

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

---

Кафедра технології конструкційних матеріалів та  
матеріалознавства

## ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

методичні вказівки до занять з навчальної практики з дисципліни  
"Технологія конструкційних матеріалів" для студентів факультетів  
конструювання та дизайну, механіко –технологічного,  
лісогосподарського та навчально-наукового інституту енергетики,  
автоматики і енергозбереження



Київ – 2020

УДК 621.91

У посібнику наведені: суть і призначення процесу зварювання, класифікація методів зварювання та зварних швів, зварювальних агрегатів, обладнання та інструментів; характеристики зварювальних матеріалів і вимоги техніки безпеки при виконанні зварювальних робіт.

**Укладачі:** Є.Г. Афтанділянц, О.В. Зазимко, Г.М. Похиленко

**Рецензенти:** професор Ю. О. Ромасевич та доцент А. В. Новицький

**Навчальне видання**

**Зварювання металів і сплавів**

Методичні вказівки до занять з навчальної практики з дисципліни "Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство" для студентів факультетів конструювання та дизайну, механіко –технологічного, лісогосподарського та навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енергозбереження.

**Укладачі:** АФТАНДІЛЯНЦ Євгеній Григорович, ЗАЗИМКО Оксана Володимірівна, ПОХИЛЕНКО Геннадій Миколайович

**Відповідальний за випуск:** завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів та матеріалознавства Є.Г. Афтанділянц.

Зав. Видавничим центром НАУ А.П. Колесніков

Видавничий центр НУБіП.  
03041, Київ, вул. Героїв Оборони, 15.

## **Вступ**

Методичний посібник складений відповідно до робочої програми навчальної практики з дисципліни "Технологія конструкційних матеріалів", діючих державних стандартів та існуючих методик проведення практичних занять з розділу "Зварювання металів і сплавів". Технічні терміни та інформаційні матеріали з літературних джерел подані в перекладі українською мовою з відповідними посиланнями.

У посібнику наведені: суть і призначення процесу зварювання, класифікація методів зварювання та зварних швів, зварювальних агрегатів, обладнання та інструментів; характеристики зварювальних матеріалів і вимоги техніки безпеки при виконанні зварювальних робіт.

По завершенні практичних занять студент повинен:

- **знати** технологічні процеси зварювання, класифікацію методів зварювання та зварних швів, зварювальні агрегати, обладнання та інструменти; характеристики зварювальних матеріалів і вимоги техніки безпеки при виконанні зварювальних робіт
- **уміти** розробляти технології зварювання, працювати на зварювальних агрегатах та пристроях для визначення властивостей зварних швів, вибирати зварювальні матеріали у відповідності до умов роботи зварних швів; виконувати основні операції зварювання.

## **Вимоги техніки безпеки при виконанні практичних занять**

*Перед початком роботи необхідно:*

- виконати всі вимоги, що пов'язані з підготовкою виготовлення зварних швів;
- оглянути робоче місце та прибрати з нього все зайве, що заважає роботі;
- привести в порядок робочий одяг;
- перевірити наявність і справність запобіжних і захисних пристроїв.

*Категорично забороняється пуск обладнання та пристроїв без дозволу навчального майстра!*

1. При роботі на треба обов'язково користуватися захисними окулярами.
2. Забороняється стояти в площині обертання ріжучого інструменту, абразивного круга, патрона.
3. Не можна торкатись руками інструмента та заготовки в процесі обробки та проводити вимірювання під час роботи обладнання.
4. При роботі на верстатах оброблювана деталь повинна бути надійно закріплена. Тримати деталь руками забороняється.
5. Не можна видаляти стружку руками.
6. При поразці електричним струмом необхідно негайно, не торкаючись постраждалого, виключити рубильником струм первинної мережі. Постраждалому зробити штучне дихання.
7. Не доторкатися голими руками до струмоведучих частин верстатів і обладнання.
8. Одяг і взуття повинно відповідати умовам виконуваних робіт.
9. Під час зварювання металу без дозволу майстра не наближатися до трансформатору та ацетиленових генераторів.
10. Зварювання робити тільки в спецодязі.
11. При зарюванні, усім, крім зварювальників знаходитися поза зоною зварювання.
12. Для запобігання ударам у живіт, груди або в обличчя ручки інструменту під час роботи повинні бути збоку, а не проти тулуба.
13. Стежити за тим, що під час зварювання металу ніхто не стояв близько, особливо в тому місці, куди може відлетіти рідкий метал.
14. Забороняється класти на робоче місце сторонні предмети, торкатися або прибирати виливки руками без спеціального пристосування або інструмента.

15. Обслідувати всі місця, куди можуть відлетіти частки рідкого або розігрітого металу і визвати горіння при зварюванні металу.

16. Впевнитися, що після роботи не залишилося тліючих предметів (ганчір'я, підлоги, спецодягу та інше).

17. Прибрати робоче місце.

## 1. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

### 1.1. МЕТАЛУРГІЙНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

*Зварювання* – це процес отримання нероз’ємного з’єднання деталей машин, конструкцій, споруд при їх місцевому або загальному нагріванні, пластичному реформуванні з метою установаження міжатомних сил зв’язку в місці їх контакту.

Міжатомні сили зв’язку починають діяти при зближенні атомів з’єднуваних матеріалів на відстані порядку  $4 \cdot 10^{-10}$  м, тобто на відстані, що приблизно дорівнює параметрам кристалічних ґраток цих матеріалів. Нагрівання зварюваних поверхонь до розплавленого або пластичного стану і прикладання механічного зусилля стискання сприяє процесу зближення.

Пластичні метали (алюміній, мідь, свинець і ін.) та сплави здатні утворювати зварні з’єднання в результаті тільки сумісної пластичної деформації частин без застосування зовнішніх джерел тепла.

#### Умови зварювання заліза

Режими зварювання технічно заліза по тиску і температурі показані на рисунку 1.

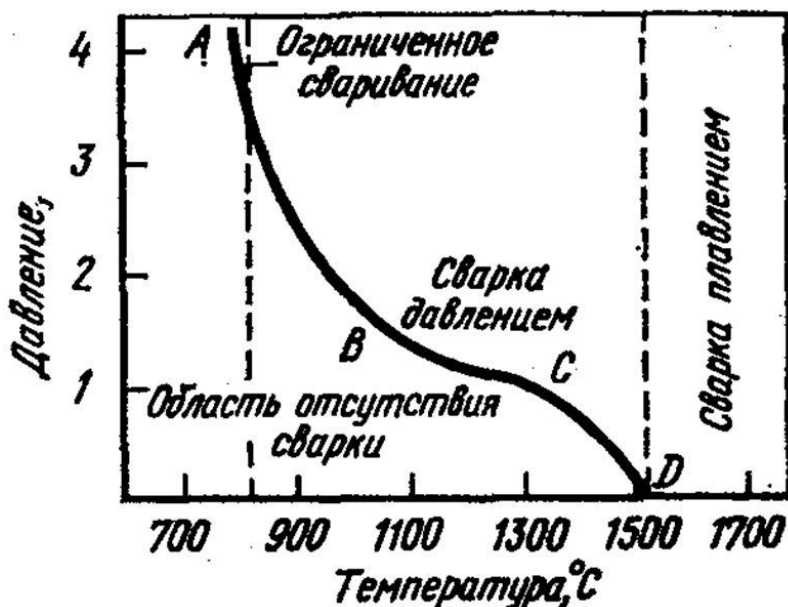


Рис. 1. Режими зварювання технічно заліза по тиску і температурі.

Вище кривої ABCD знаходиться ділянка, в якій якість зварки виходить гарною, а нижче за криву — ділянка, де зварка зовсім не виходить або виходить низької якості.

При температурах нижчих від температури плавлення заліза для зварки потрібен і тиск, і нагрівання (ділянка зліва від точки D), а при більш високих температурах тиск для виконання зварки не потрібен (ділянка правіше від точки D – зварка плавленням).

### **Класифікація видів зварювання**

За *ступенем механізації* зварювання поділяють на **ручне, напівавтоматичне і автоматичне.**

За **технологічними ознаками** зварювання поділяють на зварювання *плавким або неплавким електродом, із захистом металу газом, флюсом або іншим способом.*

За **використанням виду введеної енергії** зварювання поділяють на *термічне, термомеханічне і механічне.*

**Термічне зварювання** ґрунтується на частковому плавленні елементів з'єднання. Кромки цих елементів (основний метал і додатковий (присадний) метал) нагрівають до рідкого стану та утворюють загальну зварювальну ванну. Метал зварювальної ванни твердіє після віддалення джерела теплоти та утворює зварний шов, який з'єднує зварювані елементи.

До термічного зварювання класу належать **дугове, електрошлакове, плазмово-променеве, індукційне, електронно-променеве, газове, термічне** та інші види зварювання.

**Термомеханічне зварювання** реалізується при нагріванні зварюваних деталей до пластичного стану або до початку плавлення і прикладанні механічних зусиль стискання. До цього класу належать **дугопресове, газопресове, контактне, дифузійне, індукційно-пресове** зварювання.

**Механічне зварювання** ґрунтується на використанні різних видів механічної енергії. До механічного класу належать **холодне зварювання, зварювання тиском, тертям, вибухом, ультразвукове.**

### **Структура зони зварного шву та зони термічного впливу**

При зварюванні плавленням під впливом теплоти дуги або газозварювального полум'я на зварюваному металі утворюється ванна рідкого металу (зварювальна ванна), що є сплавом основного і присадного металу. Температура металу зварювальної ванни

знижується при відведенні теплоти з ванни та в ній починається процес кристалізації (рис. 2). Центрами кристалізації є нерозплавлені кристали основного металу на межі зварювальної ванни. Кристали ростуть у напрямі, зворотному відведенню теплоти, тобто від стінок основного металу до центра шва. Первинна структура зварного шва крупнокристалічна, дендритна та має форму стовпчастих кристалів

**Зоною термічного впливу** називається частина основного металу, яка близько прилягає до металу зварного шва. При дуговому зварюванні маловуглецевих сталей зона термічного впливу складає 6 – 10 мм. При газовому зварюванні – 25 – 28 мм. При зварюванні сталей з підвищеним вмістом вуглецю або легуючих елементів можливе утворення гартівних структур і тріщин.

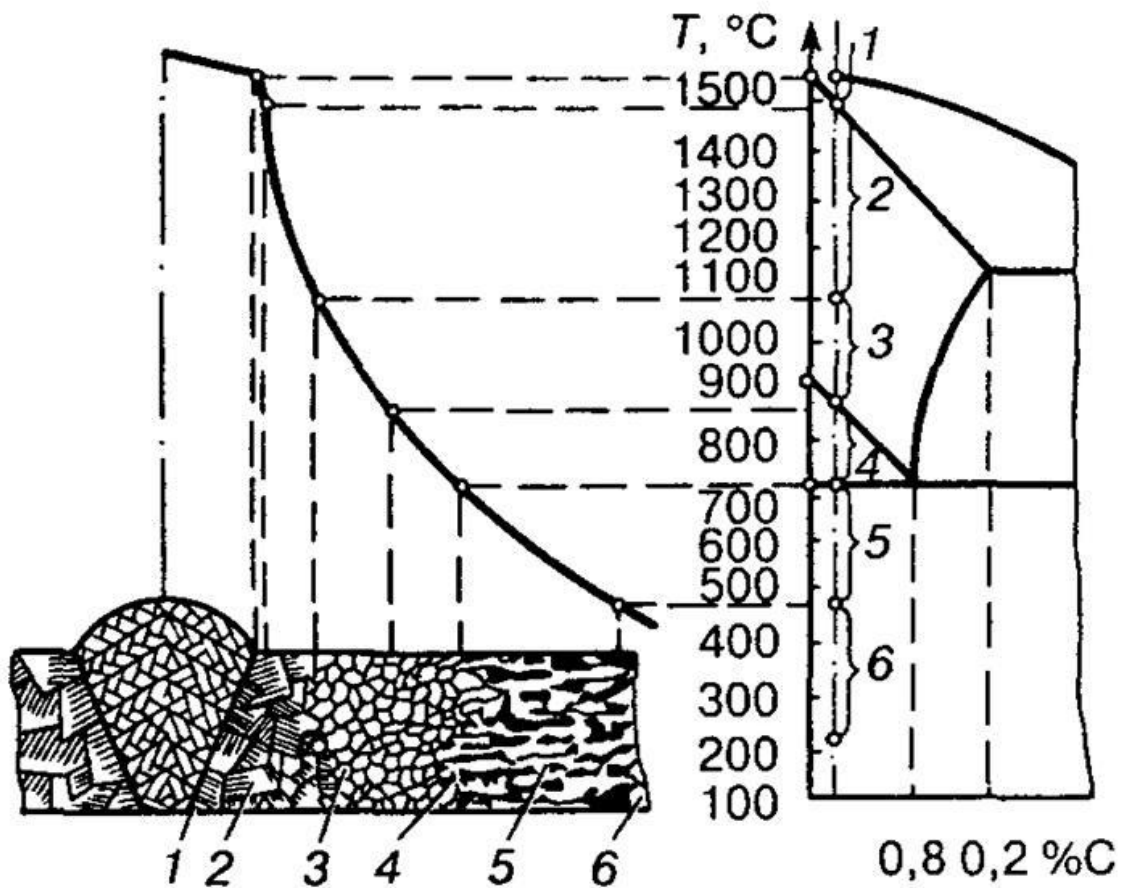


Рис. 2. Зони зварного шву та термічного впливу:

- 1 – сплавлення основного та присадного металу;
- 2 – перегріву; 3 – нормалізації;
- 4 – неповної перекристалізації;
- 5 - рекристалізації; 6 – синьоламкості



## **Структура зони зварного шву та зони термічного впливу**

- 1 – зона сплавлення основного металу**, нагрітого до температури плавлення з розплавленим присадним металом. Ця ділянка має крупнокристалічну будову і незначні лінійні розміри;
- 2 – зона перегріву**. Температура нагрівання металу становить 1100-1500°C. Вона характеризується крупнозернистою або зернисто-голчастою структурою, яка має знижені механічні властивості;
- 3 – зона нормалізації**. Метал нагрівається до 900-1100°C і має дрібнокристалічну будову та підвищені механічні властивості;
- 4 – зона неповної перекристалізації**. Температура від точки  $A_{c1}$  до  $A_{c3}$ . Структура характеризується тим, що поряд з великими зернами, які ще не перекристалізувалися, утворюються нові, дрібні зерна, які зазнали перекристалізації;
- 5 – зона рекристалізації**. Температура від 450 до 727°C. Укрупнені зерна спостерігаються;
- 6 – зона синьоломкості**. Температура від 200 до 450°C. Структура є аналогічною структурі основного металу.

## **1.2. ЕЛЕКТРИЧНЕ ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ**

### **Основні способи дугового електрозварювання**

**Дугове зварювання неплавким вугільним електродом (спосіб Бенардоса).**

Дуга постійного струму при прямій полярності (мінус на електроді, плюс – на виробі) горить між вугільним або графітовим електродом 3 і зварюваним виробом 1 (рис. 3). Дуга діє на основний метал прямо, а на присадний (2) – побічно.

Зварювання за способом Бенардоса застосовують при наплавленні порошковими твердими сплавами деталей, які швидко спрацьовуються, і при виправленні дефектів у чавунних і бронзових виливках.

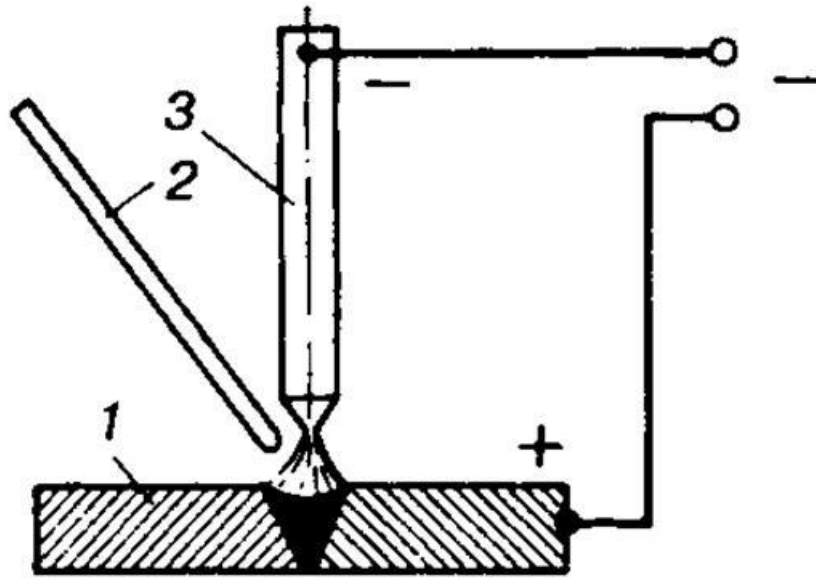


Рис. 3. Схема дугового зварювання неплавким вугільним електродом

**Дугове зварювання плавким металевим електродом (спосіб Слав'янова).**

Дуга постійного або змінного струму горить між плавким металевим електродом 2 і зварюваним виробом 1, які ввімкнені в зварювальне коло (рис. 4).

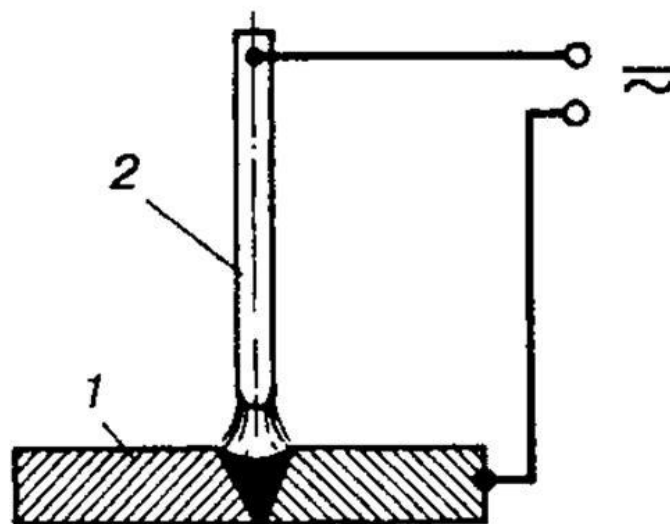


Рис. 4. Схема дугового зварювання плавким металевим електродом

Електрод нагрівається інтенсивніше та плавиться доволі швидко. Електрод є одночасно й присадним металом, який постійно поповнює зварювальну ванну. Спосіб Слав'янова займає одне з перших місць за обсягом промислового застосування серед інших способів дугового зварювання.

