1. Процес зварювання відбувається за твердого стану металу без сильного нагрівання зварного з'єднання. Завдяки цьому з'являється можливість зварювання хімічно активних металів, а також різнорідних матеріалів, які схильні до утворення крихких сполук у результаті нагрівання.

2. За допомогою ультразвукового зварювання можливо отримати зварні з'єднання металів, які складно отримати іншими способами зварювання в силу економічних та технологічних обмежень, наприклад, зварювання міді або зварювання алюмінію.

3. Даний вид зварювання дозволяє зварювати між собою тонкі та надтонкі елементи (зварювання пакетів із фольги), а також приварювати їх до елементів великої товщини. При цьому товщина останніх мало обмежена.

4. При ультразвуковому зварюванні металів немає високих вимог до чистоти зварюваних поверхонь, що в багатьох випадках дозволяє проводити зварювання поверхонь, з наявними на них оксидними плівками, а також зварювання тих деталей, на поверхнях яких є різні ізоляційні плівки.

5. Поверхні деталей, що з'єднуються в зоні стику, не піддаються сильній деформації через малу величину зварювального зусилля.

6. Установки для ультразвукового зварювання металів мають нескладну конструкцію т невелику потужність.

7. Процес ультразвукового зварювання можна легко автоматизувати.

8. Цей вид зварювання дуже вигідний у плані екології та гігієни.

Вид зварювання ультразвуком використовують для зварювання фольги, дроту, тонких листів та інших елементів. Від інших видів зварювання його вигідно відрізняє можливість зварювання різнорідних та термочутливих матеріалів, адже процес може відбуватися без нагрівання або при мінімальному нагріванні.

Ультразвукове зварювання широко використовують у таких галузях промисловості, як виробництво мікросхем, напівпровідників, мікроприладів, мікроелементів для електроніки, чіпів, конденсаторів, трансформаторів, мобільних телефонів для виготовлення багатьох елементів у різних видах домашньої техніки. Також цей вид зварювання знайшов застосування в оптичних приладах та приладах точної механіки, у виготовленні реакторів, вакуумних сушильних установок, з'єднанні кінців рулонів тонколистових матеріалів, в автомобільній промисловості та багатьох інших галузях науки та техніки.

### ***Зварювання вибухом***

Зварювання вибухом – це відносно новий і в багатьох сенсах революційний метод зварювання, який має ряд істотних переваг, порівняно з іншими видами зварювання, завдяки чому він набув досить широкого поширення на практиці. Подальший розвиток цього виду зварювання передбачає застосування нових технологій, що забезпечують більш високий ступінь автоматизації та механізації всіх стадії процесу, починаючи від стадії підготовки і до безпосереднього перебігу процесу на спеціальних камерах [28].

У процесі вибуху по заряду вибухової речовини поширюється

детонаційна хвиля. Швидкість її поширення вимірюється тисячами метрів за секунду. Під дією цієї хвилі рухома пластина набуває швидкість близько кількох сотень метрів на секунду і відбувається її зіткнення з нерухомою пластиною під певним кутом. В околі точки зіткнення виникає високий тиск, який у десятки разів перевищує межу міцності матеріалів. Під впливом такого тиску, згідно з гідродинамічною теорією, зварювані матеріали течуть подібно до рідин.

У процесі зіткнення зварні поверхні самоочищаються і створюються умови для їх зближення під впливом високого тиску та спільної пластичної течії. Весь процес триває близько  $10^{-6}$  с, тому взаємна дифузія не встигає поширитись на велику глибину.

Зварювання вибухом дозволяє з'єднувати між собою такі матеріали та сплави, зварювання яких іншими способами утруднене. Це стосується, наприклад, зварювання сталі з алюмінієм чи титаном. При цьому, по міцності зварний шов таких сполук не поступається міцності найслабшого металу в парі.

Зварювання вибухом дозволяє отримувати як заготовки, так і вже готові деталі різної форми та різних габаритів. На практиці були випадки успішного плакування листів площею до  $50 \text{ м}^2$ , товщиною до 460 мм і масою до 40 т. Товщини шарів плакування можуть коливатися від 0,01 до 45 мм. Даний спосіб зварювання дуже добре підходить для плакування труб або циліндрів, а також деталей з криволінійною поверхнею, таких як лопаті турбін, підп'ятники тощо.

## **1.2. Технологія з'єднання елементів металевих конструкцій паянням**

Паяння застосовують для отримання герметичності, утворення захисного покриття від корозії (лудіння), при з'єднанні деталей, які несуть невелике навантаження тощо. У ряді випадків спосіб з'єднання паянням має перевагу перед зварюванням, зокрема його широко застосовують у радіотехніці, електроніці, приладобудуванні.

Паянням називається процес утворення нероз'ємного з'єднання матеріалів за допомогою розплавленого металу або сплаву, який називається

припоєм (рис. 1.8) [29].

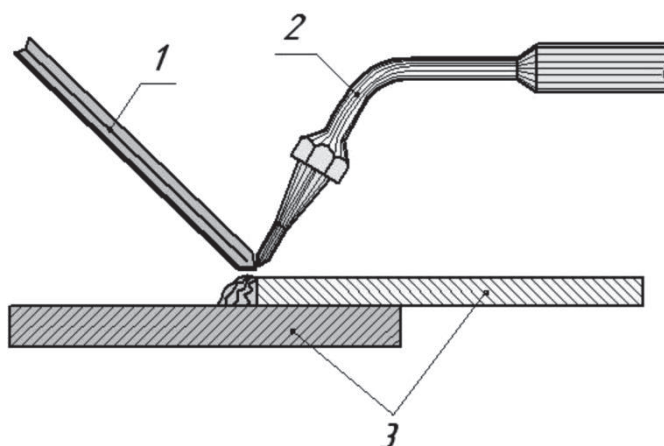


Рис. 1.8. Процес паяння паяльником: 1 – припій; 2 – паяльник; 3 – з'єднувані деталі

Розрізняють такі способи паяння [30]:

- 1) екзотермічне паяння на повітрі і захисному газі;
- 2) паяння паяльником;
- 3) паяння газовим полум'ям;
- 4) паяння електроопору;
- 5) паяння в ванні;
- 6) паяння в печі;
- 7) дифузійне паяння;
- 8) індукційне паяння;
- 9) паяння випромінюванням.

Від зварювання паяння відрізняється тим, що кромки з'єднаних деталей не розплавляються, а тільки нагріваються до температури плавлення припою. Припої мають нижчу температуру плавлення, ніж метали, з яких виготовлені деталі, що з'єднуються 3. Припій розплавляється і твердне в зазорах між поверхнями деталей, що з'єднуються.

Розрізняють паяння легкоплавкими і тугоплавкими припоями. Легкоплавкі припої мають температуру плавлення до  $400^{\circ}\text{C}$  і незначну механічну міцність. До складу легкоплавких припоїв входять олово і свинець. Тугоплавкі припої мають температуру плавлення вищу  $500^{\circ}\text{C}$ . Такими

припоями можна отримати міцність паяного з'єднання, близьку до міцності основного металу деталей, що з'єднуються. Тугоплавкі припої складаються зі сплаву міді, цинку, срібла, нікелю, заліза, кадмію та інших металів. Найбільш застосовувані марки припоїв наведені в табл. 1.1 [31].

Таблиця 1.1

## Рекомендовані марки припоїв

| Вид припою         | Характеристика                           | Марка                        | Призначення                   |
|--------------------|------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Олов'яно-свинцевий | М'які<br>$t_{пл} < 500^{\circ}\text{C}$  | ПОС 90, ПОС 61М,<br>ПОССу15  | Алюмінієві сплави             |
| Олов'яно-свинцевий | $t_{пл} = 200^{\circ}\text{C}$           | Авиа - 1                     | Тонкостінні вироби з алюмінію |
| На основі срібла   | Тверді<br>$t_{пл} > 500^{\circ}\text{C}$ | ПСр 72 ПСр 12М               | Чорні метали                  |
| Мідно-нікелеві     |                                          | МНЖМц 30-1-1 МН 19, МНА 13-3 | Вуглецеві сталі               |
| Кадмієві           |                                          | КдОАС, Кд 1                  | Леговані сталі                |
| Магнієві           |                                          | Мг 96, Мг 90                 | Кольорові метали              |

Щоб підвищити якість паяння, застосовують флюси. Флюс – це речовина або склад, призначений для розчинення і видалення окислів з поверхні з'єднуваних деталей. Він повинен надійно захищати поверхні деталей і припою від окислення в процесі паяння.