### **Дугове зварювання плавкими металевими електродами з використанням трифазної дуги**

При зварюванні трифазною дугою два ізольованих один від одного електроди 2 і зварюваний виріб 1 вмикають в зварювальне коло до різних фаз трифазного струму. Дуга збуджується між кожним електродом та виробом і електродами та три дуги виникають одночасно (рис. 5).

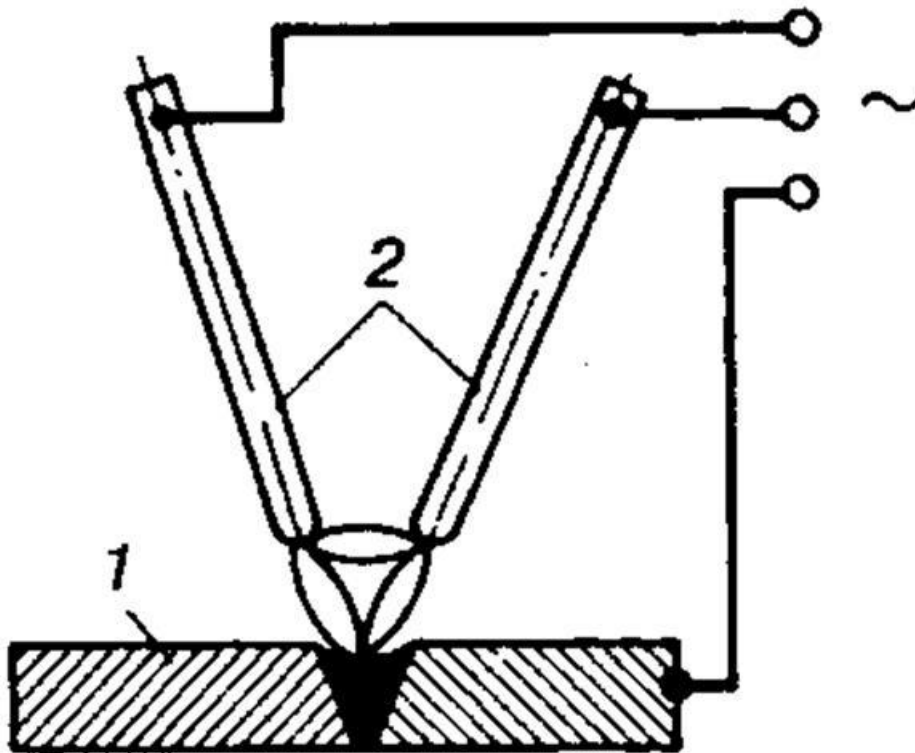


Рис. 5. Схема дугового зварювання плавкими металевими електродами з використанням трифазної дуги

Дві дуги діють прямо, а одна дуга діє побічно на кожний з електродів і на основний метал. Продуктивність зварювання трифазною дугою в 2-3 рази перевищує дугове зварювання за способом Слав'янова. Цей спосіб в основному використовують при

автоматичному зварюванні металу великої товщини.

### Електроди для дугового зварювання

Електроди виготовляють зі сталевого зварювального дроту. Зварювальний дріт можуть виготовляти з шести марок низьковуглецевої сталі, 30 – з легованої і 39 – з високолегованої сталі. Усі марки сталі мають обмежений вміст вуглецю, сірки і фосфору. Дугове зварювання стержнями зі сталевого дроту (голими електродами) не застосовують внаслідок нестійкого горіння дуги і великого насичення металу шва киснем і азотом повітря.

Для підвищення стійкості горіння дуги і захисту розплавленого металу від взаємодії з повітрям на дріт 5 (рис. 6.) наносять покриття 4, що складається зі стабілізуючих (сполуки лужних (калію, натрію) і лужноземельних (кальцію) металів), клейових (рідке скло), шлакоутворюючих, легуючих і розкислюючих речовин.

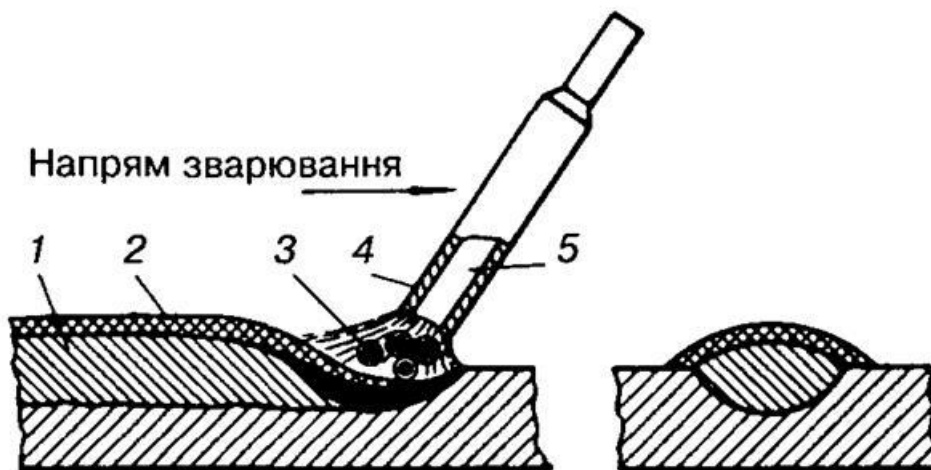


Рис. 6. Схема зварювання електродом з покриттям: 1 – метал шва; 2 – шлакова кірка; 3 – краплини електродного металу в дузі; 4 – покриття; 5 - дріт

### Склад покриття електродів

**Стабілізуючими речовинами** є сполуки лужних (калію, натрію) і лужноземельних (кальцію) металів, які іонізуються в дузі легше, ніж кисень і азот повітря, та поліпшують стійкість горіння дуги.

**Легуючими елементами** є хром, марганець, вольфрам,

молібден та інші. Їх вносять в електродні покриття при зварюванні легованих сталей і одержання стійких до спрацювання наплавов.

**Розкислювачі елементи** (Mn, Ti, Si та інші) мають більшу спорідненість з киснем, ніж залізо. Вони відновлюють залізо з оксидів, утворюють нерозчинні в залізі оксиди відповідних елементів, які спливають у шлак.

Розкислювачі та легуючі елементи вносять у покриття переважно у вигляді подрібнених феросплавів.

**Шлакоутворювальними речовинами** є оксиди ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ), карбонати ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ) та фториди ( $\text{CaF}_2$ ), які вносять у покриття у вигляді мінералів (кремнезему, мармуру) і руд (титанової, манганової). Вони утворюють шлак при плавленні покриття. Шлак покриває краплини з електродного металу в дузі та зварювальну ванну на металі 1 шва та захищають розплавлений метал від азоту і кисню повітря. Шлакова кірка 2 відділяється від поверхні шва після остигання шва та шлаку.

Органічні сполуки (наприклад, целюлозу) вносять в електродні покриття для *газового захисту*. Ці сполуки утворюють навколо дуги під час згоряння захисні гази ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) та захищають розплавлений метал від взаємодії з повітрям.

**Виготовлення покриття електродів.** Кускові матеріали шихти покриття подрібнюють, розмелюють, просіюють і змішують з рідким склом. Одержану масу наносять опресуванням на електродні стержні. Отримані електроди просушують і прокалюють

### **Класифікація електродних покриттів за хімічним складом**

Електродні покриття поділяють за хімічним складом на **кислі й основні**.

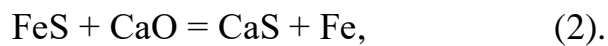
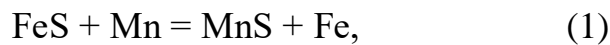
Кислотні оксиди  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  та інші переважають у шлаках **кислих покриттів**. Марганцева та титанова руди входять у покриття цих електродів у вигляді концентратів рутилу (понад 90 % двооксиду титану), польового шпату, граніту, а також газоутворюючі речовини та розкислювачі, що скріплені рідким склом.

Електроди з кислим покриттям використовують для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей. Електроди з рутиловим покриттям мають найліпші зварювальні властивості (хорошу стабільність дуги, можливість здійснювати зварювання як на постійному, так і змінному струмі, якісне формування металу шва та легке відділення від нього шлакової кірки).

### Основні електродні покриття

Основними компонентами є мармур, плавиковий шпат, розкислювачі і легуючі елементи. Стабілізуючими речовинами є кальцій і натрій або кальцій і калій. Кальцій входить до складу мармуру ( $\text{CaCO}_3$ ) і плавикового шпату ( $\text{CaF}_2$ ), а натрій і калій є складовими натрієвого ( $\text{Na}_2\text{O}\cdot n(\text{SiO}_2)$ ) чи калієвого ( $\text{K}_2\text{O}\cdot n(\text{SiO}_2)$ ) рідкого скла відповідно. Оксид вуглецю  $\text{CO}$  утворюється під час дисоціації мармуру та перешкоджає взаємодії розплавленого металу в дузі з навколишнім середовищем.

Електроди з основним покриттям сприяють легуванню наплавленого металу без значних втрат легуючих елементів. Основні шлаки сприяють очищенню металу шва від сірки і фосфору. Вміст сірки в металі зменшується за реакціями:



Сульфіди  $\text{MnS}$  і  $\text{CaS}$  мало розчиняються в металі, тому значна їх частина переходить у шлак.

Електроди з основним покриттям застосовують для зварювання відповідальних деталей і утворення зносостійких наплавок.

### Класифікація сталевих електродів за призначенням

Сталеві електроди за призначенням поділяють на 4 групи:

1. Для зварювання вуглецевих і легованих конструкційних сталей. 14 типів електродів передбачено залежно від границі міцності металу шву. Марки електродів – Э38, Э42, Э46, ..., Э150. Цифри означають гарантовану границю міцності шва у  $\text{кг}/\text{мм}^2$ ;

2. Для зварювання легованих теплостійких сталей встановлено 9 типів електродів залежно від хімічного складу наплавленого металу. Наприклад, Э-09МХ, Э-09Х1М, Э-09М та ін

3. Для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями передбачено 45 типів електродів. Наприклад, Э-12Х13, Э-10Х17Т, Э-10Х17Н13С4 та ін.;

4. Електроди для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями за хімічним складом наплавленого металу і призначенням поділено на 44 типи. Наприклад, для наплавлення деталей, які працюють в умовах ударних навантажень (Э-10Г2, Э-30Г2ХМ), для наплавлення штампів гарячого штампування (Э-

10Х2ГМ, Э-90Х4М4ВФ), для наплавлення металорізального інструменту (Э-105В6Х5М3Ф3).

### **Джерела струму для дугового зварювання**

**Постійний і змінний** струм застосовують для дугового зварювання.

**Джерелами постійного струму** є зварювальні генератори та випрямлювачі – селенові, германієві і силіцієві. Генератори постійного струму виготовляють стаціонарними і пересувними з приводом від електродвигуна і від двигуна внутрішнього згоряння.

При зварюванні змінним струмом використовують **трансформатори**. Зварювальні трансформатори простіші у виготовленні і в експлуатації, мають невелику масу і меншу вартість, більш високий ККД і значно довговічніші.

Джерела постійного струму для дугового зварювання виготовляють одно- і багатопостовими, а джерела змінного струму – однопостовими.

### **Вимоги до джерел зварювального струму**

Джерела зварювального струму мають забезпечувати легке запалювання і стійке горіння дуги, обмежувати струм короткого замикання, бути безпечними в роботі.

Напруга, що потрібна для запалювання дуги (напруга холостого ходу), має бути не нижчою за 30 – 35 В для джерел постійного струму і не меншою, ніж 50 – 55 В для джерел змінного струму та не перевищувати 80 В з міркувань безпеки. Для джерел постійного і змінного струму вона становить близько 60 – 80 В.

Напруга має бути в межах 18 – 30 В для стійкого горіння відкритої дуги.

Опір зварювального кола спадає до нуля, а зварювальний струм дуже зростає під час запалювання дуги. Напруга повинна знижуватись на затискачах джерела струму при збільшенні струму навантаження для обмеження струму короткого замикання.

Час відновлення напруги від моменту короткого замикання ( $\approx 0$ ) до 18 – 20 В, коли відбувається запалювання дуги, має бути меншим від 0,05 с.

### **Зварювальний трансформатор**

Зварювальний трансформатор знижує напругу мережі (220 або 380 В) до напруги холостого ходу (60 – 80 В). Трансформатор створює на дузі спадну зовнішню характеристику. Для цього дросельну

(реактивну) обмотку вмикають послідовно з дугою і вторинною обмоткою трансформатора або використовують трансформатори зі збільшенням магнітних потоків розсіювання. У витках дросельної обмотки індукується електрорушійна сила (ЕРС) самоіндукції під час проходження зварювального струму, яка має напрям, протилежний напрямку основної ЕРС трансформатора. Тому напруга, підведена до дуги, знижується від значення холостого ходу до 18...30 В під час горіння дуги і майже до нуля при короткому замиканні.

Застосовують дві схеми вмикання дросельної обмотки з трансформаторними.

### Схеми вмикання трансформатора

На першій схемі (рис. 7 а) первинна I і вторинна II обмотки знижувального трансформатора розміщені на залізному осердді 1, а дросельна обмотка III – на осердді 2 і становлять два окремо виконаних апарати.

При другій схемі вмикання (рис. 7 б) трансформаторні (I, II) і дросельна (III) обмотки розміщені на спільному залізному осердді і є одним апаратом. Частина осердя, на якій розміщені обмотки I і II, є трансформатор, а частина, на якій розміщена обмотка III, – дросель.

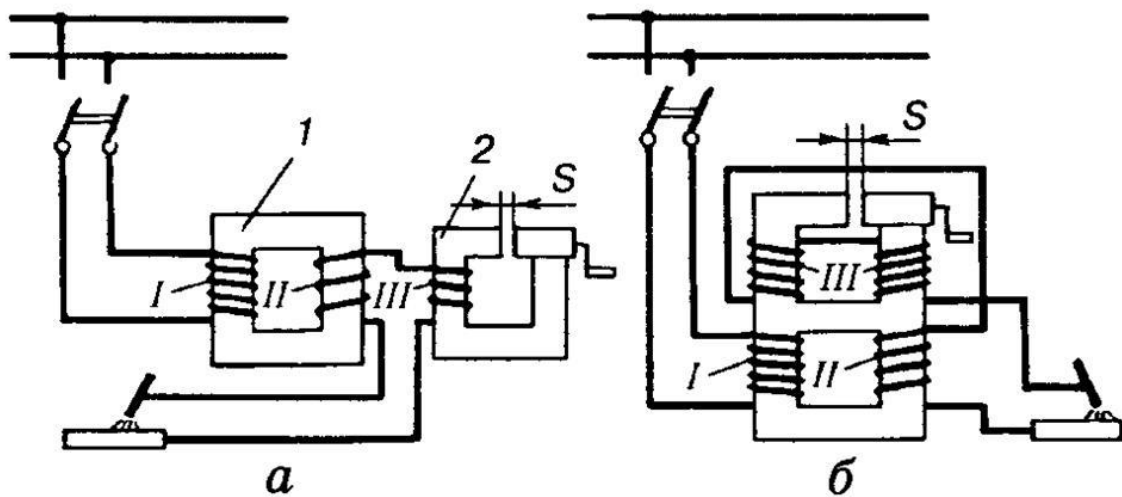


Рис. 7. Схеми вмикання трансформатора

Струм у трансформаторах цих двох типів регулюється зміною самоіндукції дроселя при збільшенні або зменшенні повітряного зазору  $S$  між рухомою і нерухомою частинами його осердя. Зі збільшенням зазору самоіндукція дроселя, яка залежить від магнітного потоку осердя, зменшується, а напруга на дузі і



зварювальний струм збільшуються. Зменшенням зазору зумовлюється зворотне явище.

### Однопостовий зварювальний генератор постійного струму

Генератор працює за принципом намагнічувальної дії паралельної і розмагнічувальної дії послідовної обмоток збудження (рис. 8). Генератор має обмотку 3, що підімкнена до головної щітки **b** і допоміжної щітки **c**, і обмотку 1, підімкнену до головних щіток **a** і **b**. Напряга між щітками **b** і **c** і магнітним потоком  $\Phi_n$ , що створюється обмоткою 3, яка підмикається до цих щіток, при холостому ході та при навантаженні залишаються сталими (генератор зі самозбудженням).

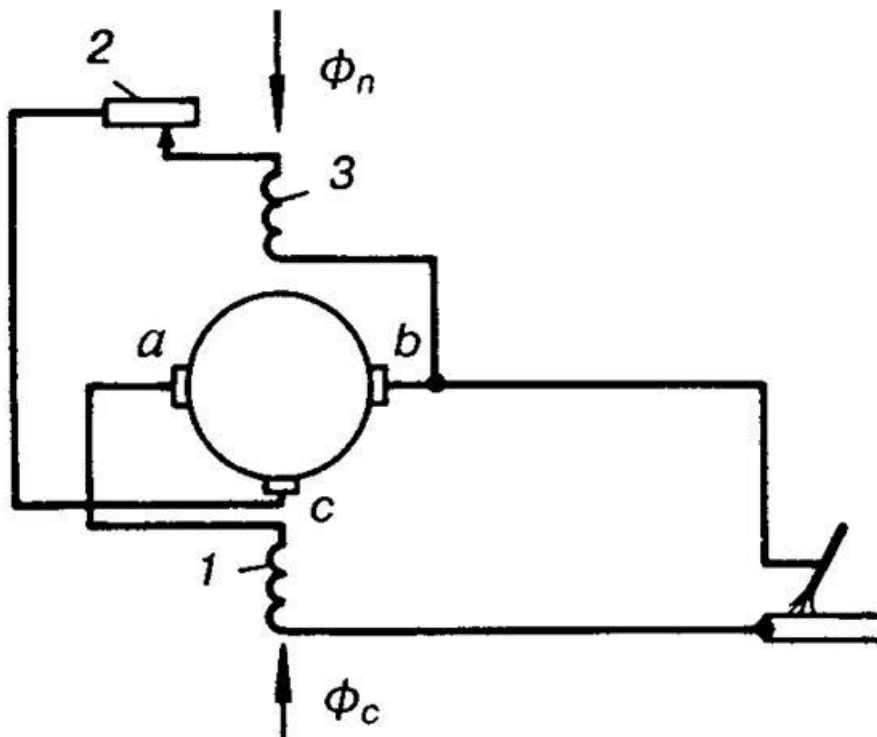


Рис. 8. Схема однопостового зварювального генератора постійного струму

При горінні дуги зварювальний струм проходить крізь обмотку 1, увімкнену так, що її магнітний потік  $\Phi_c$  спрямований проти магнітного потоку  $\Phi_n$ . Тому ЕРС генератора, яка індукується в обмотці якоря генератора результирующим магнітним потоком, знизиться, що зумовить зниження напруги на дузі.

При короткому замиканні потік  $\Phi_c$  майже дорівнюватиме потоку  $\Phi_n$ , тому результуючий магнітний потік і напруга на головних щітках а, б і на дузі також знизяться майже до нуля.

Зварювальний струм у генераторах цього типу регулюється зміною струму збудження паралельної обмотки за допомогою реостата 2 або зміною числа витків паралельної і серієсної обмоток.

### Багатопостовий зварювальний генератор постійного струму

Генератор має послідовну 1 і паралельну 3 обмотки збудження, які створюють магнітні потоки відповідно  $\Phi_c$  і  $\Phi_n$  одного напрямку, тому зовнішня характеристика у цих генераторах не спадна, а жорстка (рис. 9).

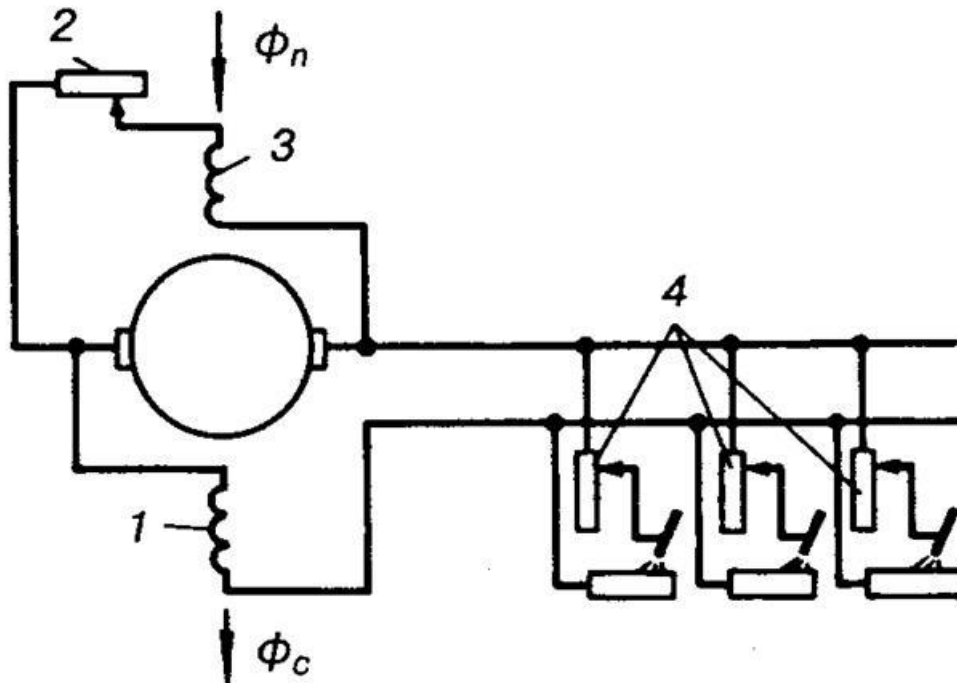


Рис. 9. Схеми багатопостового зварювального генератору постійного струму

Баластні реостати 4 вмикають послідовно з дугою для отримання спадної характеристики на дузі. При короткому замиканні втрата напруги на баластному реостаті майже дорівнює напрузі на затискачах генератора, і тому напруга на дузі спадає майже до нуля. Баластним реостатом регулюють також силу зварювального струму, а реостатом 2 змінюють напругу холостого ходу генератора.

**Зварювальними перетворювачами** називають зварювальні генератори, що встановлені на одному валу з двигунами.

**Зварювальні випрямлячі** складаються з напівпровідникових елементів – вентилів, що проводять струм тільки в одному напрямі. Селенові, германієві і силіцієві вентиля використовують для зварювальних випрямлячів.

**Випрямні установки** складаються з трансформатора і напівпровідникового випрямлювача. Всі випрямлювачі мають високий ККД і невеликі розміри, дають змогу плавно регулювати силу струму і забезпечують стійке горіння дуги. Подібно до зварювальних генераторів вони можуть бути одно- і багатопостовими, мати спадну або жорстку зовнішню характеристику.

### **Зварювальна дуга**

**Зварювальна дуга** – це потужний електричний розряд у газах, який супроводжується виділенням значної кількості теплоти і світла. Це процес перенесення електричних зарядів крізь іонізований повітряний проміжок. Іонізація газового проміжку зумовлена емісією з електронів катода (-).

Для розігрівання катода (-) між ним і анодом (+) роблять коротке замикання. Після відривання електрода від виробу з розігрітого катода, яким при зварюванні постійним струмом може бути і електрод, і виріб (при змінному струмі полярність повсякчасно змінюється), під дією електричного поля починається електронна емісія.

Електрони, що вилетіли з поверхні катода, спрямовуються до анода і, зіштовхуючись на своєму шляху з молекулами і атомами повітря, іонізують їх. Утворювані в повітряному проміжку негативні іони й електрони переміщуються до анода, а позитивні іони – до катода. На поверхні катода і анода відбуваються процеси нейтралізації заряджених частинок і перетворення електричної енергії в теплову.

### **Електричні властивості зварювальної дуги**

Основні параметри дуги – **напруга, струм і довжина дуги.**

Залежність між напругою і струмом дуги визначається вольт-амперною характеристикою, що може бути **спадною I, жорсткою II і зростальною III** (рис. 10).

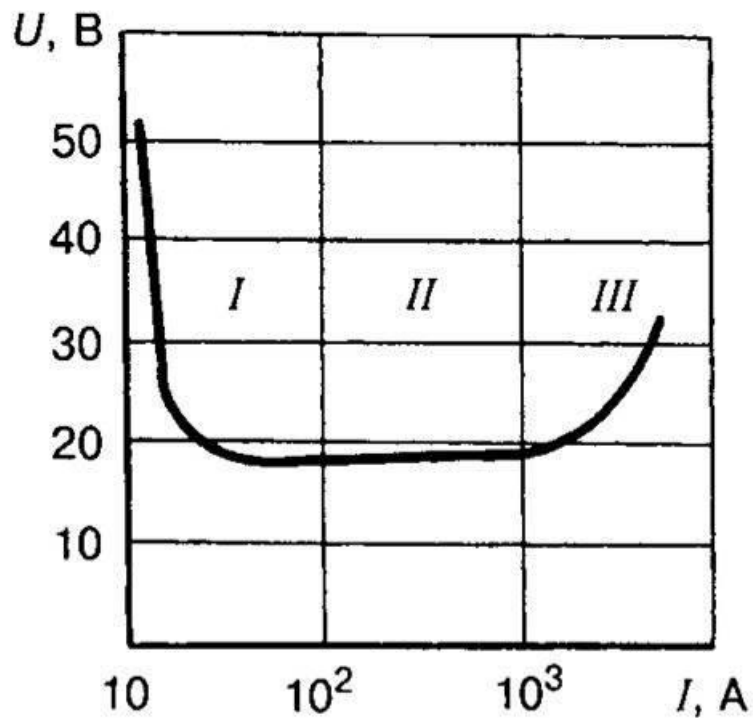


Рис. 10. Вольт-амперна характеристика дуги

Дугу з *жорсткою* характеристикою, при якій напруга на дузі не залежить від сили зварювального струму, застосовують найчастіше.

Дугу зі *зростальною* характеристикою застосовують при автома-тичному зварюванні під флюсом і під час зварювання в захисних газах плавким електродом. Дуга зі *спадною* характеристикою не стійка і має обмежене застосування

Залежність між напругою і довжиною дуги, яка має жорстку характеристику, визначається формулою:

$$U_d = a \cdot b \cdot l_d, \quad (3)$$

де  $U_d$  – напруга на дузі, В;  $l_d$  – довжина дуги, мм;

$a$  і  $b$  – коефіцієнти, які залежать від матеріалу електрода, складу газового середовища тощо. При зварюванні сталевими електродами в атмосфері повітря  $a = 10$ ,  $b = 2$ .

### Будова дуги та її теплові властивості

Зварювальна дуга складається з трьох частин: катодної, анодної і стовпа дуги (рис. 11).

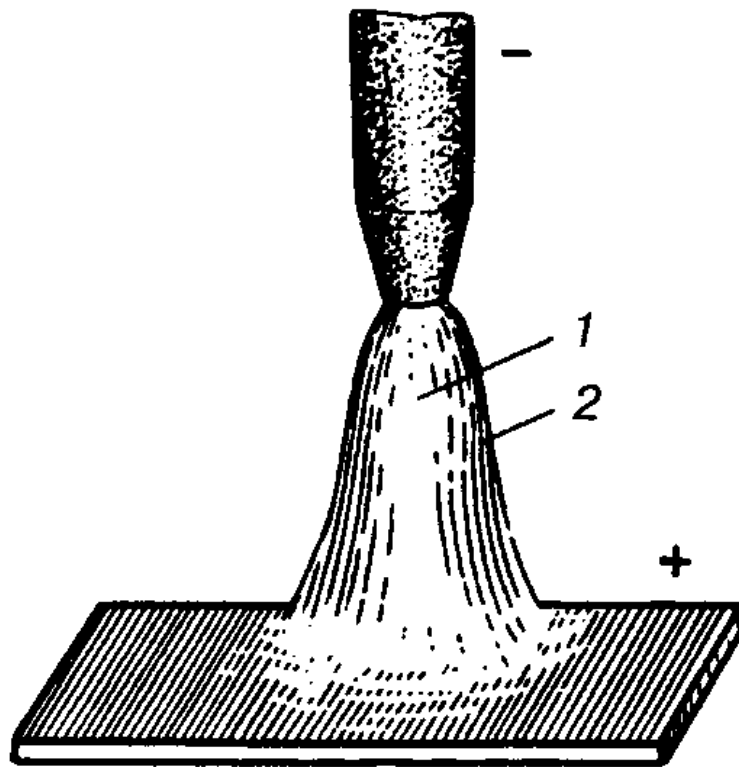


Рис. 11. Будова дуги

Процеси іонізації і переміщення заряджених частинок до катода і анода відбуваються у стовпі дуги 1. Температура стовпа дуги досягає 6000 - 7000°C. Він оточений ореолом 2, який є розжареною газоподібною сумішшю парів електродного і зварювального металів і продуктів реакції цих

На нагрівання виробу, плавлення присадного і основного металів витрачається приблизно 50%, на нагрівання електрода – близько 30%, витрати теплоти в навколишній простір становлять приблизно 20%. На аноді виділяється приблизно 42 – 43% теплоти, на катоді – близько 36 – 38%, у стовпі дуги – приблизно 20 – 21%. Отже, температура анода трохи вища за температуру катода.

### Підготовка заготовок до зварювання

Прокат, литво, кованки є початковими речовинами для виробництва зварювальних робіт. Підготовка до зварювання складається з **вирізки** заготовок з прокату, **розмітки**, **різання**, **зачистки**, **правки** та **збірки** виробів під зварку.

**Вирізку** заготовок здійснюють на відрізних верстатах по упорах. Найпоширенішим способом різання низьковуглецевих сталей є

газополум'яне (кисневе) різання.

**Розмітка** – нанесення на метал конфігурації заготовки. Розмітку здійснюють з припуском. *Припуск* – це різниця між розміром заготовки і чистовим розміром деталі. Припуск знімають при подальшій обробці. Для розмітки застосовують розмічальні столи або плити необхідних розмірів. Для отримання більш чіткого контуру заготовки поверхню металу заздалегідь закрашують білою клейовою фарбою. При великій кількості заготовок або деталей розмітку можуть проводити за шаблонами. Рисувалкою обводять контур деталі, а потім накернюють по всі

**Різання** здійснюється по наміченій лінії контуру деталі на механічних верстатах, кисневими різачками вручну або газорізальними машинами. Для механічного прямолінійного різання листового металу застосовують прес-ножиці для подовжнього і поперечного різання.

**Зачистка** металу здійснюється для видалення з кромки деталей заусенців, окалини і шлаків. Для зачистки використовують стаціонарні установки з наждачними кругами, переносні пневматичні або електричні шліфувальної машинки.

**Правка** деталей і заготовок здійснюється вручну або на листопрямильних вальцях або пресах. Правку тонколистового металу проводять у холодному стані, а товстолистового металу – у гарячому стані.

**Збірка виробів під зварку** потрібна для правильної взаємної установки і закріплення деталей. Збірка здійснюється прихватами або в спеціальних складально-зварювальних пристосуваннях. *Прихвати* – це короткі шви.

### **Електродугове ручне зварювання**

**Ручне дугове зварювання** виконують штучними електродами, які зварник подає до зварювального виробу і переміщує в потрібному напрямі.

При зварюванні **за методом Бенардоса** використовують вугільні або графітові електроди діаметром 6 – 30 мм, довжиною 200 – 300 мм.

Для зварювання **за способом Слав'янова** використовують металеві електроди, які мають діаметр 1,5 – 12 мм і довжину 200 – 450 мм.

Зварювання **в інертних газах** виконують з використанням вольфрамових електродів діаметром 1 – 6 мм.

## Вибір режиму зварювання

Основними параметрами режиму ручного дугового зварювання є **діаметр електрода** і **сила зварювального струму**.

Швидкість зварювання і напруга дуги при ручному зварюванні, як правило, не регламентуються. Їх добирає сам зварник залежно від марки електрода і положення шва в просторі.

Сила зварювального струму в основному залежить від діаметра електрода. Для діаметрів 3 – 6 мм її визначають за формулою

$$I = k \cdot d, \quad (4),$$

де  $I$  – сила зварювального струму, А;  $d$  – діаметр електрода, мм;  $k$  – коефіцієнт, що дорівнює 40...60 – для електродів із стержнем з низьковуглецевої сталі і 35...40 – з високолегованої сталі.

Діаметр електрода беруть залежно від товщини зварюваного металу (табл. 1).

Таблиця 1. Залежність діаметру електроду від товщини зварюваного металу

Товщина металу, мм	1 - 2	3	4 - 5	6 - 12	більше 12
Діаметр електроду, мм	1,5 - 2,5	3	3 - 4	4 - 5	більше 5

## Види зварних з'єднань

Основними видами зварних з'єднань є **стикові (С)**, **кутові (К)**, **таврові (Т)** і **внапусток (В)** (рис. 12).

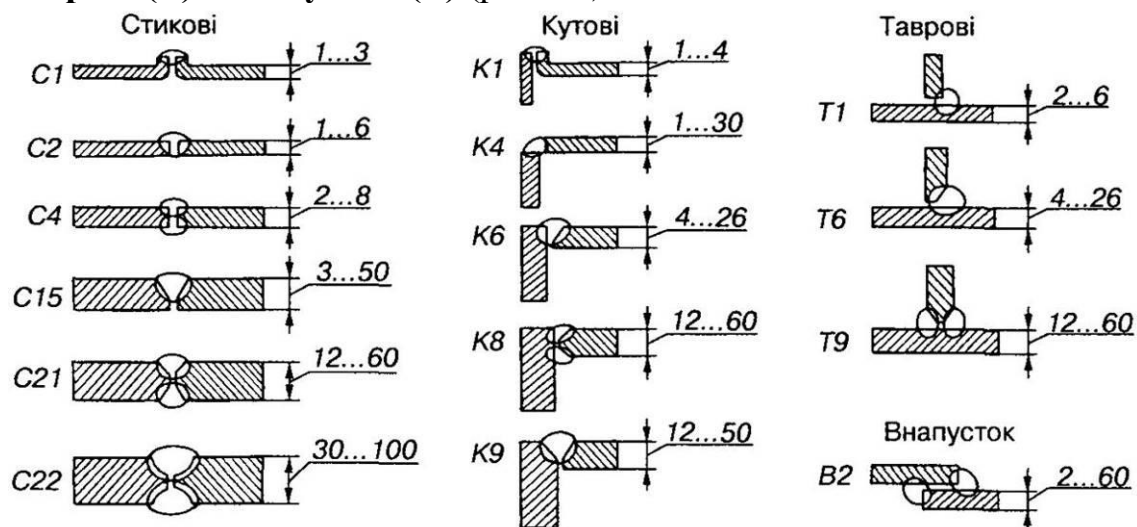


Рис. 12. Види зварних з'єднань

**Стикові з'єднання (С)**, залежно від товщини зварювальних листів, виконують з відбортуванням (С1), без скосу кромки (С2, С4), з однобічним (С15) і двобічним (21) симетричним або несиметричним скосом кромки одного чи обох листів. Двобічний симетричний скіс кромки обох листів криволінійної форми (С22) застосовують для листів товщиною 30...100 мм. Щоб забезпечити проварювання по всьому перерізу зварюваних листів, між кромками залишають зазор 0...4 мм залежно від товщини металу. Для запобігання пропалюванню гострі кромки листів притупляють на 1...3 мм. Спільний кут розкриття кромки дорівнює  $(54 \pm 6)^\circ$ .

**Кутові (К) та таврові з'єднання (Т)** виконують, залежно від товщини листів, без скосу кромки (К1, К4, Т1), з однобічним (К6, Т6) і двобічним (К8, К9, Т9) скосами кромки одного чи обох листів. При скосі однієї кромки кут розкриття становить  $(50 \pm 5)^\circ$ , а при скосі двох кромки –  $(54 \pm 6)^\circ$ .

#### **Класифікація зварних швів за положенням у просторі**

За положенням у просторі шви поділяють на нижні (а), вертикальні (б), горизонтальні (в) і стельові (г) (рис. 13).