Флюси поділяють на активні (кислотні), безкислотні, активовані, антикорозійні. Вибір флюсу залежить від з'єднуваних паянням металів або сплавів, найпоширеніші марки флюсів наведені в табл. 1.2 [31].

Таблиця 1.2.

## Найпоширеніші марки флюсів

| Назва флюсу | Марка флюсу | Призначення                  |
|-------------|-------------|------------------------------|
| Флюс-паста  | УН - 1      | Чорних та кольорових металів |

|  |          |                                     |
|--|----------|-------------------------------------|
|  | КЕЦ      | Кольорові та<br>дорогоцінні метали  |
|  | Каніфоль | Мідь та її сплави                   |
|  | ЛТІ - 1  | Нержавіюча сталь,<br>нікель, срібло |
|  | ВТС      | Платина та її сплави                |

Основні форми паяних з'єднань представлені на рис. 1.9.

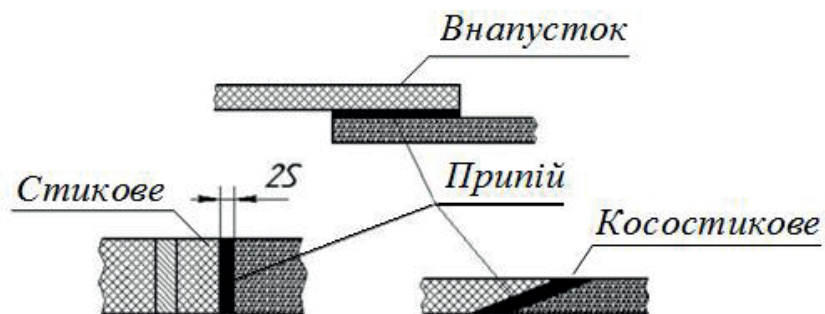


Рис. 1.9. Форми паяних з'єднань: внапусток, стикове, косостикове

## РОЗДІЛ 2.

### РОЗРОБКА МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИВЧЕННЯ ОСНОВ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ПАЯННЯ В 11 КЛАСІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОФІЛЮ

#### 2.1. Розробка календарно-тематичного планування вивчення основ зварювального виробництва та паяння в 11 класі технологічного профілю

Зміст навчального матеріалу та державні вимоги до рівня загальноосвітньої підготовки учнів при вивченні основ зварювального виробництва та паяння в 11 класі технологічного профілю представлено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Зміст навчального матеріалу та вимоги до рівня загальноосвітньої підготовки учнів

| Дата проведення уроку | К-сть годин | Зміст навчального матеріалу                                                                                                                                                                                                                                                   | Державні вимоги до рівня загальноосвітньої підготовки учнів                                                                                                              |
|-----------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | 2           | <b>З'єднання елементів металевих конструкцій зварюванням:</b> суть процесу зварювання; класифікація основних видів зварювання; види конструктивних з'єднань деталей зварюванням.                                                                                              | <i>Називає</i> традиційні та спеціальні способи зварювання та паяння; види конструктивних з'єднань деталей зварюванням; види зварних швів; основні дефекти зварних швів. |
|                       | 2           | <b>Традиційні способи зварювання:</b> газополум'яне зварювання, ручне дугове зварювання покритими електродами, автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу, дугове зварювання в середовищі захисних газів, дугове зварювання порошковим дротом та електрошлакове зварювання | <i>Наводить приклади</i> сфер застосування технологій з'єднання деталей зварюванням та паянням; різновидів припоїв та флюсів.                                            |
|                       | 2           | <b>Спеціальні способи зварювання плавленням:</b> плазмове зварювання; електронно-променеве зварювання; лазерне зварювання; зварювання світловим променем.                                                                                                                     | <i>Порівнює</i> традиційні та спеціальні способи зварювання.<br><i>Розпізнає</i> види зварних швів та форми паяних з'єднань; дефекти зварних швів.                       |

|  |   |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                 |
|--|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 2 | <b>Контактне зварювання:</b> основні відомості про контактне зварювання; зварювання швом; стикове зварювання; точкове зварювання                                                                                                      | <i>Знає види конструктивних з'єднань деталей зварюванням та паянням; основні марки припоїв.</i> |
|  | 2 | <b>Спеціальні способи зварювання тиском:</b> особливості зварювання тиском; зварювання тиском з нагріванням; зварювання тиском без нагрівання.                                                                                        |                                                                                                 |
|  | 2 | <b>Технологія з'єднання елементів металевих конструкцій паянням:</b> суть процесу паяння; форми паяних з'єднань; паяння легкоплавкими і тугоплавкими припоями; різновиди припоїв та флюсів.                                           |                                                                                                 |
|  | 4 | Способи паяння: екзотермічне паяння на повітрі і захисному газі; паяння паяльником; паяння газовим полум'ям; паяння електроопору; паяння в ванні; паяння в печі; дифузійне паяння; індукційне паяння; паяння випромінюванням          |                                                                                                 |
|  | 8 | <b>Практичні роботи.</b><br>Вивчення видів конструктивних з'єднань деталей зварюванням.<br>Вивчення основних дефектів зварних швів.<br>Способи з'єднання проводів скручуванням.<br>Технологія паяння проводів та деталей електроніки. |                                                                                                 |

## 2.2. Розробка методичних матеріалів вивчення основ технології

### паяння проводів та деталей електроніки

**Тема уроку:** «Технологія паяння проводів та деталей радіоелектроніки».

**Мета уроку:** *Освітня:* узагальнити та систематизувати знання учнів з технології паяння; виробити вміння і навички для паяння з'єднань електричних проводів та деталей радіоелектроніки; сформувати пізнавальний інтерес до роботи з електрообладнанням. *Виховна:* виховання самостійності та відповідальності за виконану роботу; працьовитості, вміння оптимально використовувати відведений для роботи час; виховати дбайливе ставлення до обладнання, сировини, інвентарю. *Розвиваюча:* розвивати здатність застосовувати засвоєні теоретичні знання у практичних цілях; формувати

вміння до самовдосконалення, самоосвіти та самостійності.

**Тип уроку:** комбінований.

**Методи навчання:** словесно-наочний, наочно-демонстраційний, самостійна робота учнів.

### **СТРУКТУРА УРОКУ**

1. Організаційна частина (1 хв)
2. Актуалізація опорних знань (5 хв)
3. Повідомлення теми та мети уроку (1 хв)
4. Виклад нового матеріалу (16 хв)
5. Практична робота (18 хв)
6. Підсумок уроку (3 хв)
7. Домашнє завдання (1 хв)

### **ХІД УРОКУ**

#### **I. Організаційна частина**

Перевірка присутності учнів та готовності до уроку. Перевірка робочих місць.

#### **II. Актуалізація опорних знань**

1. Які ви знаєте способи з'єднання проводів та деталей електроніки?
2. Що таке паяння?
3. Які елементи використовують при паянні?
4. Для чого використовують припій?

#### **III. Повідомлення теми та мети уроку**

Отже, тем сьогоднішнього уроку «Технологія паяння проводів та деталей електроніки». Сьогодні ми маємо навчитися підготовляти деталі до паяння та виконувати безпосереднє паяння електричних з'єднань.

#### **IV. Виклад нового матеріалу**

Паяння проводів – це такий спосіб, який дозволяє отримати хороші

результати провідності контакту. Надійне з'єднання проводів при монтажі електропроводки потребує особливої уваги, адже від цього залежить провідність контакту і, як наслідок, пожежна безпека будівлі загалом.