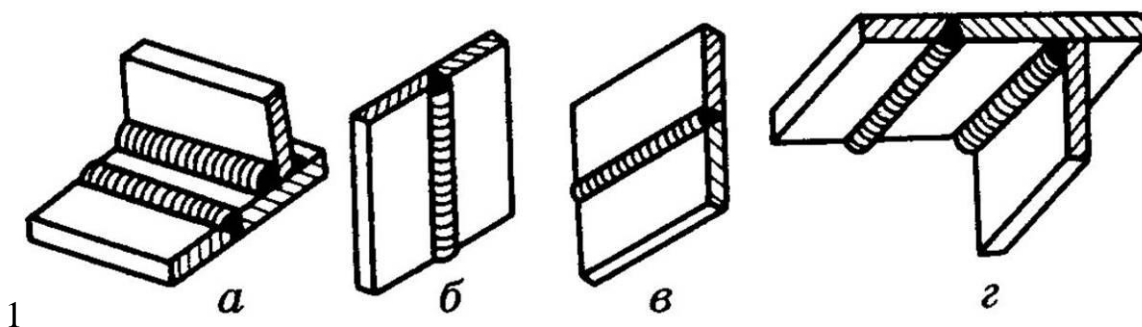


Рис. 13. Нижні (а), вертикальні (б), горизонтальні (в) та стельові (г) зварні шви

**Нижні шви** виконувати найзручніше, оскільки розплавлений метал з ванни не витікає.

**Вертикальні шви** виконувати важче, тому що під дією сили ваги розплавлений метал стікає донизу. Вертикальні шви зварюють згори донизу або знизу догори електродами діаметром до 5 мм.

**Горизонтальні шви.** Запалюють дугу на горизонтальній кромці, потім переводять її на похилий скіс верхньої кромки, знову на горизонтальну кромку і т. д. Для цього застосовують електроди діаметром до 5 мм.



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

Якщо конструкція виробу дозволяє, то його повертають так, щоб усі шви можна було виконувати в нижньому положенні, а кутові та таврові з'єднання зварювати в “човник” (рис. 14).

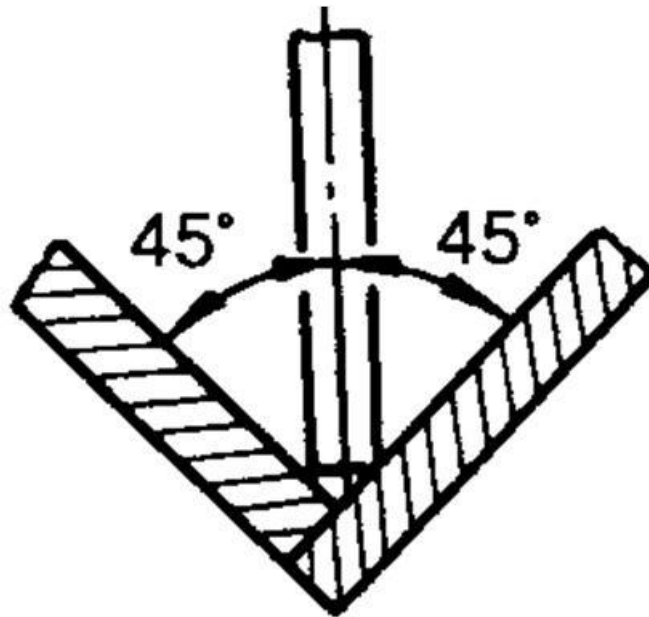


Рис. 14. Зварювання в “човник”

### **Переваги і недоліки ручного дугового зварювання**

#### **Переваги:**

- механічні властивості зварних швів не нижчі за властивості основного металу;
- можливість виконання зварних швів у різних просторових положеннях і у важкодоступних місцях.

#### **Недоліки:**

- різна якість зварного шва, яка залежить від кваліфікації зварника; низька продуктивність процесу зварювання.

### **Автоматичне дугове зварювання**

Основні операції процесу (запалювання дуги, подавання зварювального дроту до виробу, підтримання постійної довжини дуги і переміщення дуги в напрямі зварювання) є механізованими. Схема

будови

зварювального автомату наведена на рис. 15.

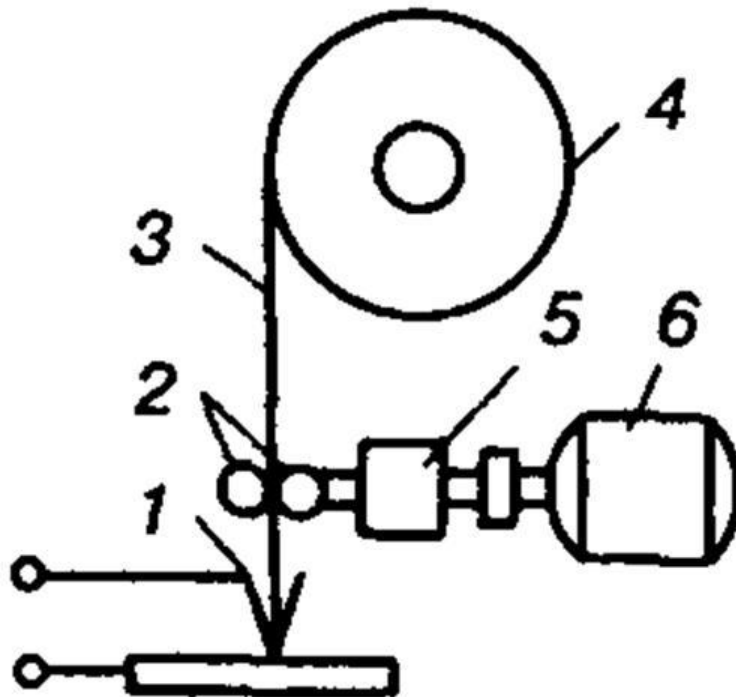


Рис. 15. Схема будови зварювального автомату

Електродвигун 6 за допомогою механічного редуктора 5 передає обертання роликам 2, які подають дріт до виробу. Подавальні ролики змотують зварювальний дріт 3 з мотка чи бухти, розміщеної на барабані або в касеті 4, і спрямовують крізь струмопідвідний мундштук 1 у зону зварювання.

**Автомати поділяють на автомати з автоматичним регулюванням і з саморегулюванням довжини дуги.**

#### **Автомати з автоматичним регулюванням довжини дуги**

Швидкість подачі дроту пропорційна напрузі на дузі. При раптовій зміні довжини дуги змінюється швидкість подачі дроту і порушена рівновага відновлюється. Це здійснюється внаслідок того, що одну з обмоток збудження електродвигуна, який подає зварювальний дріт, живить напруга дуги.

Якщо довжина дуги збільшиться, напруга на дузі зросте, і електродвигун почне швидше обертатися і з більшою швидкістю подавати дріт до виробу, вкорочуючи довжину дуги. Із зменшенням довжини дуги параметри змінюватимуться в зворотному напрямі.

Оскільки ці автомати мають відносно складну електричну схему, застосування їх обмежене.

### Автомати з саморегулюванням довжини дуги

Саморегулювання довжини дуги засноване на зміні швидкості плавлення дроту від зміни довжини дуги. При сталій швидкості подачі дроту, яка дорівнює швидкості її плавлення, і при випадковому збільшенні довжини дуги від  $l_1$  до  $l_2$  (рис. 16 а) відносно зовнішньої характеристики джерела зварювального струму (рис. 16 б) зменшиться струм у дузі від  $I_1$  до  $I_2$ , і пропорційно струму зменшиться швидкість плавлення дроту.

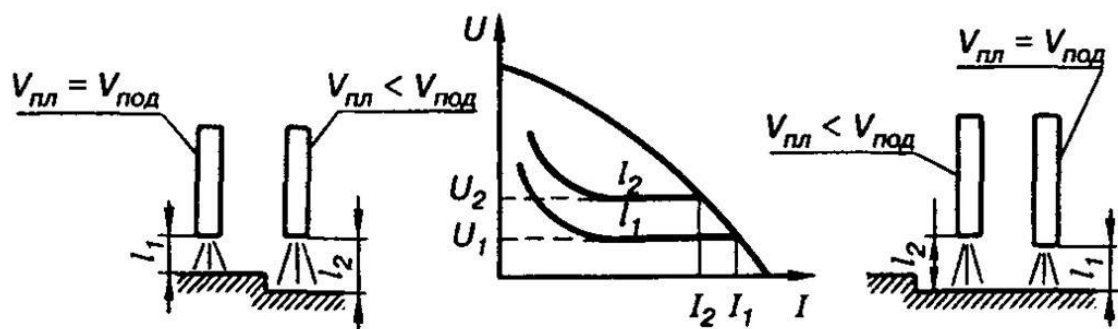


Рис. 16. Схема саморегулювання довжини дуги

Швидкість подачі дроту стане більшою за швидкість його плавлення, і довжина дуги знову досягне величини  $l_1$  (рис. 16 в). При зменшенні довжини дуги відбувається зворотне явище: струм і швидкість плавлення зростають, і довжина дуги збільшується.

### Автоматичне зварювання під флюсом

Захист розплавленого металу від атмосферного повітря в зоні зварювання здійснюється за допомогою флюсу (рис. 17). При зварюванні під флюсом до зварюваного виробу 9 подається голий дріт 1 і окремо флюс 3.

Зварювальна дуга 2 горить під шаром флюсу між кінцем зварювального дроту і виробом у газовому пазурі 4, що складається з парів присадного та основного металів і продуктів дисоціації складових флюсу. Рідка частина флюсу 5 оточує газовий пазур і захищає зварювальну ванну 6 від взаємодії з киснем і азотом повітря. Після охолодження металу і шлаку шлакова кірка 7 відділяється від наплавленого металу 8.



Рис. 17. Схема зварювання під флюсом

#### Флюси для автоматичного зварювання

**Флюси** мають забезпечувати стійке горіння дуги, потрібний хімічний склад і механічні властивості наплавленого металу, добре формування зварювального шва і легке відокремлення шлакової кірки з наплавленого металу. За способом виготовлення флюси поділяють на **плавлені** і **неплавлені**, або **керамічні**.

**Неплавлені або керамічні флюси** виготовляють із порошкоподібних компонентів замість їх на рідкому склі з наступною грануляцією і прокалюванням. Неплавлені флюси застосовують для зварювання деяких марок легованих сталей та одержання твердих наплавів, проте їх застосування досить обмежене.

**Плавлені флюси** виготовляють сплавленням шихти в полумєневих або електричних печах з наступною грануляцією. До складу флюсів входять 33...44%  $\text{SiO}_2$ ; 32...47%  $\text{MnO}$ ; 3,5...9%  $\text{CaF}_2$  та інші домішки. Шихтою для виготовлення флюсів є кварцовий пісок, марганцева руда і плавииковий шпат. Плавлені флюси застосовують для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей.

## Характеристика зварювального автомату типу ТС

Автомат має трифазний електродвигун 1 потужністю 200 Вт і напругою 36 В, який приводить у рух механізми подачі дроту і ходовий (рис. 18).

Механізм подачі дроту складається з редуктора, приводного і притискного роликів, а ходовий – з редуктора, ведучих 2 і ведених 3 коліс. Швидкість подачі дроту регулюють у межах 52-403 м/год, а швидкість зварювання – 16-126 м/год. Бункер 5 призначений для флюсу, а касета 7 – для дроту.

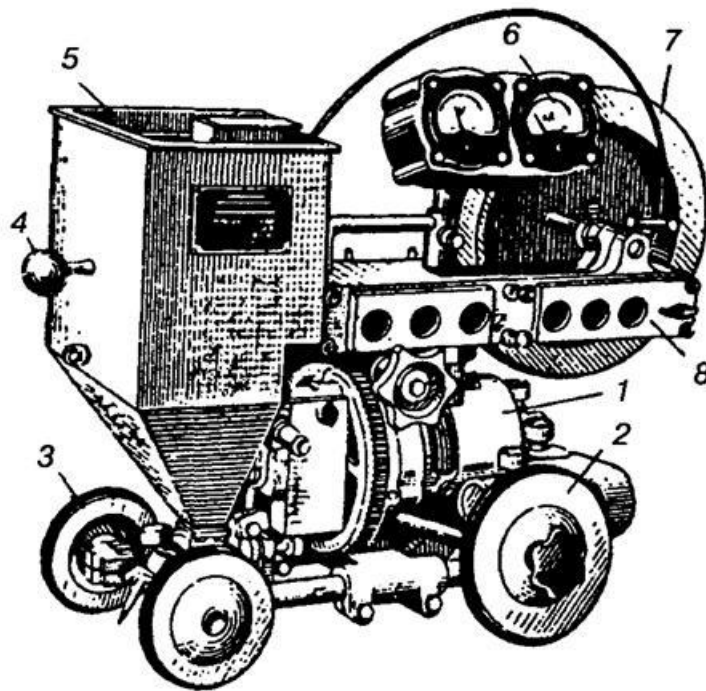


Рис. 18. Зварювальний автомат типу ТС

Автомат комплектується джерелом струму, пультом керування 8, електровимірвальними приладами 6 і магнітним пускачем. Переміщується трактор по зварюваному виробу чи по напрямних рейках або вручну за допомогою ручки 4.

Автомат працює за саморегулюванням довжини дуги.

### Застосування автоматичного зварювання

Автомати призначені для виконання прямолінійних і кільцевих швів, стикових, кутових і напускних з'єднань металу товщиною 2-20 мм (зварювальний дріт діаметром 1,6...5,0 мм, сила струму до 1200 А).

Автоматичне зварювання під флюсом застосовують у серійному і масовому виробництві при виготовленні котлів, мостових балок, резервуарів для зберігання рідин і газів, корпусів суден, зварних труб великих діаметрів та інших виробів, які зварюють у нижньому положенні.

Під флюсом зварюють вуглецеві і леговані сталі, алюміній, мідь та їхні сплави товщиною 2... 100 мм.

### **Переваги і недоліки автоматичного зварювання**

#### **Переваги:**

- продуктивність зварювання підвищується в 10...15 разів;
- досягається однорідність шва і підвищується якість наплавленого металу;
- економиться зварювальний дріт;
- полегшується праця робітника.

#### **Недоліки:**

- місце зварювання закрито флюсом завтовшки 50...60 мм, тому підвищуються вимоги до точності підготовки і складання виробів для зварювання;

важко виконувати шви невеликої довжини і складної конфігурації, а особливо такі, які розміщені в різних просторових положеннях.

## **1.3. ГАЗОВЕ ЗВАРЮВАННЯ**

**При газовому зварюванні** кромки основного металу і присадний метал нагрівають до розплавленого стану полум'ям горючих газів, які спалюють за допомогою спеціальних зварювальних пальників у суміші з киснем.

**Ацетилен** застосовують найчастіше, як горючий газ, який при згорянні в кисні дає температуру полум'я, достатню для зварювання сталей і більшості інших металів та їхніх сплавів. Для зварювання металів (свинцю, алюмінію тощо), температура плавлення яких нижча за температуру плавлення сталі, можуть бути використані й інші горючі гази, наприклад водень, природний газ тощо, які дають низьку температуру полум'я.

**Газове зварювання застосовують** при виготовленні листових і трубчастих конструкцій з маловуглецевих і низьколегованих сталей довжиною до 3...5 мм, при виправленні дефектів на виливках із чавуну і бронзи, а також для зварювання кольорових металів та їхніх сплавів.

## Гази для газового зварювання

### Кисень

Кисень добувають переважно з повітря. У повітрі є близько 21% кисню, 78% азоту, 0,93% аргону, 0,03% вуглекислого газу.

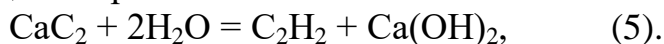
Одержання кисню з повітря ґрунтується на принципі зрідження повітря при температурі мінус 194,5°С і нормальному тиску та наступного розділення рідкого повітря на азот і кисень, що засновано на різниці температур кипіння рідкого азоту (-196°С) і рідкого кисню (-183°С). Рідкий кисень перетворюється на газоподібний у теплообміннику і надходить у газгольдер. Звідси кисень нагнітають компресором у балони до тиску 15 МПа.

Транспортують і зберігають газоподібний кисень у кисневих балонах. Найбільш поширені балони місткістю 40 л, що при тиску 15 МПа вміщують 6000 л кисню.

Кисневі редуктори на балонах призначені для зниження високого тиску кисню в балоні до робочого 0,2...0,4 МПа при зварюванні і 1,2...1,4 МПа при різанні та для підтримання сталої величини тиску.

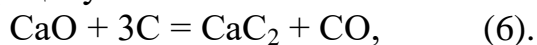
### Ацетилен (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)

Основним способом добування ацетилену є розкладання карбїду кальцію водою за рівнянням



При розкладанні 1 кг чистого карбїду кальцію виділяється близько 340 л ацетилену і 1675 кДж тепла. З технічного карбїду кальцію залежно від його сорту і грануляції утворюється 230...300 л ацетилену/кг.

Карбїд кальцію виробляють в електродугових печах сплавленням коксу або антрациту з випаленим вапняком:



Розплавлений карбїд виливають з печі в чавунні виливниці й після охолодження подрібнюють на шматки розміром 2...120 мм. Транспортують карбїд кальцію в герметично закритих барабанах.

### Ацетиленові генератори

**Ацетиленові генератори** – це апарати, в яких добувають технічний ацетилен.

Ацетиленові генератори розподіляються:

- за *принципом взаємодії карбїду кальцію з водою на системи "карбїд у воду", "вода на карбїд", "занурення" і "витиснення"*;
- за *тиском* на генератори *низького* (0,001...0,01 МПа) і

- середнього (0,01... 0,15 МПа) тиску;
- за типом установки на *стаціонарні та переносні* генератори;
  - за *продуктивністю* на генератори *низької* (до 3 м<sup>3</sup>/год), *середньої* (до 10 м<sup>3</sup>/год) і *високої* (до 80 м<sup>3</sup>/год) продуктивності.

### **Ацетиленові генератори системи "карбід у воду"**

У генераторах системи "карбід у воду" карбід кальцію подається із завантажувального бункера 2 в резервуар 1 з водою за допомогою автоматичних пристроїв (рис. 19).

Генератори цієї системи найбільш продуктивні. Вони забезпечують найповніше розкладання карбіду кальцію і утворення чистого та охолодженого ацетилену. Такі генератори найменш вибухонебезпечні.

### **Ацетиленові генератори системи "вода на карбід"**

У генераторах системи "вода на карбід" карбідом кальцію завантажують одну або дві реторти 9, у які вода подається з окремого резервуара 3 трубою 8 (рис. 20).

Ацетилен утворюється при розкладанні карбіду кальцію і надходить у нижню частину генератора з реторти 9 трубою 6, де збирається під перегородкою 4. Вода, що перебуває тут під тиском ацетилену, витискається циркуляційною трубою 5 у верхню частину корпусу генератора. Ацетилен з генератора відводиться трубою 7.