Способи з'єднання проводів є різними. З'єднання зварюванням – найнадійніший метод, проте він вимагає наявності певного обладнання та досить трудомісткий.

Для виконання робіт з паяння знадобляться такі інструменти: звичайний побутовий паяльник потужністю 40-100 Ват (рис. 1) (можна використовувати паяльну станцію, на якій легко регулювати температуру жала паяльника, що дуже зручно при паянні); ніж для зачищення ізоляції; каніфоль для лудіння поверхні; припій для спайки різних металів; також можна використовувати різні безкислотні флюси; пасатижі для виконання скручування; дрібний напилек для зачистки жала паяльника.

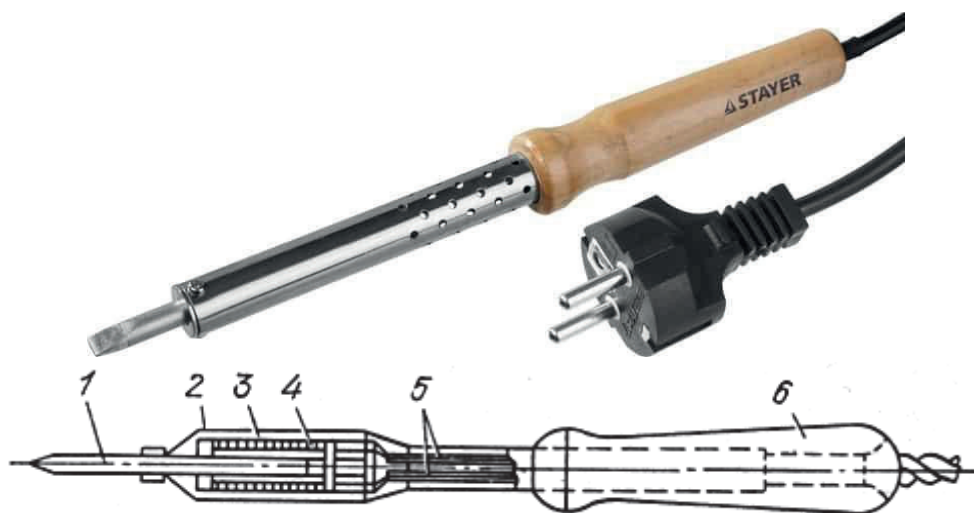


Рис. 1. Побутовий паяльник та його будова: 1 – мідний паяльний стрижень; 2 – сталевий кожух; 3 – шаром слюди і азбесту; 4 – нагрівальний елемент (обмотка); 5 – азбестові нитки; 6 – дерев'яна (пластикові) ручка

За способом нагріву паяльники поділяються на електричні, жарові, бензинові та газові. Для монтажу апаратури найбільшого поширення набули електричні паяльники. Основна частина паяльника (рис. 1) – нагрівальний елемент (обмотки) 4 є проводом зі сплаву ніхрому, намотаний виток до витка на сталеву трубку та ізольований від неї слюдою. Обмотки можуть бути

двошаровим або виконуватися у вигляді знімного елементу. В сталеву трубку з одного боку вставляється мідний паяльний стрижень 1, зовнішній кінець – робоча частина паяльника називається жалом або носиком. На інший кінець сталевій трубки надівається ручка 6 з дерева або ізоляційного матеріалу, через яку пропускають шнур з вилкою. Кінці шнура обмотуються азбестовими нитками 5, пропускаються через отвори в сталевій трубці і з'єднуються з кінцями обмоток. Нагрівальний елемент зверху покритий шаром слюди і азбесту 3 для електро- та теплоізоляції. Поверх азбесту закріплений сталевий кожух 2, що складається з двох половинок, які скріплюються за допомогою кілець. За формою паяльного стрижня паяльники діляться на торцеві (рис. 1) і куркові (Г-подібні) (рис. 2). Паяльники на напругу 8, 12, 24, 36, 42 В безпечні, зручні і довговічні, так як провід обмоток має велику товщину [32].

Паяння паяльником або газовим пальником мідних та алюмінієвих проводів дещо різниться, особлива відмінність – у застосовуваних для цих потреб припоях.



Рис. 2. Курковий паяльник для паяння електричних схем

Для паяння мідних проводів застосовують склади із свинцю та олова [32]:

- ПОС-40 (олова – 40%, сурми – 2%, свинцю – 58%);
- ПОС-50 (олова – 50%, свинцю – 49-50%);
- ПОС-60 (олова – 60%, свинцю – 40%).

Для паяння алюмінієвих проводів застосовують:

- ЦО-12 (цинку – 88, олова – 12%,);
- А (цинк – 60%, олово – 36%, мідь – 2%);

- П250А (ПОЦ 80/20) (цинк – 20%, олово – 80%);
- ЦА-15 (цинк – 85%, алюміній – 15%).

### Порядок виконання робіт

Розглянемо процес паяння даних типів матеріалів докладніше. Різні способи з'єднання проводів мають на увазі застосування різних флюсів та паяльних складів, виходячи з матеріалу.

#### Увага!

*Метод паяння зазвичай застосовують при з'єднанні мідних проводів до 10 мм<sup>2</sup>, перетином до 6 мм<sup>2</sup> перед паянням зазвичай скручують разом.*

Способи з'єднання проводів скручуванням представлено на рис. 3.

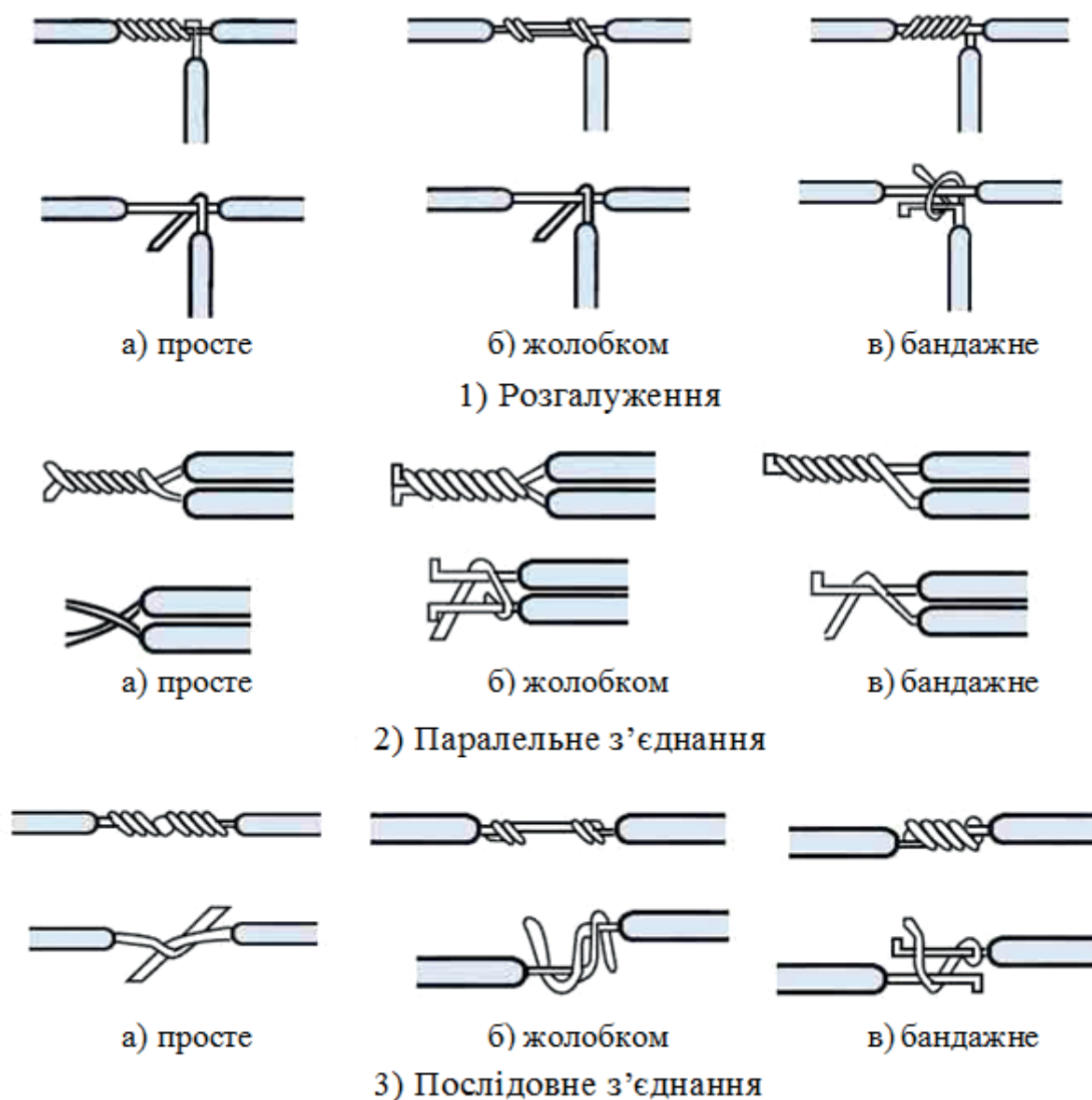
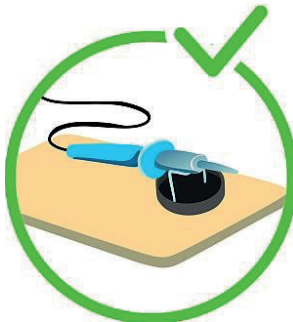


Рис. 3. Способи з'єднання проводів скручуванням

Паяння проводів не виділяється швидкістю монтажу, проте висока якість отриманих контактів, довговічність і надійність з'єднань дозволили даному способу набути широкого поширення при виконанні електромонтажних робіт.

## V. Практична робота

### *Інструктаж з техніки безпеки при паянні*

|                                                                                                                                                                                                               |                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Ніколи не торкайтеся руками або іншими частинами тіла до нагрівального елемента та жала паяльника.                                                                                                         |    |
| 2. Тримайте в руці паяльник тільки за передбачену для цього ручку і дотримуйтесь акуратності під час роботи з ним. Необережне поводження з паяльником і припоєм у розігрітому стані може призвести до опіків. |   |
| 3. Щоб уникнути пошкодження меблів, виконуйте паяльні роботи на дерев'яній підкладці, яка може бути в комплекті.                                                                                              |  |
| 4. У той час, коли безпосередньо не працюєте з паяльником і він є в нагрітому стані, встановлюйте паяльник на спеціальну термостійку підставку.                                                               |  |

|                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>5. Не залишайте паяльник увімкненим на довгий час без нагляду. Після завершення роботи обов'язково відключайте його (витягніть вилку з розетки).</p>                                                                     |    |
| <p>6. У зв'язку з тим, що при паянні виділяється в незначних кількостях дим, виконуйте роботу в приміщенні, що добре провітрюється. Вкрай бажано забезпечити наявність витяжної вентиляції над місцем проведення робіт.</p> |    |
| <p>7. При паянні дрібних деталей утримуйте їх пінцетом. Використання пінцету для утримання допоможе уникнути опіків.</p>                                                                                                    |   |
| <p>8. Не забирайте паяльник у коробку відразу після закінчення роботи. Він ще довго залишається гарячим! Зачекайте 10 хвилин або більше, доки паяльник охолоне.</p>                                                         |  |

### *Практичне завдання 1. Технологія паяння проводів.*

Вчитель роздає учням по парі проводів, які вони мають якісно з'єднати способом спаювання.

#### *Поточний інструктаж*

1. Зняти ізоляцію з обох проводів на довжині 3-5 см.

2. Зачистити та знежирити жили проводів.



Рис. 7. Ізолювання та очищення проводів

3. Виконати один із способів скручування проводів.

4. Обробити скрутку флюсом (залудити).

5. Набрати припій на жало і нанести його спаяти скрутку, прогріваячи її до повного розтікання. При необхідності повторити дію кілька разів до заповнення припоєм всіх порожнин скрутки.

6. Ізолювати ізоляцією отримане спаювання.

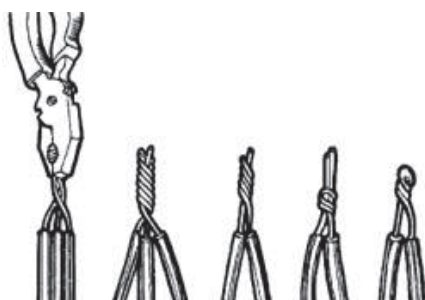


Рис. 8. Способи скручування проводів

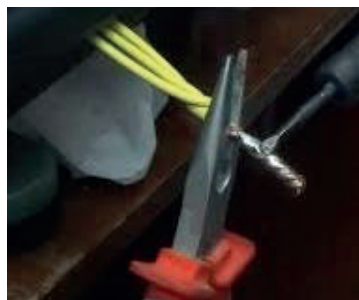


Рис. 9. Технологія лудіння скрутки проводів



Рис. 10. Ізолювання спаяних проводів

### *Практичне завдання 2. Припаювання радіодеталі на плату*

Учитель роздає учням радіодеталі з кількома виводами, які вони повинні припаяти на плату.

#### *Поточний інструктаж*

1. Відігнути пінцетом виводи радіодеталі під потрібним кутом і вставити їх в отвори плати.

2. Зафіксувати радіодеталь пінцетом.

3. Набрати на жало припій, занурити його в каніфоль і приставити жало до точки з'єднання виводів з платою (рис. 11).

4. Прогріти поверхні до перетікання припою з жала на доріжки плати, виводи радіодеталі та контакти мікросхем.

5. До застигання припою радіодеталь утримувати пінцетом у потрібному положенні.

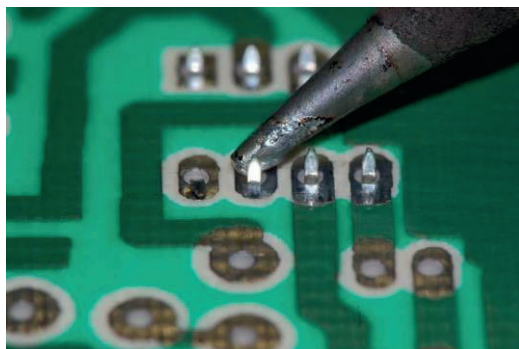


Рис. 11. Припаювання радіодеталей на плату

6. Після застигання промити плату спиртом (розчинником).

7. Проконтролювати відсутність короткого замикання між компонентами плати, що може трапитися внаслідок попадання крапель припою між доріжками.

## **VI. Підсумки уроку**

Учитель наголошує, що паяння, це проста процедура, якої легко навчитися, якщо чітко дотримуватися технології та правил техніки безпеки, використовувати справний інструмент і якісні розхідні матеріали.

Проводить оцінювання виконаних робіт, вказує на наявні недоліки та способи їх усунення, виставляє учням оцінки.

## **VII. Домашнє завдання**

Пошук інформації та її аналіз.

## 2.3. Розробка методичних матеріалів вивчення зварних з'єднань та швів

**Тема уроку:** Зварні з'єднання та шви.

**Мета уроку:** *навчальна:* вивчити види зварних з'єднань і швів; систематизувати отримані знання; *виховна:* виховати працьовитість, шанобливого ставлення до своєї майбутньої професії; *розвивальна:* розвинути пам'ять, мислення, увагу.

**Тип уроку:** комбінований

**Обладнання:** авторська презентація, комп'ютер, екран, мультимедійна установка, роздатковий матеріал, зразки зварних з'єднань, металеві пластини.

### ХІД УРОКУ

#### I. Організаційна частина

Перевірка присутності учнів, готовності до уроку. Перевірка робочих місць.