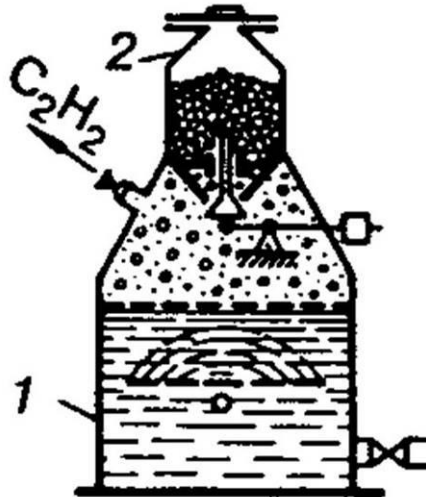


Рис. 19. Схема ацетиленового генератора системи "карбід у воду"



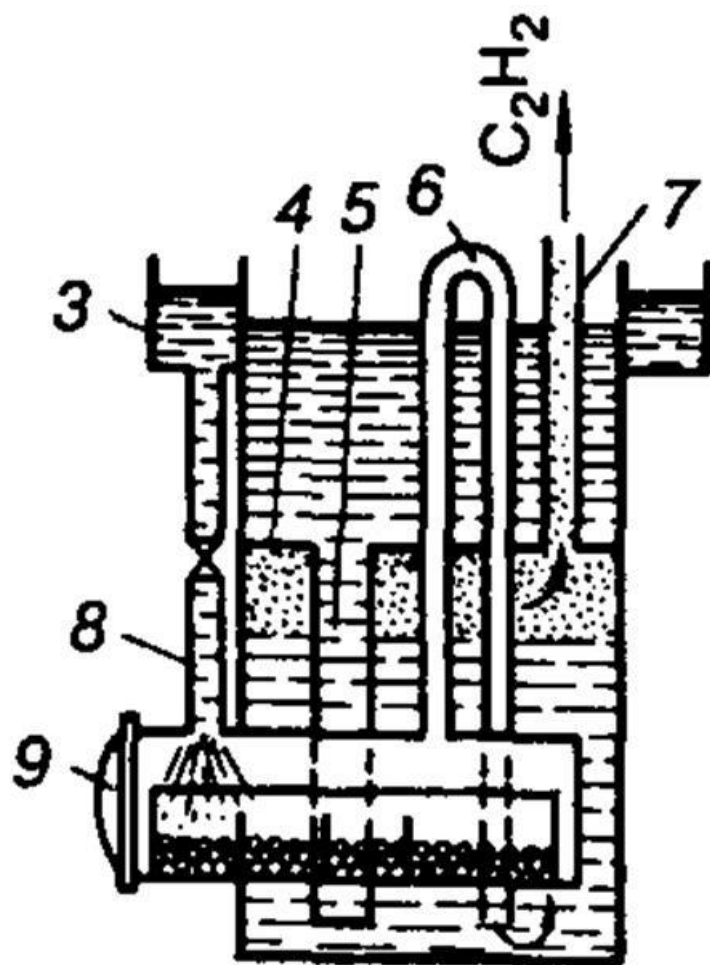


Рис. 20. Схема ацетиленового генератору системи "карбід у воду"

Генератори цієї системи мають невелику продуктивність, низький тиск і здебільшого їх виготовляють переносними.

#### Ацетиленові генератори систем "занурення" та "витиснення"

Генератори системи "занурення" та "витиснення" характеризуються тим, що стикання карбіду кальцію з водою в них здійснюється періодично залежно від тиску.

У випадку "занурення" зі збільшенням тиску вище від граничного газгольдер 10 піднімається і витягає з води корзину з карбідом кальцію (рис. 21).

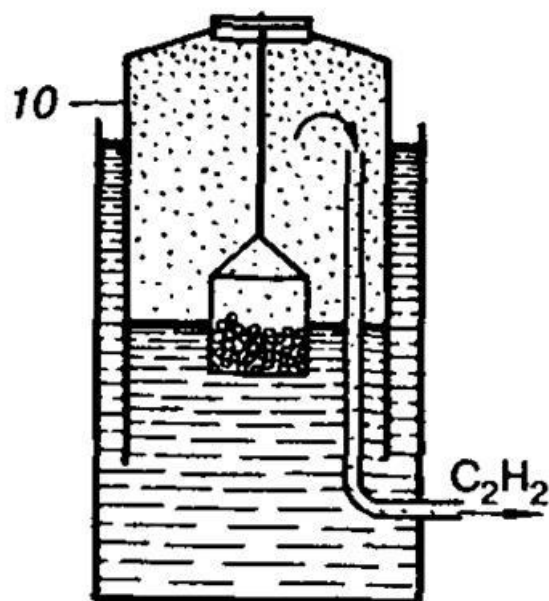


Рис. 21. Схема ацетиленового генератору системи "занурення"

У випадку "витиснення" надмірний тиск ацетилену спричинює витиснення води в сполучену посудину, і розкладання карбіду кальцію теж припиняється. Якщо тиск знижується, то відбуваються зворотні явища (рис. 22).

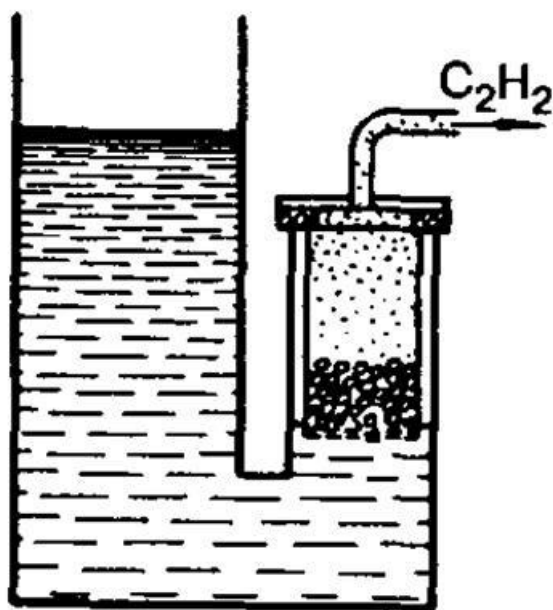


Рис. 22. Схема ацетиленового генератору системи "витиснення"

### Запобіжні затвори

При нагріванні мундштука зварювального пальника вище від  $500^{\circ}\text{C}$  всередині наконечника пальника може спалахнути ацетилен і утворитися зворотний удар полум'я. Запобіжні затвори встановлюють для захисту ацетиленових генераторів від вибуху. При нормальній роботі газ трубою 6 крізь клапан 7 потрапляє до корпусу 5 затвора (рис. 23). Звідси по штуцеру 3 він спрямовується до пальника. При зворотному ударі тиск вибухової хвилі передається на воду, і клапан 7 закривається. У цей момент алюмінієва або олов'яна тонка фольга 4 розривається, і вибухова суміш викидається в атмосферу. Кран 2 призначений для контролю рівня води в затворі, а кран 1 для зливання води із затвора.

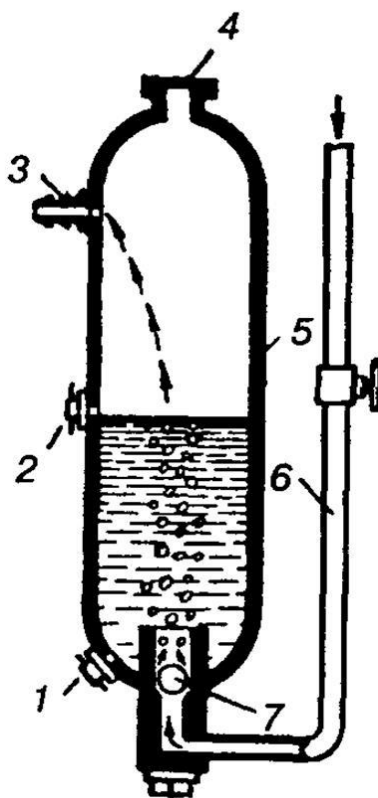


Рис. 23. Схема запобіжного затвора

### Зварювальний пальник

**Зварювальний пальник** призначений для змішування в потрібних пропорціях горючого газу з киснем і для створення зварювального полум'я потрібних потужності, розмірів і відповідної форми. За способом подавання горючого газу в камеру змішування

розрізняють пальники інжекторні (низького тиску) і безінжекторні (різного тиску). У промисловості використовують переважно інжекторні пальники. Принцип роботи цього пальника ґрунтується на підсосі (інжекції) ацетилену струменем кисню.

Кисень під тиском 0,2...0,4 МПа подається крізь ніпель 7 і регулювальний вентиль 6 в інжектор 4, який має вузький центральний отвір (сопло) і поздовжні пази (рис. 24).

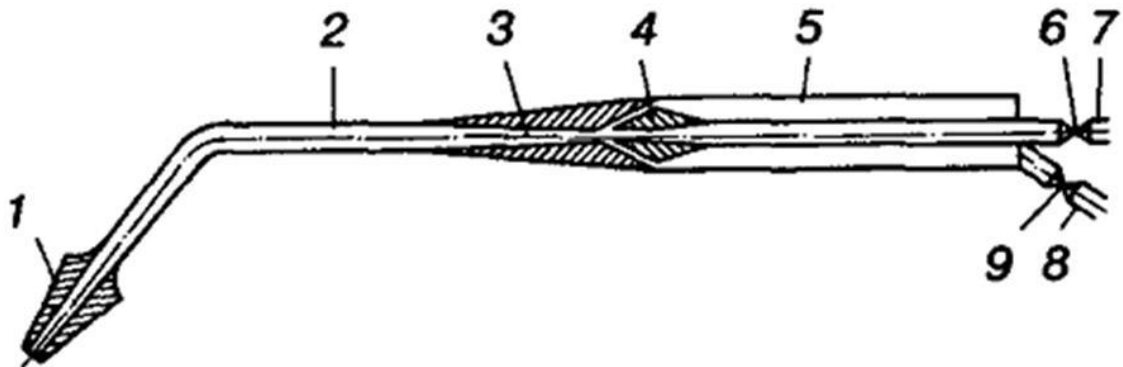


Рис. 24. Схема запобіжного затвору

Виходячи з отвору сопла з великою швидкістю, кисень створює в камері змішування 3 сильне розрідження. Внаслідок цього ацетилен, що має більш низький тиск, засмоктується крізь ніпель 8, регулювальний вентиль 9, внутрішній канал 5 рукоятки і поздовжні пази інжектора 4 в камеру змішування 3. Тут кисень і ацетилен утворюють горючу суміш, яка трубкою 2 надходить у мундштук 1. На виході з мундштука при запалюванні цієї суміші утворюється зварювальне полум'я. Потрібне співвідношення газів у пальнику регулюється кисневим 6 і ацетиленовим 9 вентилями.

### Ацетиленокисневе полум'я

Залежно від співвідношення кисню і ацетилену, які виходять з пальника, розрізняють **три основних види** ацетиленокисневого полум'я:

- нормальне, або відновне;
- з надлишком кисню, або окислювальне;
- з надлишком ацетилену, або науглецьовувальне.

При газовому зварюванні застосовують нормальне полум'я, при якому на одну об'ємну частину ацетилену припадає 1-1,2 частини кисню.

Ацетиленокисневе полум'я складається з **трьох зон** (рис. 25):

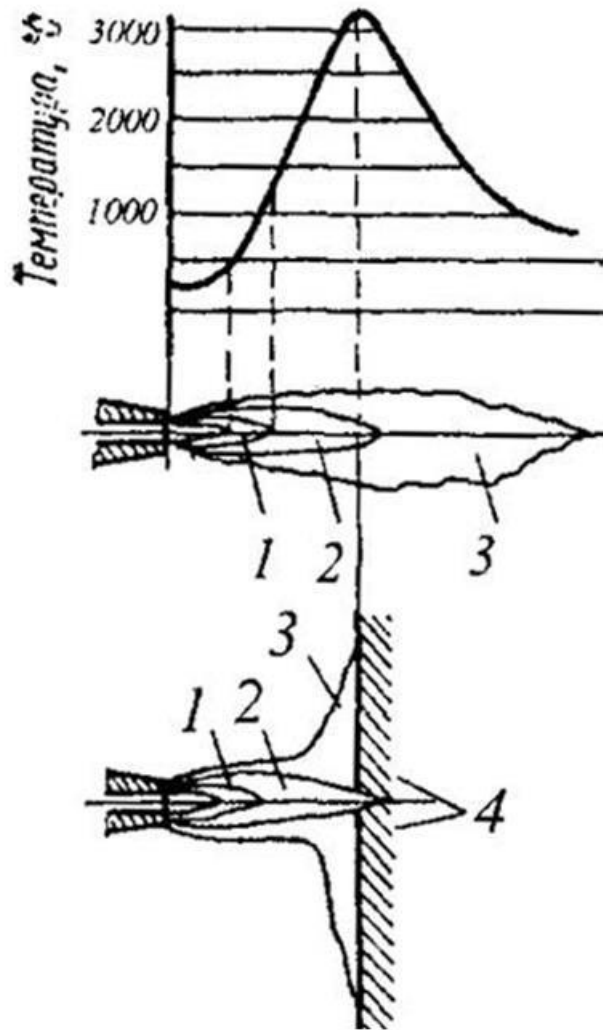
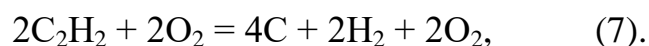


Рис. 25. Схема ацетиленокисневого полум'я:  
 1 – ядро; 2 – відновлювальна зона;  
 3 – окислювальна зона; 4 – зварювальні частини.

- яскраво окресленого ядра I (температура близько 1000°C);
- зварювальної зони II (температура 3050...3150°C);
- факела III (температура близько 1200°C).

У *першій* зоні відбувається екзотермічне розкладання ацетилену на його складові елементи:



Розжарені частинки вуглецю надають цій зоні яскравого світіння.

У *другій* зоні відбувається неповне згоряння вуглецю за реакцією



Внаслідок утворення оксиду вуглецю і водню ця зона має відновлювальний характер. Найбільша температура полум'я у цій зоні знаходиться на відстані 2...4 мм від кінця ядра. Цією частиною полум'я ведуть зварювання.

У *третьій* зоні за рахунок кисню повітря згорають оксид вуглецю і водень:



### **Види зварних з'єднань і підготовка деталей до газового зварювання**

При газовому зварюванні застосовують стикові та кутові з'єднання. Без скошу кромки і без зазору в стик зварюють метал товщиною до 2 мм. Метал товщиною 2...5 мм зварюють без скошу кромки також, але між кромками залишають зазор товщиною 1...2 мм. При більшій товщині роблять одно- або двобічний скіс кромки під кутом 60...90°. З'єднання з відбортовкою кромки, які застосовують для деталей товщиною до 3 мм, зварюють без присадного металу.

Щоб у процесі зварювання встановлений між кромками зазор і положення деталей не змінювались, перед зварюванням кромки деталей з'єднують у кількох місцях короткими швами (прихватками).

При зварюванні тонких листів довжина коротких швів має бути не більшою, ніж 5 мм, а відстань між ними - 300...500 мм.

### **Способи газового зварювання**

Розрізняють лівий і правий способи газового зварювання (рис. 26).

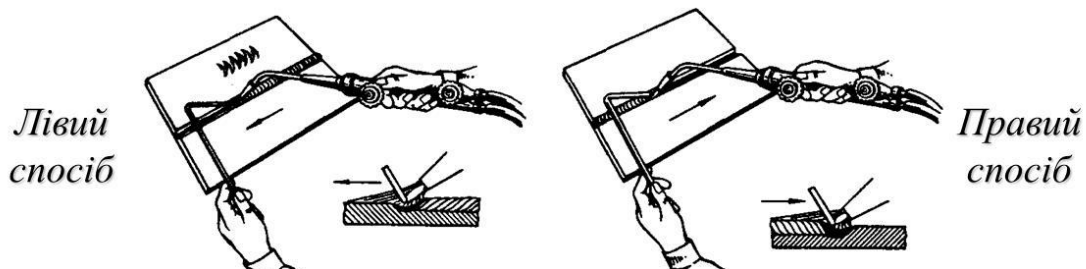


Рис. 26. Способи газового зварювання

При *лівому способі* полум'я пальника переміщується справа наліво і спрямоване вбік утвореного зварного шва. Лівий спосіб застосовують при зварюванні листів товщиною до 5 мм і легкоплавких металів, для яких не потрібне зосередження великої кількості теплоти в місці зварювання.

*Правий спосіб* забезпечує глибше проварювання, тому його застосовують при зварюванні металу товщиною понад 5 мм.

*Нижні шви* залежно від товщини листів зварюють *лівим або правим способом*. *Вертикальні шви* незалежно від товщини з'єднуваних листів виконують тільки *лівим способом*, а *стельові* – тільки *правим способом*.

### **Вибір режиму газового зварювання**

Режим газового зварювання визначається діаметром присадного металу і потужністю газозварювального полум'я. Діаметр присадного дроту (до 6...8 мм) вибирають залежно від способу зварювання і товщини зварюваного металу за формулами:

- для лівого способу  $d = 0.5 \cdot \delta + 1$ ;
- для правого способу  $d = 0.5 \cdot \delta$ ,

де  $d$  – діаметр дроту, мм;  $\delta$  – товщина металу, мм.

Потрібну потужність полум'я ( $V_a$ ) (витрату ацетилену (л/год) для зварювання вуглецевої сталі визначають залежно від товщини зварюваного металу за формулою

$$V_a = k \cdot \delta, \quad (10),$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності, який для лівого способу зварювання становить 100...130, а для правого – 120...130;

$\delta$  – товщина металу, мм.

За визначеною потужністю полум'я вибирають відповідний номер наконечника зварювального пальника.

## **1.4. СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ЗВАРЮВАННЯ**

### **Електроконтактне зварювання**

*Електроконтактне зварювання* (зварювання опором) ґрунтується на розігріванні зварюваних виробів і механічному стисканні розігрітих виробів. Згідно із законом Джоуля-Ленца кількість теплоти, що виділяється при проходженні електричного струму в зварюваних деталях і перехідних контактах, Дж,

$$Q = I^2 R t, \quad (11),$$

де  $I$  – сила зварювального струму, А;  $R$  – опір металу деталей і перехідних контактів, Ом;  $t$  – час проходження струму, с.

Сила зварювального струму досягає десятків і сотень тисяч ампер. Такі струми отримують у знижувальних однофазних зварювальних трансформаторах, що мають у вторинній обмотці здебільшого всього один виток.

Час зварювання залежно від товщини і виду зварюваного матеріалу змінюється від тисячних часток секунди до кількох хвилин. Коли деталі нагріваються до пластичного стану або до оплавлення, до них прикладається зусилля стискання, і деталі зварюються.