#### II. Актуалізація опорних знань

1. Які ви знаєте способи з'єднання деталей?
2. Що таке зварювання?
3. Які деталі можна з'єднувати способом зварювання?
4. Чим відрізняється зварювання від паяння?

#### III. Повідомлення теми та мети уроку

Тема уроку «Зварювальні з'єднання та шви». Мета: вивчити види зварних з'єднань і швів.

#### IV. Виклад нового матеріалу

*На екрані авторська презентація.*

Від якості з'єднань залежить успіх справи і технічний прогрес. Створюючи нове або зміцнюючи дійсне, людина завжди прагне поєднати різні деталі. Одним з унікальних способів з'єднання матеріалів є зварювання.

У даний час ручна дугова зварка є найпоширенішим способом отримання зварних з'єднань і швів. Кромки зварюваного виробу і присадний метал розплавляються зварювальною дугою, що горить між електродом і виробом. Зварений шов утворюється за рахунок розплавленого металу кромки і плавлення стрижня зварювального електрода.

Основними видами ручного дугового зварювання є [11]:

- Механізоване дугове зварювання електродом, що плавиться в захисному газі. Кромки зварюваного виробу розплавляються дугою, яка горить між виробом і плавким електродним дротом, безперервно надходить в дугу і служить одночасно присадним матеріалом. Дуга розплавляє дріт і кромки виробу, утворюючи зварювальну ванну. Дуга, метал зварювальної ванни, електрод що плавиться і шов, який кристалізується захищені від впливу повітря газом, що подається в зону зварювання пальником. У міру переміщення дуги зварювальна ванна кристалізується, утворюючи, зварений шов.

- Ручне дугове зварювання неплавким електродом у захисних газах. Кромки зварюваного виробу і присадкового металу розплавляються дугою, що горить між неплавким електродом і виробом. Дуга, зварювальна ванна, торець присадного дроту і шов захищені від впливу повітря газом, що подається в зону зварювання пальником.

### ***Зварні з'єднання***

*В учнів на столі лежать зразки зварних з'єднань і роздатковий матеріал.*

Зварене з'єднання – нероз'ємне з'єднання елементів, виконане за допомогою зварювання.

Зварні з'єднання бувають: стиковими, з'єднання внапусток, торцевими, кутовими та тавровими (рис. 1) [33, 34].

Стикове з'єднання – зварне з'єднання двох плоских або трубних елементів, що прилягають один до одного торцевими поверхнями.

З'єднання внапусток – зварне з'єднання, в якому зварювані елементи розташовані паралельно і частково перекривають один одного.

Торцеве з'єднання – зварне з'єднання, в якому основні поверхні

прилягають одна до одної без перекриття торців.

Кутове з'єднання – зварне з'єднання двох елементів, розташованих під кутом один до одного і зварених у місці прилягання країв.

Таврове з'єднання – зварне з'єднання, в якому торець одного елемента прилягає під кутом до основної поверхні іншого елемента.

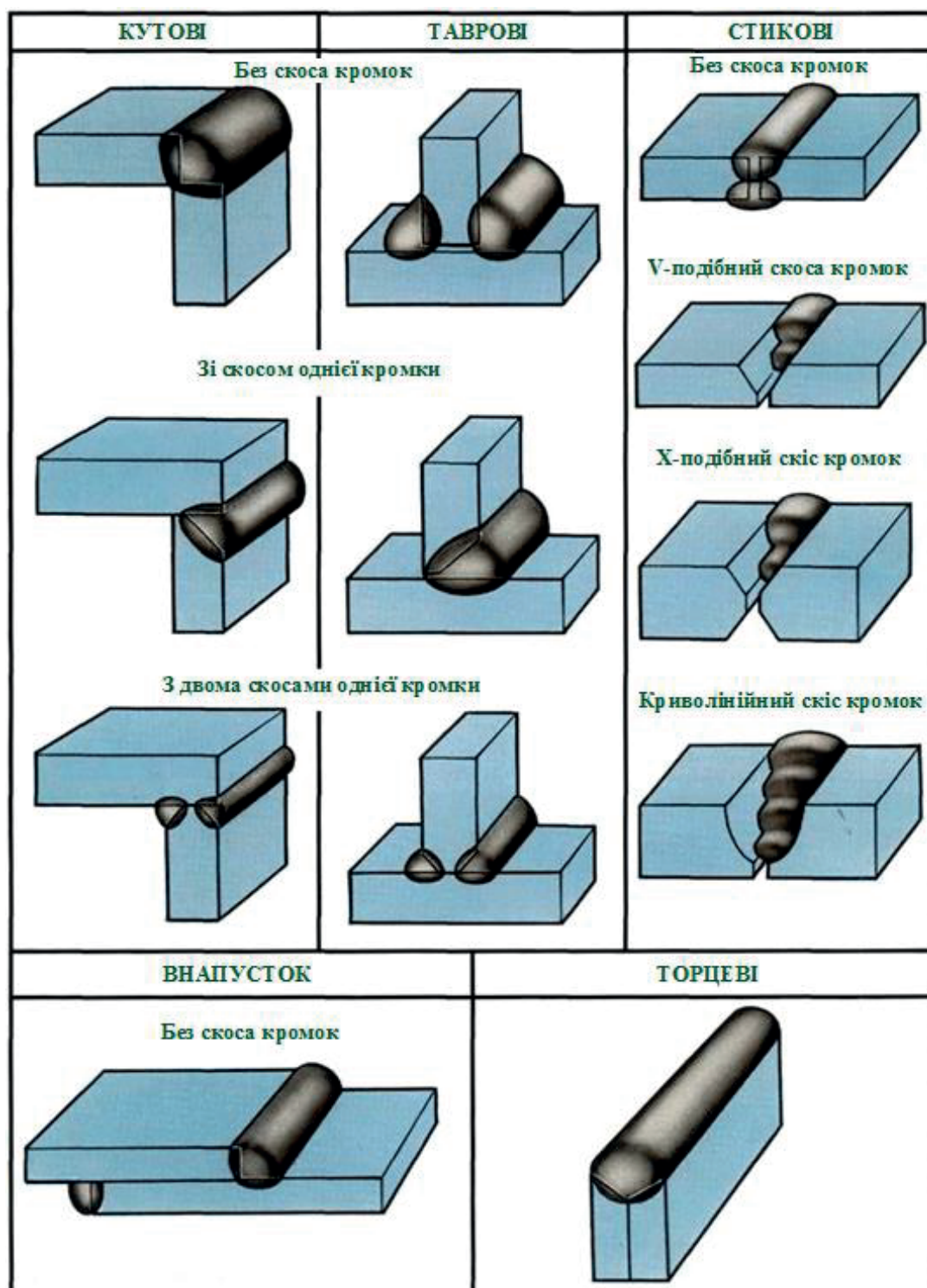


Рис. 1. Основні типи зварних з'єднань

### Зварні шви

Залежно від типу зварного з'єднання (рис. 3, 4), розрізняють стикові та кутові зварні шви (рис. 5) [35].

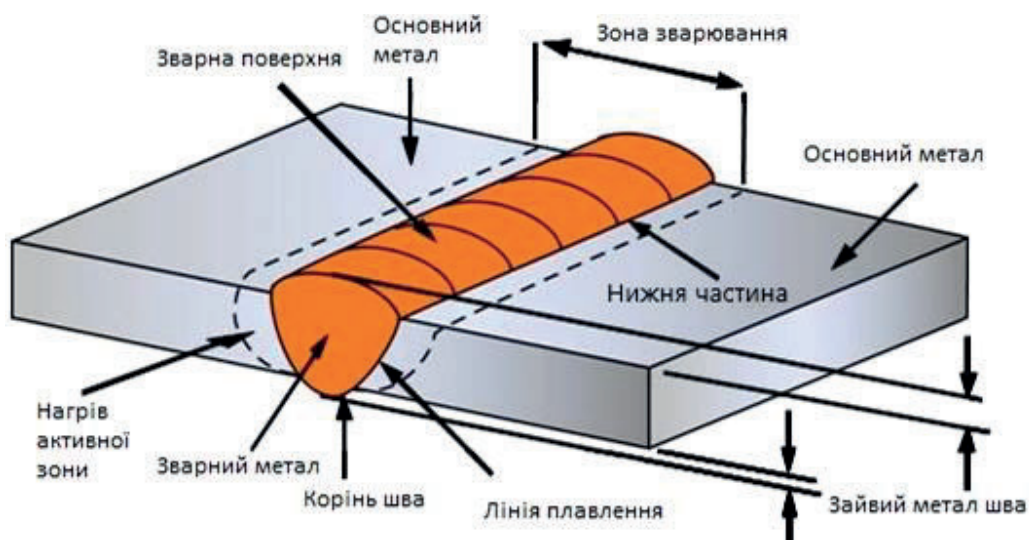


Рис. 3. Стикове зварне з'єднання та його параметри

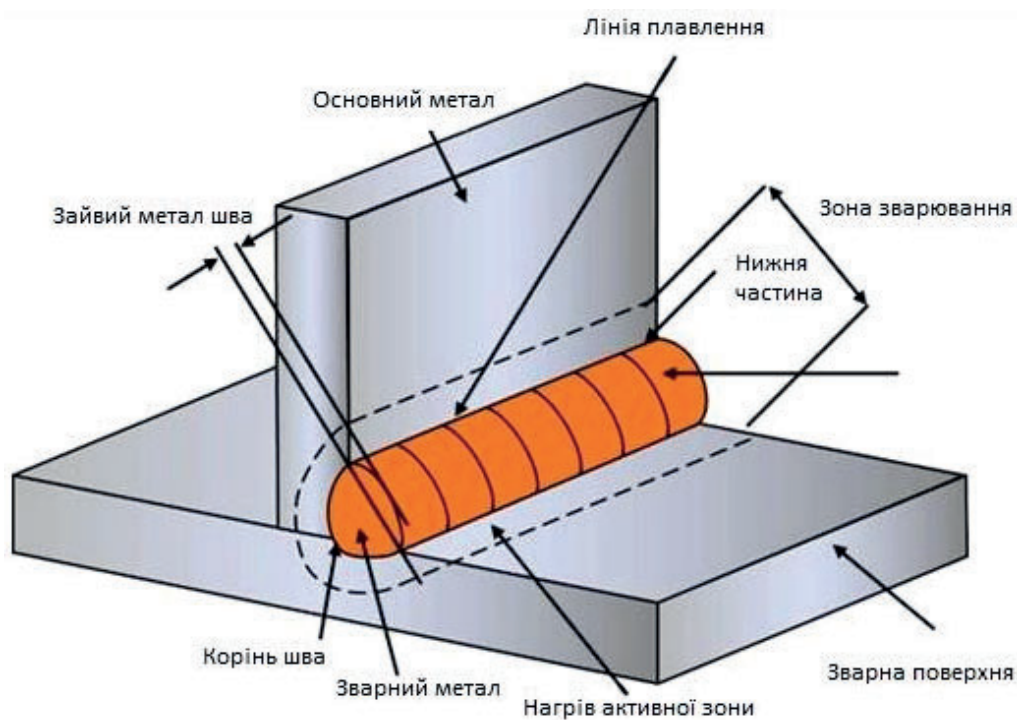


Рис. 4. Характеристики кутового шва

*Стиковий шов* – зварений шов стикового з'єднання плоских або трубних елементів характеризується (рис. 5):

- шириною шва,
- висотою підсилення,

- глибиною проварювання.

*Кутовий шов* – зварений шов кутового, таврового та з'єднання внапусток.

Характеризується (рис. 5):

- катетами,
- висотою шва.



Рис. 5. Стикові і кутові шви та їх геометричні параметри

За просторовим розташуванням зварні шви розрізняють: у нижньому, вертикальному, горизонтальному та в стельовому розташуванні зварного шва (рис. 6) [36]. (Демонструю на зразках зварних швів).



Рис. 6. Просторове розташування зварних швів

### *Зварні шви за виконанням*

За виконанням зварні шви бувають: неперервний односторонній, переривчастий односторонній, неперервний двосторонній, ланцюжковий двосторонній, шаховий та точковий двосторонній (рис. 7).

## Дефекти зварних швів

При зварюванні часто виникають дефекти у зварних швах. Основні з них приведені у табл. 1 [37].

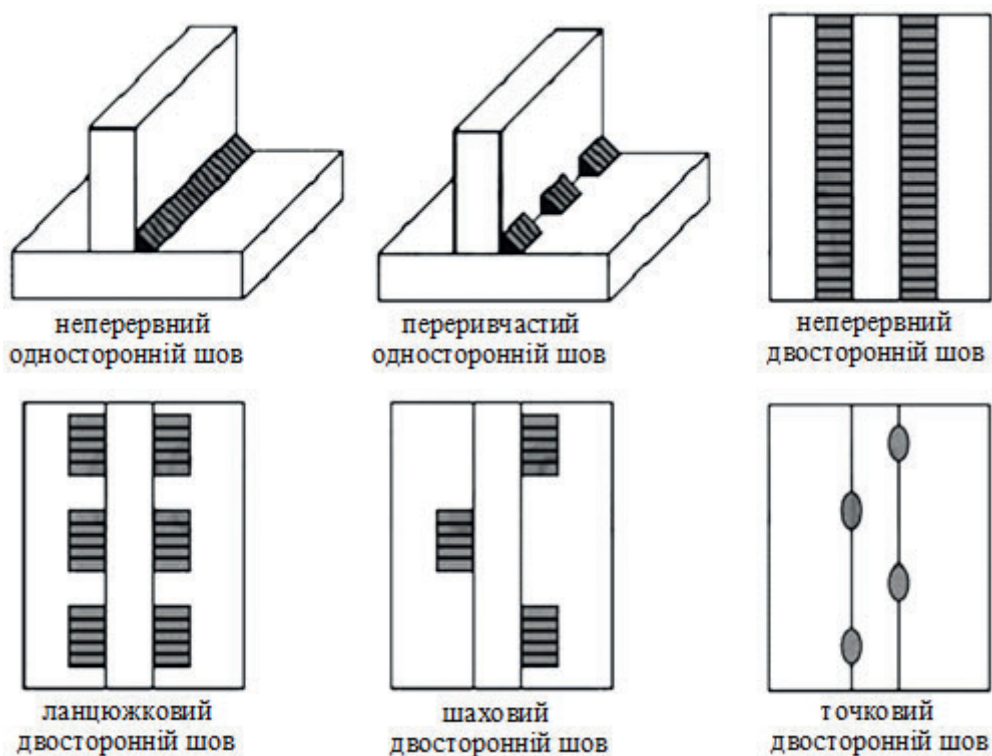
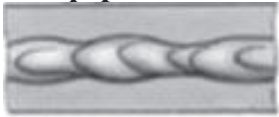
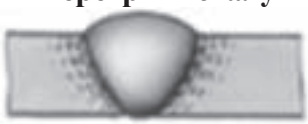