### Основні види електроконтактного зварювання (стикове, точкове, шовне)

#### Стикове зварювання

При стиковому зварюванні деталі 1 (стержні, штаби, рейки, труби) закріплюють у мідних затискачах машини (рис. 27). Затискач 6 встановлено на рухомій плиті, а затискач 2 закріплено на нерухомій плиті. Вторинний виток 3 зварювального трансформатора з'єднаний з плитами мідними шинами.

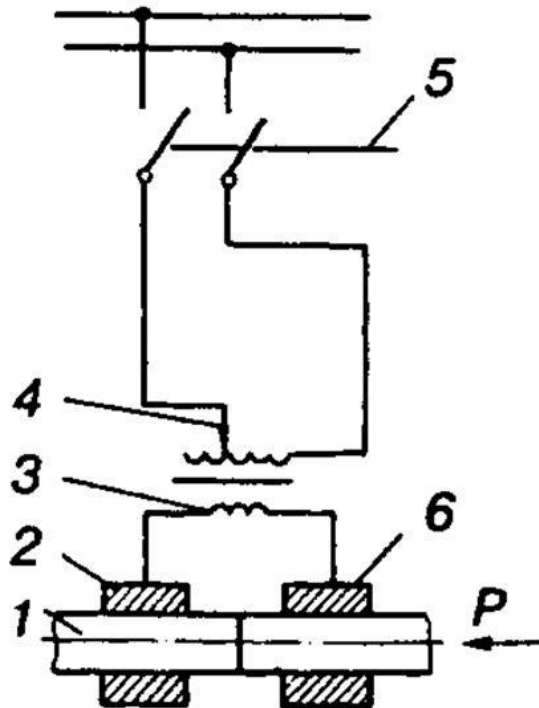


Рис. 27. Схема електроконтактного стикового зварювання



Первинну обмотку трансформатора ввімкнено в мережу змінного струму через вимикальний пристрій 5. Перемикач 4 призначений для регулювання і зміни сили зварювального струму. Переміщення рухомої плити і стискання зварювальних виробів силою  $P$  здійснюється механізмом стискання. **Основні види** стикового зварювання – це зварювання **опором і оплавленням**

### **Стикове зварювання опором**

**При стиковому зварюванні опором** деталі доводять до стискання під невеликим тиском. Вмикають зварювальний струм та розігривають метал до пластичного стану. До деталей прикладають зусилля осадження і разом з цим вмикають струм. Внаслідок осадження металу в місці з'єднання утворюється потовщення.

Зварювання опором застосовують для з'єднання виробів з маловуглецевих сталей і кольорових металів перерізом до  $300 \text{ мм}^2$ .

При більшому перерізі не досягається рівномірного нагрівання по всьому перерізу стику та якість з'єднання погіршується.

Густина струму при зварюванні опором становить  $20...60 \text{ А/мм}^2$ . Тиск осадки становить  $20...30 \text{ МПа}$ .

### **Стикове зварювання оплавленням**

**Зварювання оплавленням** застосовують для виготовлення виробів більшого перерізу. Розрізняють зварювання **переривчастим і безперервним оплавленням**.

Густина струму при зварюванні оплавленням становить  $6...25 \text{ А/мм}^2$ . Тиск осадки –  $30... 40 \text{ МПа}$ . Кольорові метали зварюють звичайно оплавленням з тиском осадки  $8... 15 \text{ МПа}$ .

При зварюванні **переривчастим оплавленням** деталі, що затиснуті в машині при ввімкнутій напрузі вторинного кола, приводять у короткочасне стикання і знову розводять на невелику відстань. Під час розведення деталей зварювальне коло розривається при силі струму в тисячі й десятки тисяч ампер, внаслідок чого між торцями зварювальних виробів відбувається сильне іскроутворення і розбризкування розплавленого металу. Чергуючи замикання з розмиканням, рівномірно оплавляють вісь стику. Прикладають зусилля осадження і разом із розплавленим металом витискають оксиди і утворюється міцне зварне з'єднання. Струм вмикають у кінці осадження.

## **Стикове зварювання безперервним оплавленням**

**Зварювання** виконують на машинах з механізмом безперервної подачі деталей тільки в бік їх зближення.

Деталі затискують у машині, вмикають напругу вторинного кола та зближують до стикання. Стикання зварювальних поверхонь відбувається в місцях з мікровиступами. Тут виникає струм великої густини, метал швидко нагрівається до розплавлення і випаровується. Коли вся поверхня зварювальних торців оплавиться і покриється шаром рідкого металу, до виробів прикладається зусилля осадження з одночасним вимиканням струму.

**Стикове зварювання безперервним оплавленням застосовують** для з'єднання деталей будь-якої конфігурації і будь-якого перерізу, виготовлених з однорідних і різнорідних чорних і кольорових металів. Найчастіше цей метод застосовують для зварювання залізничних рейок, різального інструменту, магістральних газо- та нафтопроводів.

### **Електроконтактне точкове зварювання**

Точкове зварювання застосовують для з'єднання листових конструкцій, у яких треба забезпечити потрібну міцність, а забезпечення щільності не обов'язкове. Сумарна товщина листів не перевищує 10... 12 мм.

**Режими зварювання.** Розрізняють м'які й жорсткі режими точкового зварювання.

**М'які режими** характеризуються більшою тривалістю зварювання і меншою густиною струму. Їх застосовують під час зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей і сталей, схильних до гартування. Для м'яких режимів час зварювання становить 0,2...3,0 с, густина струму – 90...150 А/мм<sup>2</sup>, тиск на електроди – 15...40 МПа.

**Жорсткі режими** характеризуються меншим часом зварювання (0,001...0,1с), більшою густиною струму (150...350 А/мм<sup>2</sup>) і більшим тиском (40...100 МПа). Ці режими використовують при зварюванні корозієстійких сталей і кольорових металів.

**Галузь застосування.** З'єднання деталей з листової вуглецевої або легованої сталі та різних кольорових металів і сплавів. Найбільш поширено застосовують в авіаційній, вагонобудівній та автомобільній промисловості.

## Види точкового зварювання

Види точкового зварювання наведені на рис. 28.

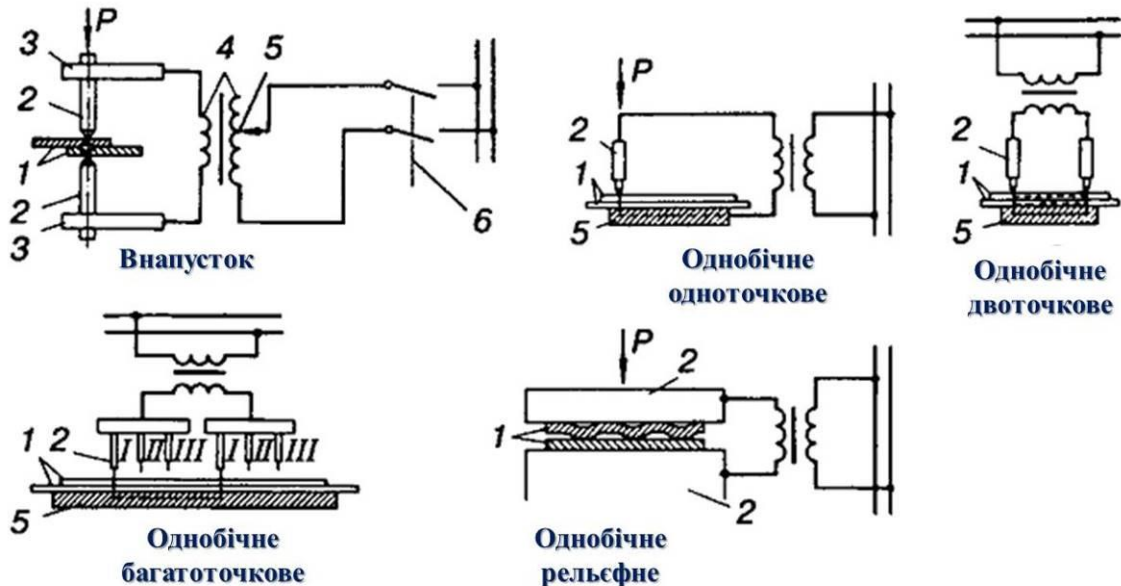


Рис. 28. Види точкового зварювання

### Точкове зварювання внапусток

Деталі 1 затискають між мідними електродами 2, до яких від зварювального трансформатора 4 через електродотримачі 3 підводиться зварювальний струм. Нижній електрод установлено нерухомо, а верхній разом з електродотримачем набуває руху від механізму стиску, який створює потрібне зусилля  $P$ . Вмикальний пристрій 6 вмикає в мережу первинну обмотку трансформатора, і по колу зварювання проходить струм. Під дією електричного струму деталі нагріваються в місцях з'єднання. Місце стикування електродів з деталлю нагрівається менше, оскільки теплота добре відводиться мідними електродами, що охолоджуються водою. Нагрівання здійснюють до розплавлення контактних поверхонь деталей. Для зварювання деталей прикладають зусилля осадження. Силу зварювального струму регулюють за допомогою перемикача потужності 5.

### Однобічне зварювання

(одноточкове, двоточкове, багатоточкове)

Електроди 2 розміщують з одного боку зварюваних виробів 1, а з другого підкладають мідні або бронзові шини 5. Під час зварювання

струм проходить через електроди 2, зварювані вироби 1 і мідні шини 5.

### Рельєфне зварювання

Рельєфне зварювання виконують на спеціальних зварювальних пресах між мідними плитами 2, які є електродами машини. В одній із зварюваних деталей 1 у місцях з'єднань попередньо проводиться холодне висадження виступів. Після попереднього стикання і ввімкнення струму відбувається одночасне нагрівання всіх виступів, а після прикладання зусилля стискання – їх зварювання.

### Шовне (роликове) зварювання

Шовне, або роликове, зварювання застосовують для одержання міцних і щільних швів при виготовленні тонкостінних посудин, призначених для зберігання і транспортування рідини, газів та інших продуктів.

Листи 1 товщиною 0,3...3,0 мм складають внапусток і потім затискають зусиллям  $P$  між двома мідними роликами 2, до яких підводять електричний струм від трансформатора 3 (рис. 29).

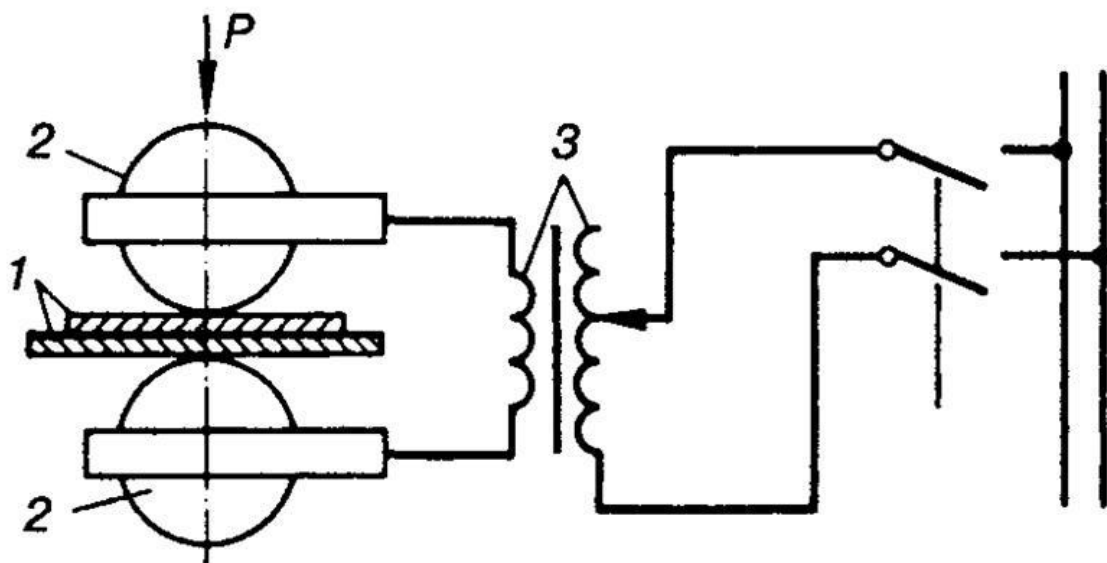


Рис. 29. Схема шовного (роликового) зварювання

Спеціальний привід надає примусового обертання одному чи обом роликам. При ввімкненні струму і одночасному обертанні роликів відбувається переміщення і нагрівання до розплавлення контактних поверхонь зварюваних виробів, які під дією стискальних

зусиль зварюються.

### Способи шовного зварювання

Шовне зварювання розподіляється на **безперервне, переривчасте та крокове**.

При **безперервному** зварюванні подача струму на ролики і обертання роликів проводиться безперервно. Такий вид зварювання застосовують при виготовленні виробів з низьковуглецевих сталей товщиною до 1 мм.

При **переривчастому** методі зварювання ролики обертаються безперервно, а струм подається переривчасто. В результаті переривчастої подачі струму в місці зварного з'єднання утворюється ряд безперервних точок, які перекривають одна одну. При переривчастому методі зварювання отримують зварні з'єднання вуглецевих і корозієстійких сталей, алюмінієвих і мідних сплавів високої якості. Тривалість ввімкнення струму становить 0,02...0,12 с, а час перерв між вмиканням – 0,02...0,35 с.

При **кроковому** зварюванні обертання роликів і подача струму на них переривчасті.

### Електрошлакове зварювання

При електрошлаковому зварюванні основний і присадний метали розплавляються теплотою, що виділяється під час проходження електричного струму через розплавлений шлак.

Дуга збуджується під шаром флюсу між дротом 3 і затравкою (рис. 30).

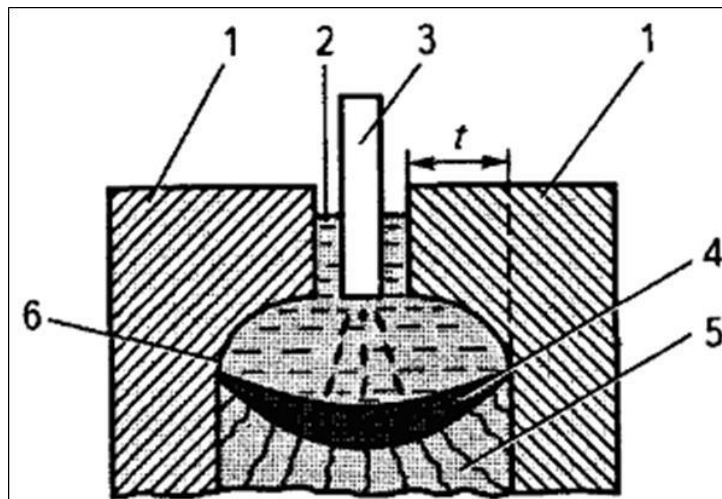


Рис. 30. Схема електрошлакового зварювання:

1 – зварювальний метал; 2 – шлакова ванна; 3 – електродний дріт; 4 – металева ванна; 5 – зварювальний шов; 6 – величина проплавлення кромки металу ( $t$ )

В міру розплавлення флюсу й утворення шлакової ванни 2 зварювальний дріт занурюється в розплавлений шлак 2 і горіння дуги припиняється. Проте струм продовжує протікати крізь рідкий шлак і теплота, яка виділяється в ньому, витрачається на подальше плавлення флюсу, кромок зварюваних деталей і присадного металу.

### **Дугове зварювання в захисних газах**

Зварювання полягає в тому, що для захисту розплавленого металу від шкідливої дії кисню і азоту повітря у зону дуги крізь сопло пальника подається струмінь захисного газу, що відтискає повітря від місця зварювання. У деяких випадках зварювання відбувається в герметичних камерах, заповнених захисним (інертним) газом.

Як захисні гази використовують **інертні, гази (аргон і гелій)**, які не взаємодіють з розплавленим металом, або **активні гази (вуглекислий газ, водень, азот, пари води або їх суміші)**, які частково взаємодіють з розплавленим металом.

Інертні гази використовують для зварювання хімічно активних металів, а також тоді, коли потрібно отримати шви, що однорідні зі складом основного і присадного металів.

### **Аргонодугове зварювання**

**Змінним струмом зварюють алюміній, магній і їх сплави.** В напівперіоди, коли катодом є виріб, його поверхня бомбардується важкими позитивними іонами аргону, і відбувається так зване катодне розпилення тугоплавких оксидних плівок алюмінію або магнію. Відпадає потреба в застосуванні флюсів для їх видалення.

Аргонодугове зварювання застосовують у суміші з активними газами. Це покращує стабільність горіння дуги, збільшує глибину проплавлення, поліпшує формування швів, зменшує розбрикування, покращує перенесення металу в дузі, підвищує продуктивність зварювання. Додаток 1...5% кисню до аргону, який застосовують для зварювання маловуглецевої і легованої сталі, сприяє перетворенню крапельного перенесення металу в дузі в струменеве. Це дає змогу одержати більш щільні шви і збільшити продуктивність зварювання.

**Недолік.** Дефіцитність і висока вартість інертних газів.

**Переваги:** висока продуктивність і якість зварних швів, можливість зварювати алюміній, магній та їхні сплави без флюсів.

### **Зварювання у вуглекислому газі**

Зварювання у вуглекислому газі здійснюють плавким електродом переважно напівавтоматичним способом. Живлять

зварювальну дугу від джерела постійного струму.

Вуглекислий газ при високій температурі дуги частково дисоціює на оксид вуглецю й атомарний кисень, який сприяє окисленню металу. Для нейтралізації окислювальної дії вуглекислого газу при зварюванні вуглецевих і низьколегованих сталей використовують зварювальний дріт з підвищеним вмістом марганцю і силіцію.

### **Зварювання ультразвуком**

Для зварювання ультразвуком використовують ультразвукові механічні коливання і невеликі стискальні зусилля. Коливання створюють за допомогою магнітострикційного ефекту, який полягає в здатності металів і їх сплавів перетворювати електромагнітні коливання ультразвукової частоти (15... 100 кГц) у механічні коливання тієї самої частоти. Магнітострикційний ефект мають сплави нікелю з залізом (пермалой), кобальту із залізом (пермендіор) та ін. З них виготовляють магнітострикційні перетворювачі.

Високочастотні механічні коливання і статичні зусилля стискання спричиняють руйнування оксидних плівок у місці контакту двох виробів і великі пластичні деформації. У результаті між зварювальними поверхнями досягається міцне з'єднання. Процес супроводжується підвищенням температури в місці з'єднання. Залежно від того, який метал зварюється температура нагрівання становить 200...1200°C.