Рис. 7. Види зварних швів за виконанням

Таблиця 1

### Основні дефекти зварних швів

| Назва                                                                                                           | Причина                                                                                                                                                                        | Назва                                                                                                         | Причина                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Кратери</b><br>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- обрив дуги;</li> <li>- неправильне виконання кінцевої ділянки шва</li> </ul>                                                          | <b>Підрізи</b><br>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- велика довжина дуги;</li> <li>- великий зварювальний струм</li> </ul>                                                                                                   |
| <b>Пори</b><br>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- швидке охолодження шва;</li> <li>- забруднення кромки;</li> <li>- висока швидкість зварювання;</li> <li>- вологі електроди</li> </ul> | <b>Непроварювання</b><br> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- малий кут скосу кромки;</li> <li>- малий зазор між кромками;</li> <li>- забруднення кромки;</li> <li>- замалий струм;</li> <li>- велика швидкість зварювання</li> </ul> |
| <b>Шлакові вклучення</b><br> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- забруднення кромки;</li> <li>- малий зварювальний струм;</li> <li>- велика швидкість зварювання</li> </ul>                            | <b>Пропалювання</b><br>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- великий струм при малій швидкості зварювання;</li> <li>- великий зазор між кромками</li> </ul>                                                                          |

|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                         |                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Несплавлення</b></p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- забруднення кромки;</li> <li>- велика довжина дуги;</li> <li>- малий зварювальний струм;</li> <li>- велика швидкість зварювання</li> </ul> | <p><b>Нерівномірна форма шва</b></p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- нестабільний режим зварювання;</li> <li>- неточний напрям руху електрода</li> </ul>                       |
| <p><b>Наплив</b></p>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- занадто великий зварювальний струм;</li> <li>- велика довжина дуги;</li> <li>- неправильний напрям електрода</li> </ul>                    | <p><b>Тріщини</b></p>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- високі напруження в жорстко закріпленій конструкції;</li> <li>- високий вміст сірки та фосфору</li> </ul> |
| <p><b>Свищ</b></p>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- низька пластичність металу;</li> <li>- поява закалин;</li> <li>- напруження від нерівномірного нагріву</li> </ul>                          | <p><b>Перегрів металу</b></p>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- неправильний вибір теплової потужності;</li> <li>- завищені значення погонної енергії дуги</li> </ul>     |

## V. Практична частина

**Завдання 1.** В учнів на столі лежать пластини. За завданням вчителя вони з'єднують ці пластини в такі з'єднання: стикове, внапусток, таврове.

Зварене з'єднання складається з: (зразок зварного з'єднання)

- основного металу зварюваних між собою деталей, який нагрівається в процесі зварювання вище температури 1000°C;

- біляшовної зони, яка є основним металом деталей, що зварюються, які нагріваються в процесі зварювання понад 1000°C, але не нижче температури плавлення;

- зварного шва, який є литим сплавом основного і присадочного металу.

**Завдання 2:** учні складають за завданням вчителя з пластин зварні з'єднання: стикове, напуском, таврове і по черзі встановлюють у нижнє положення зварного шва, вертикальне, горизонтальне і стельове.

## VI. Повторення і закріплення пройденого матеріалу

Питання для учнів:

1. Назвіть види зварних з'єднань.

2. Назвіть два основних види зварних швів.
3. Назвіть зварні шви, виконані в просторовому розташуванні шва.
4. Які бувають зварні шви за зовнішнім виглядом?
5. За протяжністю зварні шви бувають?
6. За виконанням зварні шви бувають?
7. Які є зварні шви за числом шарів і проходів?
8. Назвіть основні дефекти зварних швів та їхні причини.

## **VII. Підведення підсумків уроку**

Враховуючи роботу учнів, виставляються оцінки.

## **VIII. Домашнє завдання**

Повторити вивчений матеріал. Розв'язати кросворд «Зварні шви».

### **2.4. Розробка кросворду «Зварні шви»**

#### **По горизонталі:**

1. Дефект зварного шва, який виникає через низьку пластичність металу, появу за калин, або напруження від нерівномірного нагріву.
2. Дефект зварного шва, який виникає при швидкому охолодження шва або забрудненні кромок.
3. Зварний шов без проміжків по довжині.
4. Зварний шов виконаний з однієї сторони.
5. Зварний шов, у якому зв'язок між з'єднуваними поверхнями заготовок здійснюється проплавами округлої форми.
6. Зварний шов стикового з'єднання.
7. Двосторонній переривчастий шов, у якого незварені ділянки на одній стороні стінки розташовані навпроти зварних ділянок шва з іншої сторони.
8. Положення зварного шва.
9. Зварне з'єднання, в якому торець одного елемента прилягає під кутом до основної поверхні іншого елемента.

|   |   |   |  |  |   |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   |   |
|---|---|---|--|--|---|--|---|--|---|-----|--|--|--|--|---|---|
|   |   | 2 |  |  |   |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   |   |
|   | 1 |   |  |  |   |  |   |  |   | 7 2 |  |  |  |  |   |   |
| 1 |   |   |  |  |   |  |   |  | 6 |     |  |  |  |  |   |   |
|   |   |   |  |  | 3 |  | 4 |  |   |     |  |  |  |  |   |   |
|   |   |   |  |  |   |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   |   |
|   |   |   |  |  |   |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   |   |
|   |   |   |  |  |   |  |   |  |   |     |  |  |  |  | 8 |   |
| 4 |   |   |  |  |   |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   |   |
|   |   |   |  |  | 3 |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   |   |
|   |   |   |  |  |   |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   | 9 |
|   |   |   |  |  | 5 |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   |   |
|   |   |   |  |  |   |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   |   |
|   |   |   |  |  |   |  | 6 |  |   | 5   |  |  |  |  |   |   |
|   |   |   |  |  |   |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   |   |
|   |   | 7 |  |  |   |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   |   |
|   |   |   |  |  |   |  |   |  |   | 9   |  |  |  |  |   |   |
| 8 |   |   |  |  |   |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   |   |
|   |   |   |  |  |   |  |   |  |   |     |  |  |  |  |   |   |

### По вертикалі:

1. Зварний шов виконаний з двох сторін.
2. Технологічний процес утворення нероз'ємного з'єднання між матеріалами при їх нагріванні.
3. Характеристичний параметр кутового шва.
4. Зварний шов з проміжками по довжині.
5. Дефект зварного шва, який виникає при обриві дуги або неправильному виконанні кінцевої ділянки шва.
6. Дефект зварного шва, який виникає при високому вмісті сірки та фосфору.
7. Дефект зварного шва, який виникає при неправильному виборі теплової потужності.
8. Зварний шов кутового, таврового та з'єднання напуском.

9. Зварне з'єднання двох плоских або трубних елементів, що прилягають один до одного торцевими поверхнями.

### Розв'язок кросворду

|    |    |    |   |   |    |   |    |   |    |    |     |   |   |    |   |    |
|----|----|----|---|---|----|---|----|---|----|----|-----|---|---|----|---|----|
|    |    | 23 |   |   |    |   |    |   |    |    |     |   |   |    |   |    |
|    | 1С | В  | И | Щ |    |   |    |   |    |    | 7П2 | О | Р | И  |   |    |
| 1Д |    | А  |   |   |    |   |    |   | 6Т |    | Е   |   |   |    |   |    |
| В  |    | Р  |   |   | 3Н | Е | 4П | Е | Р  | Е  | Р   | В | Н | И  | Й |    |
| О  |    | Ю  |   |   |    |   | Е  |   | І  |    | Е   |   |   |    |   |    |
| С  |    | В  |   |   |    |   | Р  |   | Щ  |    | Г   |   |   |    |   |    |
| Т  |    | А  |   |   |    |   | Е  |   | И  |    | Р   |   |   | 8К |   |    |
| 4О | Д  | Н  | О | С | Т  | О | Р  | О | Н  | Н  | І   | Й |   | У  |   |    |
| Р  |    | Н  |   |   | 3К |   | И  |   | А  |    | В   |   |   | Т  |   |    |
| О  |    | Я  |   |   | А  |   | В  |   |    |    |     |   |   | О  |   | 9С |
| Н  |    |    |   |   | 5Т | О | Ч  | К | О  | В  | И   | Й |   | В  |   | Т  |
| Н  |    |    |   |   | Е  |   | А  |   |    |    |     |   |   | И  |   | И  |
| І  |    |    |   |   | Т  |   | 6С | Т | И  | 5К | О   | В | И | Й  |   | К  |
| Й  |    |    |   |   |    |   | Т  |   |    | Р  |     |   |   |    |   | О  |
|    |    | 7Ш | А | Х | О  | В | И  | Й |    | А  |     |   |   |    |   | В  |
|    |    |    |   |   |    |   | Й  |   |    | 9Т | А   | В | Р | О  | В | Е  |
| 8В | Е  | Р  | Т | И | К  | А | Л  | Ь | Н  | Е  |     |   |   |    |   |    |
|    |    |    |   |   |    |   |    |   |    | Р  |     |   |   |    |   |    |

## Висновки

В процесі написання магістерської роботи:

1) З'ясовано, що сучасні методи з'єднання деталей зварюванням поділяють на дві групи: зварювання плавленням (так зване зварювання у рідкій фазі) та зварювання тиском (зварювання у твердій фазі). У першому випадку розплавлений метал з'єднуваних частин з'єднується в одне ціле в результаті розплавлення і змочування в зоні зварювання та взаємного розчинення матеріалу, без прикладання зовнішніх сил. У другому випадку для з'єднання частин без розплавлення потрібне прикладання значних зусиль.