**Ультразвуком зварюють неметалеві матеріали, наприклад, хлорвініл, поліетилен, капрон, нейлон, органічне скло.**

Зварювання ультразвуком виконують внапусток точковими та шовними з'єднаннями металів та їх сплавів товщиною 0,01...1 мм. Мідь, алюміній, титан, цирконій, тантал, нікель та їх сплави добре зварюються ультразвуком. Маловуглецеві, жароміцні та інструментальні сталі та магнієві сплави гірше зварюються ультразвуком.

У момент підключення обмотки 2 до джерела струму високої частоти в магнітострикційному перетворювачі 1 утворюються пружні механічні коливання, які хвилеводом 3 передаються через нижній електрод 7 на зварювані вироби 6. Зусилля, яке стискає деталі, передається на верхній електрод 5 механізмом стискання 4 (рис. 31).

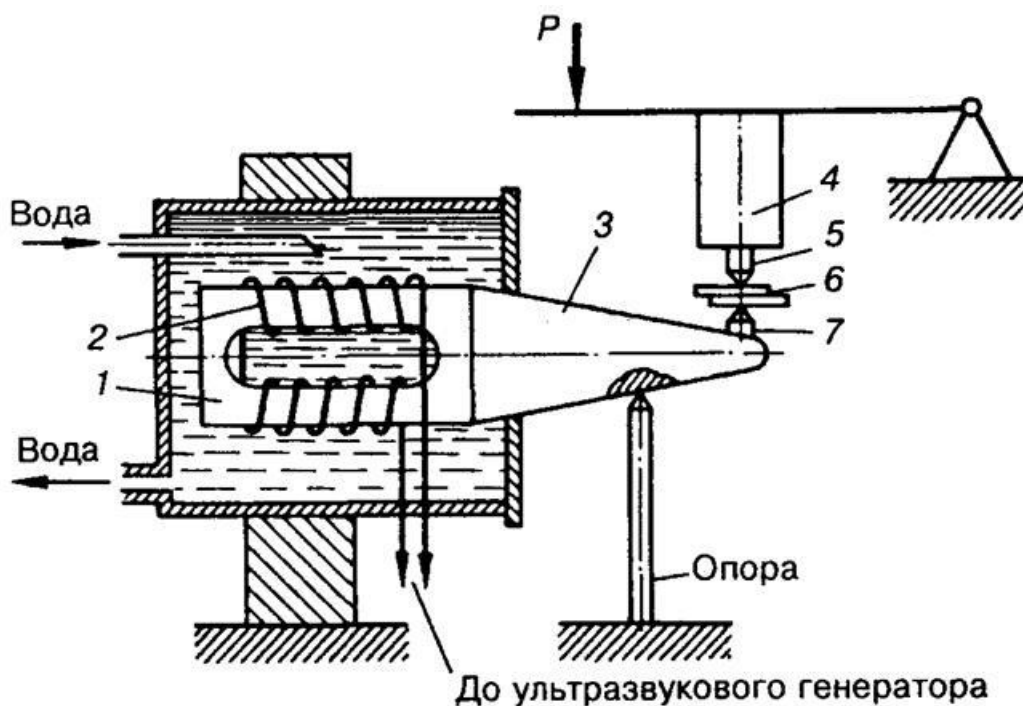


Рис. 31. Схема установки для точкового зварювання ультразвуком

### Плазмове зварювання

Електронною плазмою називають іонізований газ стовпа дуги, який складається з нейтральних атомів і молекул, іонів і електронів. Для отримання плазмової дуги, що горить між катодом і анодом, крізь канал водоохолоджувального мідного сопла спеціального пальника пропускають потік газу.

При збільшенні струму стовп дуги в обмеженому стінками каналу сопла пальника розширитися не може, тому за рахунок його стиснення температура стовпа дуги і ступінь іонізації газу підвищується. Газ, який проходить крізь стовп стисненої дуги, іонізується і перетворюється на плазму.

Розрізняють плазмову дугу **прямої і побічної дії**. Дуга **4 прямої дії** (рис. 32 а) горить між вольфрамовим електродом (катодом) 1 і виробом (анодом) 5. Температура такої дуги становить 20 000... 30 000 °С.



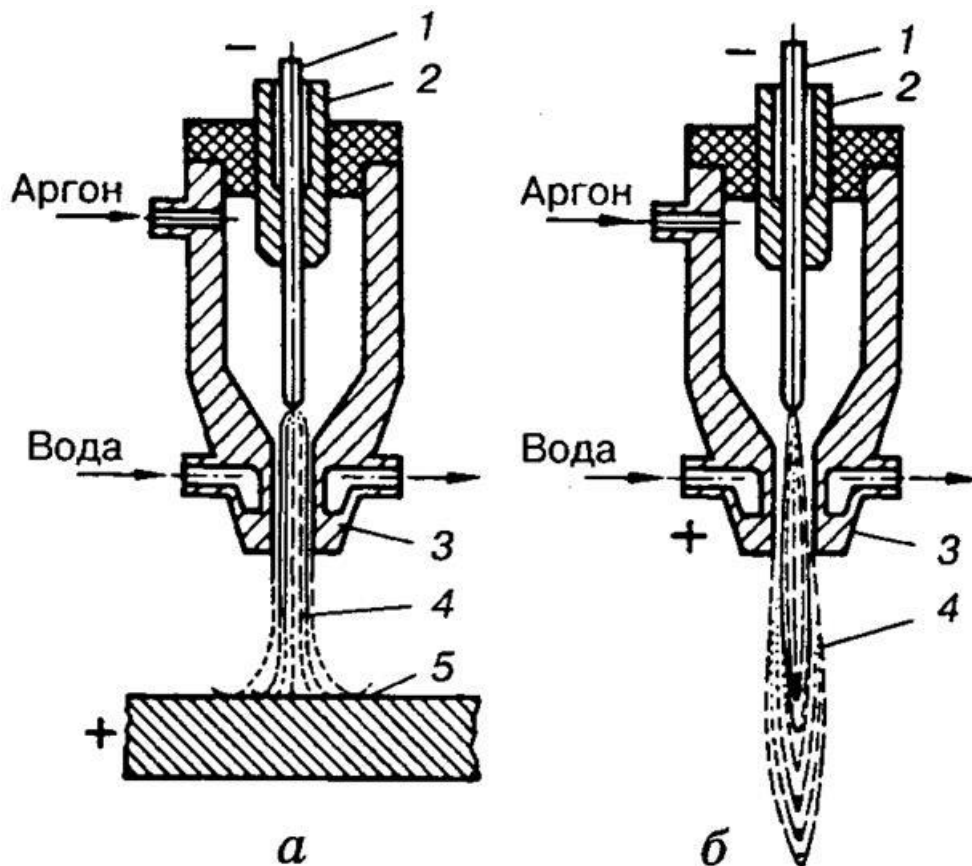


Рис. 32. Схема плазмового зварювання

Дуга **побічної дії** (рис. 32 б) горить між вольфрамовим електродом 1 і мідним соплом 3 пальника. Тиском струменя газу іонізований газовий потік видувається із сопла пальника у вигляді яскравого концентрованого полум'я 4. Його температура досягає 15000°С і вище. Струм до вольфрамового електрода підводять крізь мундштук 2. Для зварювання використовують аргон. Зварюють вуглецеві і корозієстійкі сталі, тугоплавкі й кольорові метали.

### Електронно-променеве зварювання

При зварюванні електронним променем метал нагрівають сфокусованим пучком електронів, які прискорюються електричним полем високої напруги. При падінні пучка на виріб близько 99% кінетичної енергії електронів перетворюється на теплову. Температура металу в місці нагрівання перевищує 6000°С.

Електронним променем зварюють **низько- і високолеговані сталі, тугоплавкі (вольфрам, молібден, тантал), активні (уран,**

цирконій, берилій) і різнорідні (алюміній з міддю) метали та їх сплави.

За один прохід можна зварювати метал товщиною 0,01... 100 мм. Зварні з'єднання мають дуже високу якість та дзеркально гладку поверхню металу шва.

Зварювання електронним променем у вакуумі використовують в основному в **приладобудівній промисловості**.

Зварювання виконують у герметичній камері 1, де підтримують вакуум порядку  $133 \cdot 10^{-4}$ - $133 \cdot 10^{-6}$  Па або здійснюють у середовищі проточного інертного газу (рис. 33).

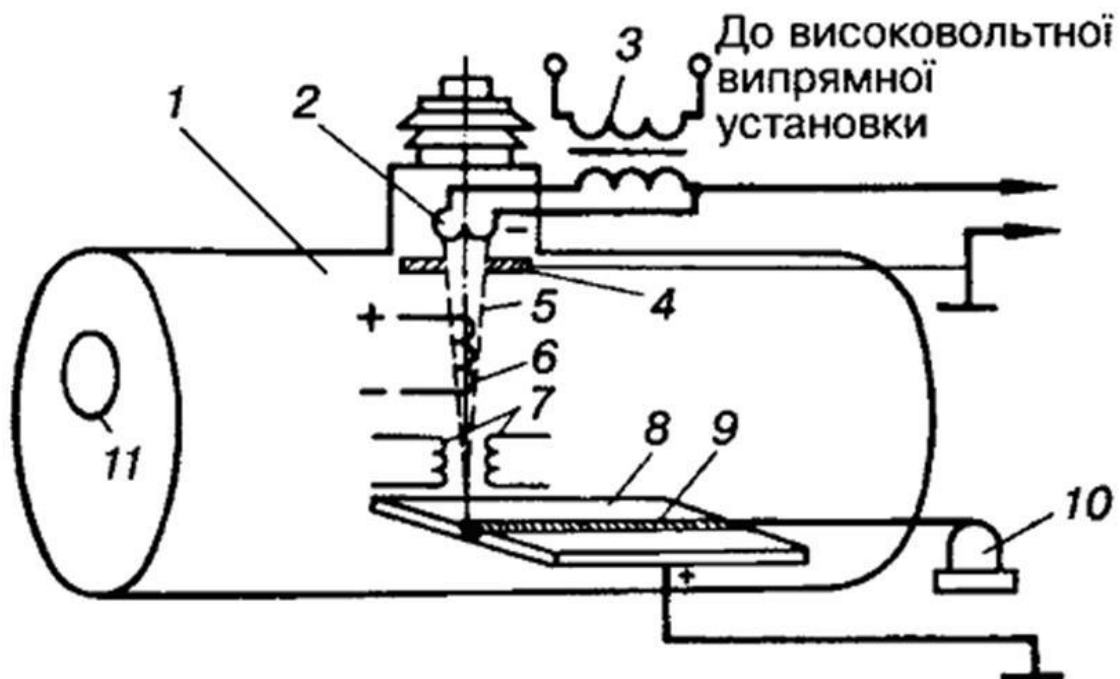


Рис. 33. Схема зварювання електронним променем

Джерелом випромінювання електронів є розжарений катод у вигляді вольфрамової спіралі 2, що живиться від низьковольтного трансформатора 3. Для прискорення руху електронів є прискорювальний анод 4.

Напруга між катодом і анодом становить від 10...35 до 150 кВ. При нагріванні катода до  $2400\text{ }^{\circ}\text{C}$  і під дією прискорювального електричного поля з поверхні катода випромінюється потужний потік електронів 5. На шляху до виробу 8 він проходить крізь фокусирувальну лінзу, яка є електромагнітною котушкою 6. Фокусуванням і зміною сили струму електронний промінь може бути сфокусований на площі  $0,1 \dots 20\text{ мм}^2$  відхильною системою, яка також складається з кількох

електромагнітних котушок 7.

Фокусну пляму можна переміщувати по поверхні в різних напрямках. Щоб перемістити промінь по лінії зварювання, всередині камери пересувають зварювальні деталі за допомогою електропривода 10, розміщеного поза камерою. Спостерігають за процесом зварювання крізь оглядове вікно 11.

### Дугове зварювання під водою

Дугової зварка під водою заснована на здатності дуги стійко горіти в газовому міхурі при інтенсивному охолодженні навколишньою водою. Схема зварювання під водою наведено на рис. 34.

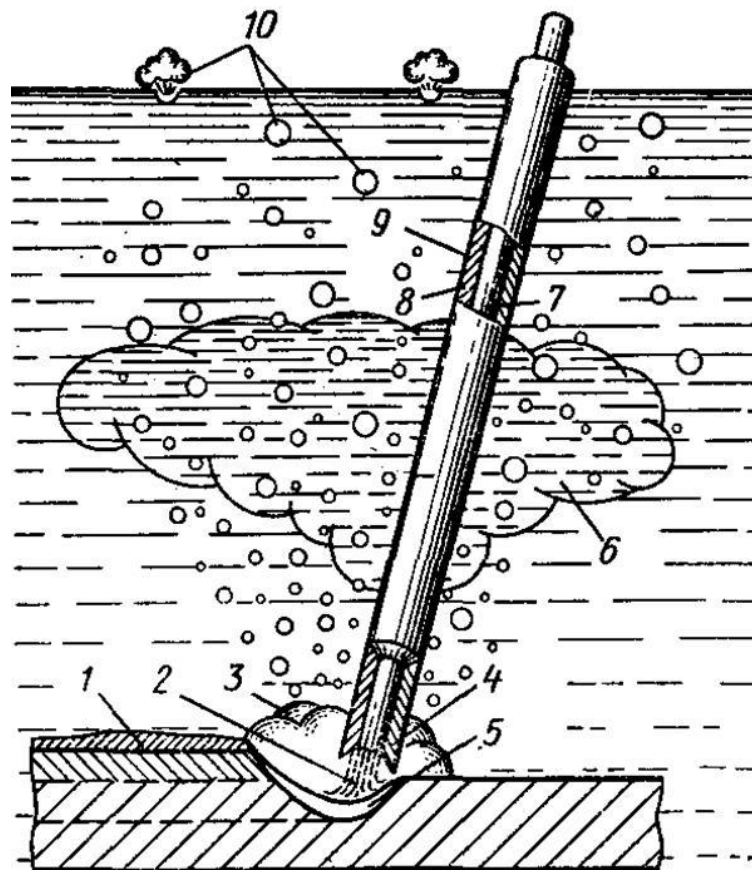


Рис. 34. Схема зварювання під водою:  
1 — шлак; 2 — дуга; 3 — газовий міхур; 4 — козирок; 5 — зварювальна ванна; 6 — хмара муті;  
7 — металевий стержень; 8 — обмазка;  
9 — водонепроникне покриття; 10 — пухирці газу.

Газовий міхур утворюється за рахунок випаровування і розкладання води, пари і газів розплавленого металу та обмазки електроду.

Навколо дуги виділяється велика кількість газів, що приводить до підвищення тиску в газовому міхурі і часткового виділення газів у вигляді пухирців на поверхні води. Вода розкладається в дузі на вільний водень і кисень, що з'єднується з металом і утворює оксиди. Продукти згорання металу і обмазки (переважно оксиди заліза) утворюють хмару суспензії, яка ускладнює спостереження за дугою.

Напруга на дузі під водою потрібна від 30 до 35 В. Зварку під водою виконують на постійному і змінному струмі. На постійному струмі дуга горить більш стійко, ніж на змінному, оскільки постійний струм розкладає воду ще до збудження дуги, а змінний струм розкладає воду й утворює газовий міхур у момент короткого замикання під дією високої температури.

Електроди мають у складі покриттів **феросплави**. Наприклад, для зварювання та різання вуглецевих та низьколегованих сталей використовують покриття, що має такий склад (%):  $TiO_2 \approx 35$ ;  $CaF_2 \approx 10$ ; феромарганець  $\approx 5$ ; феротитан  $\approx 12$ ; феросиліцій  $\approx 3$ ; мармур  $\approx 10$ ; цирконова руда  $\approx 5$ ; поташ  $\approx 10$ ; рідке скло  $\approx 20$ .

**Водонепроникність** покриття досягається його просоченням парафіном, нітролаком, розчинами целулоїду в ацетоні та синтетичних смол в дихлоретані. Просочення проводиться трьох-чотирьохкратним зануренням покритих електродів у відповідний розчин з подальшим просушуванням при кімнатній температурі після кожного занурення.

Для підводної зварки застосовують спеціальні електротримачі, які мають надійну електроізоляцію по всій поверхні (рис. 35).

Зі збільшенням глибини й тиску води потрібно збільшувати напругу і струм. Підводна зварка можлива в прісній річковій і солоній морській воді. Як джерела живлення використовують однопостові і багатопостові зварювальні агрегати, зварювальні перетворювачі і трансформатори, що мають напругу холостого ходу 70 – 110 В.

При зварці під водою виконують **з'єднання внахльстку, таврові, кутові та стикові**. Зварку у вертикальному положенні проводять зверху вниз, при цьому електрод нахилений у бік ведення зварки. Діаметр електрода, який використовують, змінюється від 4 до 5 мм. Сила струму – від 160 до 275 А.

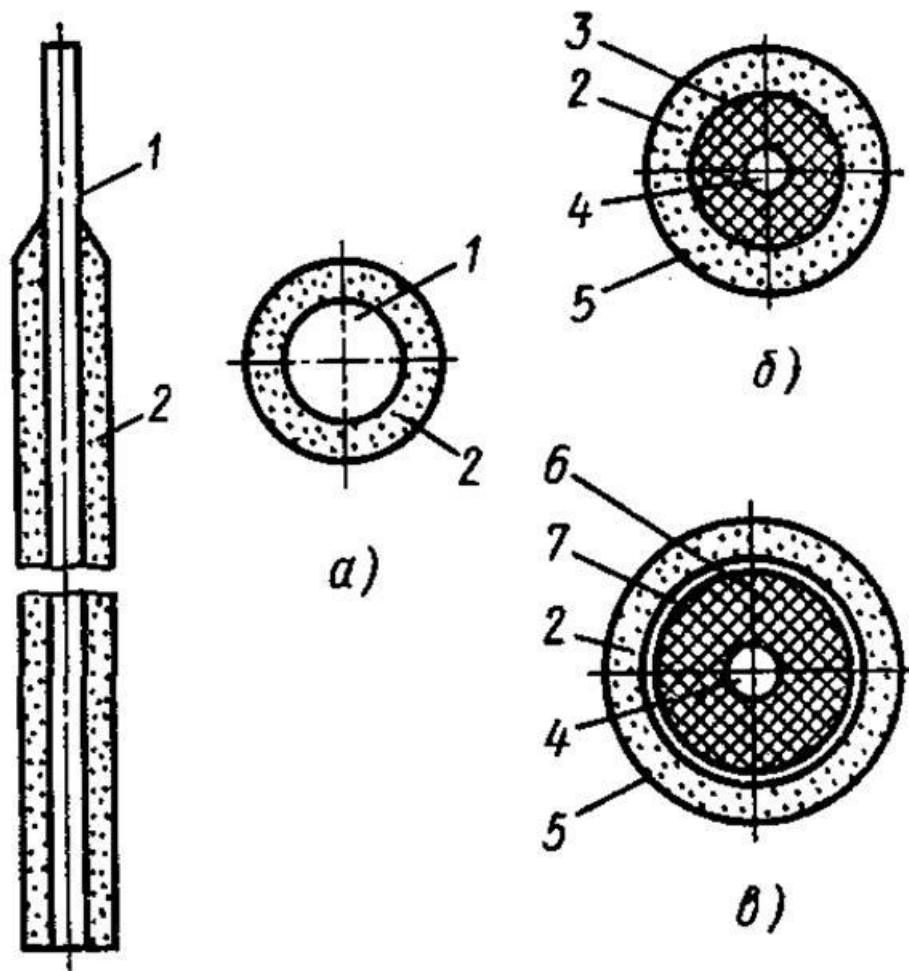


Рис. 35. Електроди для підводної зварки і різання:  
 а — плавкий електрод для зварки;  
 б — трубчастий електрод для різання;  
 в — карборундовий електрод для різання;  
 1 — металевий стержень; 2 — покриття; 3 — сталева трубка;  
 4 — канал для кисню; 5 — водонепроникне покриття; 6 — карборундовий стержень; 7 — металева оболонка.