2) Охарактеризовано суть процесів з'єднання елементів металевих конструкцій зварюванням та паянням. Здійснено аналіз теоретичних основ процесів зварювання та паяння. З'ясовано особливості традиційних та спеціальних способів зварювання. Вивчено та проаналізовано основні типи дефектів зварних з'єднань.

3) Розроблено методичні матеріали вивчення основ зварювального виробництва та паяння в 11 класі технологічного профілю. Зокрема розширені конспекти уроків та кросворд, що сприятиме ефективному засвоєнню учнями технологій зварювання і паяння, усвідомленню їхнього значення у житті сучасного суспільства, сферами практичного застосування; сприятиме формуванню технологічної культури; розвиватиме пізнавальний інтерес до наукомістких технологій.

### Список використаних джерел

1. ГОСТ 2601-84 Сварка металлов. Термины и определения основных понятий. М.: Изд-во стандартов, 1987. 52 с.
2. Ластовиря В.Н, Родякина Р.В. Физические процессы и явления в сварочной технике: учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 160 с.
3. Овчинников В.В. Современные виды сварки: учебн. пособ. для студентов среднего профессионального образования. 5-е изд. М.: издательский центр «Академия», 2016. 208 с.
4. Нигора В.М., Криворотько В.М., Ковальова Н.І. Рознімні та нерознімні з'єднання деталей: навч. посібн. К.:НУХТ, 2014. 219 с.
5. Каракозов Э.С. Сварка давлением. М.: Машиностроение. 1986. 276 с.
6. Васильев В.И., Ильященко Д.П., Павлов Н.В. Введение в основы сварки. ЮТИ. Томск: Издательство ТПУ, 2011. 317 с.
7. Гаспарян В.Х., Денисов Л.С. Электродуговая и газовая сварка: учебное пособие. Минск: Высшая школа, 2013. 302 с.
8. Тимошенко В.П., Радченко М.В. Ручная дуговая сварка. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 264 с.
9. Савуляк В.І., Осадчук А.Ю. Ручне електродугове зварювання. Навч. посібн. Вінниця: ВНТУ, 2004, 130 с.
10. Автоматическая дуговая сварка под слоем флюса: методические указания к практической работе / В.Д. Александров [и др.]. М.: МАДИ, 2014. 29 с.
11. Техника и технология ручной дуговой сварки (наплавки) неплавящимся электродом в защитном газе / А.А. Черепяхин, Р.А. Латыпов, Г.Р. Латыпов, Л.П. Андреева. М.: КНОРУС, 2021. 198 с.
12. Виноградов В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки. Учебн. для проф. учеб. заведений. 4-е изд. М.: Высшая школа, 2001. 319 с.
13. Овчинников В.В., Гуреев М.А. Технология дуговой и плазменной сварки и резки металлов. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 240 с.

14. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. СПб: Изд-во Политехи, ун-та, 2013. 406 с.
15. Променеві способи зварювання і різання конструкційних матеріалів. URL: <https://stud.com.ua/157939/tehnika/>
16. Алешин Н.П., Лысак В.И., Лукьянов В.Ф. Современные способы сварки: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2011. 59 с.
17. Лазерная сварка. URL: <https://metallmaster.org/shkola-svarschika/lazernaya-svarka-princip-raboty-tekhni.html>
18. Игнатов А.Г., Козлов А.В., Скрипченко А.И. и др. Лазерное технологическое оборудование для обработки материалов. Л.: ЦНИИ РУМБ. 1988. 118 с.
19. Игнатов А.Г., Скрипченко А.И. Лазерное технологическое оборудование для обработки материалов. Технологические особенности и эффективность применения. Обзор. СПб: ЛазерИнформСервис, 2005.
20. Игнатов А.Г., Суздаев И.В. Состояние и перспективы применения лазерного технологического оборудования. *Судостроительная промышленность. Серия: Сварка*. 1989. Вып. 7. С. 3-18.
21. Игнатов А.Г., Козлов А.В., Скрипченко А.И. и др. Лазерная сварка со сквозным проплавлением сталей различных классов. *Автоматическая сварка*. 1987. №9. С. 26-29.
22. Закономерности импульсно-периодических режимов глубокого проплавления металлов лазерным излучением / Арутюнян Р.В. и др. Препринт ИАЭ № 4137/16. М.: ИАЭ им.Курчатова. 1985.
23. Игнатов А.Г., Игнатов В.А., Козлов А.В. и др. Проплавление металлов непрерывным излучением СО<sub>2</sub>-лазера. *Судостроительная промышленность. Серия: Сварка*, 1987. Вып. 3. С. 3-19.
24. Игнатов А.Г. Лазерная сварка сталей мощными СО<sub>2</sub>-лазерами. *Технологическое оборудование и технологи. Фотоника*. 2008. №6. С. 10-17.
25. Каракозов Э.С. Сварка давлением. М.: Машиностроение. 1986. 276 с.

26. Сварка трением, сущность, виды и схемы сварки. URL: <https://taina-svarki.ru/sposoby-svarki/svarka-davleniem/svarka-treniem-vidy-primenenie-preimushchestva-i-nedostatki.php>

27. Ультразвукове зварювання. URL: [http://nazvayzky.blogspot.com/p/blog-page\\_32.html](http://nazvayzky.blogspot.com/p/blog-page_32.html)

28. Зварювання вибухом: технологія і схема. URL: <http://поради.pp.ua/dim/6486-zvaryuvannya-vibuhom-tehnologiya-shema.html>

29. Паяння матеріалів: підручник / Г.В. Єрмолаєв та ін.; за загальною редакцією В.Ф. Хорунова і В.Ф. Квасницького. Миколаїв: НУК, 2015. 340 с.

30. Чеботарев М.И., Лихачев В.Л., Тарасенко Б.Ф. Сварочное дело. Пайка. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 104 с.

31. Биковський О.І., Пінковський І.В. Довідник зварника. Київ: Техніка, 2002. 336 с.

32. Кохан Й. Як паяти паяльником. Навчально-методичний посібник. URL: <https://naurok.com.ua/navchalno-metodichniy-posibnik-yak-payati-payalnikom-na-riznih-prikladah-payki-202853.html>

33. Види зварних з'єднань і типи зварних швів. URL: <https://studfile.net/preview/5403529/page:95/>

34. Основні види зварних з'єднань і швів. URL: <https://zavodilov.ru/uk/rentabelnost/klassificiruyutsya-svarnye-shvy-osnovnye-vidy-svarnyh-soedinenii-i-shvov-po/>

35. Катети зварних швів: характеристика і властивості. URL: <https://ukr.mentorbizlist.com/3894993-leg-welded-seams-characteristics-and-properties>

36. Нікольчук Д.В. Електродугове зварювання. Ілюстрований словник термінів і понять. URL: [http://nikoldm.blogspot.com/2017/03/blog-post\\_17.html](http://nikoldm.blogspot.com/2017/03/blog-post_17.html)

37. Троицкий В.А., Радько В.П. Дефекты сварных соединений и средства их обнаружения. К.: Вища школа, 1983. 242 с.