Сила струму при підводній зварці в нижньому положенні вища, ніж при зварці в звичайних умовах. При зварці у вертикальному положенні сила струму знижується на 10%, а в стельовому положенні — на 15%.

**Зміна електроду** проводиться тільки після відімкнення зварювального струму.

Під водою **добре** зварюється маловуглецева сталь, **задовільно** — низьколегована сталь;

погано зварюється сталь, що схильна до гартування.

**Застосування.** Найбільше розповсюдження отримало наплавлення, заварка тріщин у корпусі, обварювання головок заклепок, приварка латок, суднопідіймальних провудин, ребер жорсткості, зварка рульових пристроїв, трубопроводів, різних підводних споруд.

### Зварювання тертям

Для зварювання тертям використовують перетворення механічної енергії в теплову, що здійснюють обертанням і тертям з'єднаних торцевих поверхонь. Зварювані вироби нагріваються до пластичного стану, після чого їх стискають осьовим зусиллям.

Якщо поперечний переріз деталей відрізняється від кола, то використовують зворотно-поступальний рух однієї деталі (рис. 36 а). При зварюванні деталей обмеженої довжини обертають одну (рис. 36 б) або обидві (рис. 36 в) деталі. Коли вироби мають велику довжину і їх обертання утруднене, можна використовувати проміжну вставку, яка обертається (рис. 36 г).

Зварюванням тертям з'єднують у стик вироби круглого перерізу, наприклад, труби, стержні, різальні інструменти, які виготовляють з однорідних і різнорідних чорних і кольорових металів або їх сплавів і різних пластмас.

Для зварювання тертям використовують токарні, свердлильні та інші металорізальні верстати, а також спеціалізовані зварювальні машини.

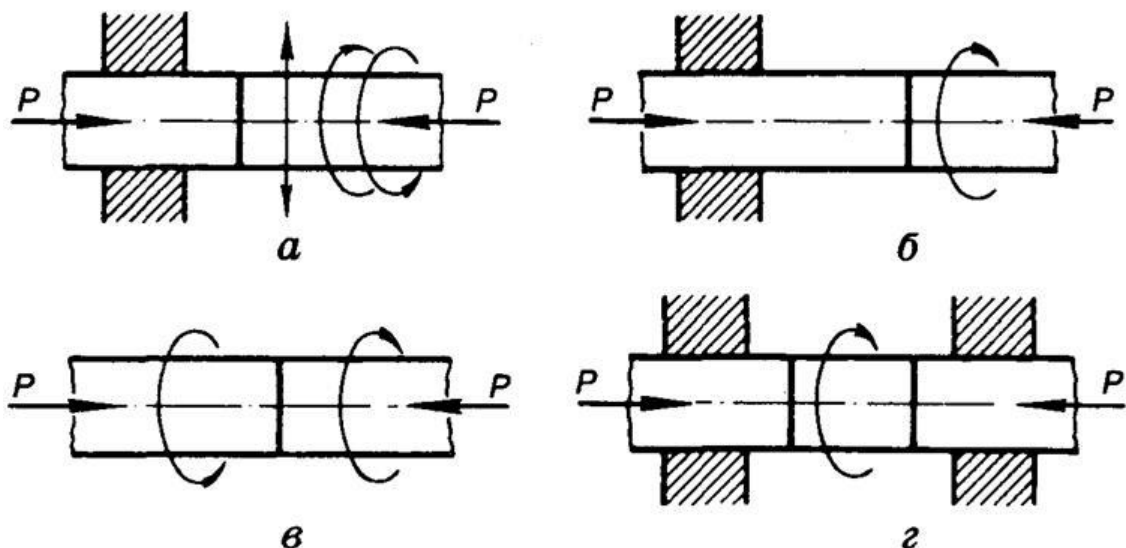


Рис. 36. Основні схеми зварювання тертям

Тиск осадки не перевищує 25 МПа при зварюванні легких і пластичних металів і 250 МПа – при зварюванні твердих металів.

Зварювання тертям за продуктивністю не поступається перед контактним зварюванням оплавленням, а в економічному відношенні воно навіть вигідніше, оскільки в цьому разі споживана потужність приблизно в 10 разів менша.

Спосіб зварювання тертям простий, легко піддається автоматизації і програмному керуванню.

### Індукційне зварювання

Індукційне зварювання виконують нагріванням металу до пластичного стану або до оплавлення за допомогою індукційних струмів середньої (2...10 кГц) або високої (70...500 кГц) частоти з наступним стисканням деталей. При зварюванні труб заготовка 1 переміщується між обтискними роликami 3 і нагрівається індуктором 2 (рис. 37).

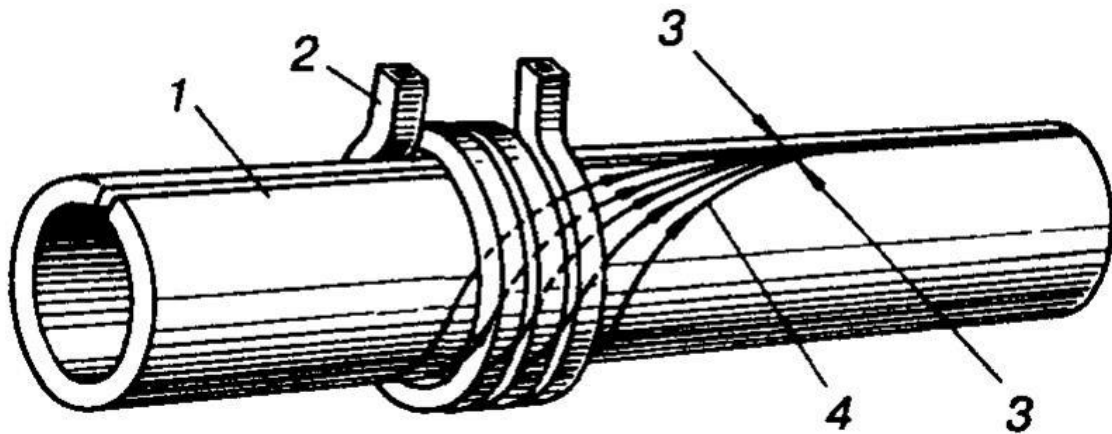


Рис. 37. Схема індукційного зварювання труб

Під час проходження струму крізь індуктор в трубній заготовці індукуються вторинні струми 4. Внаслідок великої густини струму метал у цій ділянці дуже швидко нагрівається до температури плавлення. При наступному обтисканні трубної заготовки створюється зварне з'єднання з витісненням стику розплавленого металу.

Найчастіше цей спосіб застосовують для виготовлення зварних труб з поздовжнім прямим або спіральним швом і армування твердими сплавами різального інструменту.

Індукційними струмами високої частоти зварюють труби, що

мають діаметри від кількох міліметрів до 1600 мм при товщині стінок 0,1... 16 мм.

- **Переваги** методу:

- можливість зварювати труби з гарячокатаної, неочищеної від окалини, заготовки, що неможливо при контактному зварюванні, або контактним підведенням струмів високої частоти;
- висока продуктивність;
- можливість зварювання труб з легкоокислюваних металів, аустенітних і жароміцних сталей, сплавів алюмінію та інших металів.

### **Дифузійне зварювання**

Дифузійне зварювання ґрунтується на взаємній дифузії контактуючих металів, що перебувають у вакуумі  $133 \cdot 10^{-3} \dots 133 \cdot 10^{-5}$  Па або в атмосфері інертних захисних газів, нагрітих до 400... 1300°C і стиснених до 10...20 МПа. Нагріваються вироби індукційними струмами високої частоти, електронним променем, контактним та іншими способами.

Дифузійним зварюванням можна з'єднувати як однорідні, так і різнорідні метали та їхні сплави, а також металокерамічні вироби з металами. Наприклад, зварюються бронза з міддю, тантал з вольфрамом, графіт з титаном, скло з залізонікелькобальтовим сплавом, тугоплавкі (ніобій, тантал, молібден, вольфрам) і хімічно активні (титан, цирконій, берилій) метали.

**Перевага** способу. Виготовлення міцного з'єднання без помітних змін фізико-механічних властивостей зварних з'єднань у зоні зварювання. **Недоліки** способу. Трудомісткість і тривалість процесу (6...18 хв).

### **Лазерне зварювання**

Для лазерного зварювання джерелом теплової енергії є потужний сконцентрований світловий промінь, який утворюють у спеціальних установках, що називаються лазерами. Лазер складається з циліндричного рубінового стержня 1 (склад: оксид алюмінію  $Al_2O_3$  і невелика кількість оксиду хрому  $Cr_2O_3$ ), ксенонової лампи 2, лінзи 4 і охолоджувальної системи 3 (рис. 37).

Під час спалаху ксенонової лампи 2 атоми хрому рубінового кристалу 1 переходять з нормального в збуджувальний стан, а через кілька мілісекунд повертаються в попередній стан і випромінюють фотони червоного світла.



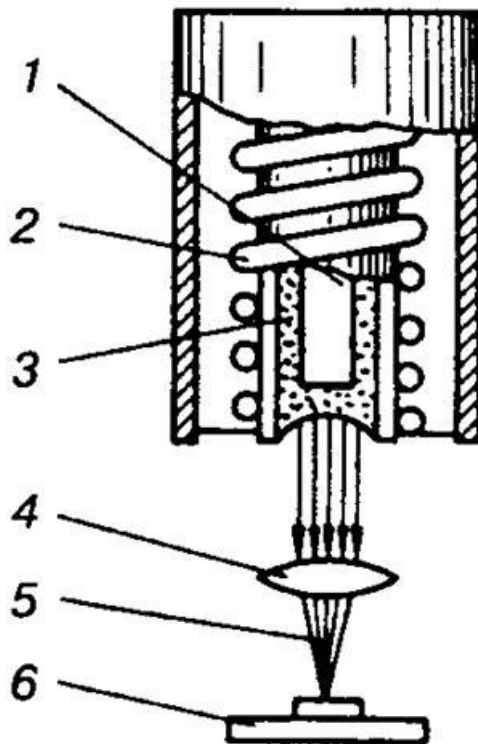


Рис. 37. Схема лазерного зварювання

Потік їх уздовж осі стержня спричиняє випромінювання нових фотонів. Пройшовши крізь лінзу 4, сфокусований потік 5 попадає на виріб 6. Тривалість імпульсу дорівнює тисячним і мільйонним часткам секунди. Лазерним променем можна зварювати різні метали товщиною до 0,5 мм.

### **Зварювання вибухом**

Для зварювання вибухом лист 3, який треба приварити по всій площі до листа 4, встановлюють на відстані 2...3 мм і під кутом  $\alpha$  до нього (рис. 39). На поверхню листа 3 укладають вибухову речовину 2 (порох, гексоген тощо), яка займається від запальника 1.

Під час спалахування вибухівки потужна вибухова хвиля поширюється по всій поверхні листа 3 і створює на нього величезний тиск. При зіткненні зварювальних поверхонь виникають пластична деформація і розплавлення мікроділянок, внаслідок чого відбувається зварювання. Зварювання вибухом дає можливість з'єднати як однорідні (срібло, алюміній, титан, мідь, сталь), так і різнозідні (титан і сталь, титан і мідь, алюміній і титан) метали.

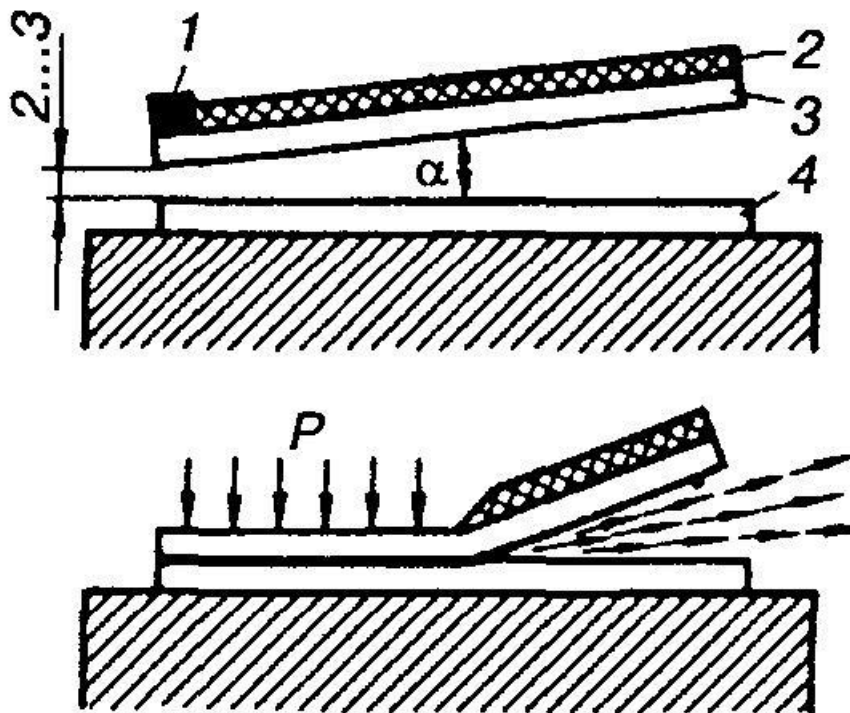


Рис. 39. Схема зварювання вибухом

## 1.5. ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ СПЛАВІВ РІЗНОГО ХІМІЧНОГО СКЛАДУ

### Зварювання чавунів

*Зварювання чавуну* застосовують для усунення браку у чавунних виливках, під час ремонтних робіт (наприклад, при заварюванні тріщин у блоках циліндрів двигунів, у станинах верстатів і пресів), при виготовленні зварно-литих конструкцій.

Основні труднощі в таких роботах пов'язані з утворенням у зварному з'єднанні зони відбілювання – структур цементиту, які виникають внаслідок швидкого охолодження розплавленого чавуну, і появою у зоні термічного впливу структур гартування (мартенситу, троститу), що утворюються через швидке охолодження чавуну, нагрітого вище від точки  $A_{C1}$  ( $727^{\circ}\text{C}$ ).

Чавун з такими структурами дуже твердий і крихкий, схильний до утворення тріщин, його важко обробляти різальним інструментом. Тому основним завданням при зварюванні чавуну є виготовлення зварного з'єднання з однаковою твердістю металу шва і перехідних зон, яке не мало б тріщин і яке можна було б механічно обробляти.

Методи зварювання чавуну можна поділити на три групи: *гаряче, напівгаряче і холодне зварювання.*

### **Гаряче зварювання чавуну**

*Гаряче зварювання* виконують із попереднім і супровідним підігріванням усього виробу до 400...650°C у горнах, печах або інших пристроях, які опалюють деревним вугіллям, коксом тощо. Найчастіше зварюють ацетиленокисневим полум'ям. Як присадний метал застосовують чавунні стрижні діаметром 5... 15 мм, які містять 3,0...3,5 % вуглецю і 3,0...4,6 % силіцію.

У ручному зварюванні використовують чавунні електроди з покриттям, яке містить графіт, феросиліцій та інші компоненти. Напівавтоматичне зварювання виконують самозахисним порошковим дротом або із захистом з вуглекислого газу. Для електрошлакового зварювання застосовують пластинчасті електроди з сірого чавуну.

Після зварювання деталь повільно охолоджують разом із піччю або засипають сухим піском чи шлаком. Гаряче зварювання чавуну забезпечує найкращу якість зварних з'єднань без зон відбілювання і тріщин. Наплавлений метал після зварювання легко піддається механічній обробці. Цей спосіб застосовують при зварюванні блоків циліндрів, станин та ін.

### **Напівгаряче зварювання чавуну**

При такому зварюванні деталь нагрівають у місцях зварювання до температури 250...450 °С. Такий метод застосовують для деталей невеликої товщини і при невеликому об'ємі наплавленого металу. Зварюють ацетиленокисневим полум'ям і рідше – електродуговим способом вугляними електродами. Зварені деталі, як і при гарячому способі, засипають сухим піском або шлаком для повільного остигання.

### **Холодне зварювання чавуну**

Зварювання здійснюють без підігрівання виробу. Для цього найчастіше використовують дугове зварювання сталевими електродами, електродами з кольорових металів (мідними, мідно-залізними, мідно-нікелевими) або порошковим дротом.

**Зварювання сталевими електродами** застосовують під час ремонту деталей, які після зварювання не потребують механічної обробки (станини і рами потужних дизелів і верстатів, циліндри газоповітродувних машин, корпуси електродвигунів великої потужності). Зварюють електродами невеликого діаметра при малій

силі струму так, щоб основний метал не встигав розігріватися.

Зварювання електродами з монель-металу (70 % нікелю, 30 % міді) застосовують, коли потрібно одержати м'який метал шва, що легко піддається механічній обробці.

Мідними, мідно-нікелевими і залізонікелевими електродами зварюють складні виливки з високоміцного чавуну, коли після зварювання потрібна механічна обробка.

### **Зварювання міді**

Основним завданням при зварюванні міді є захист її від окислення і розкислення зварювальної ванни.

Найбільш поширене газове зварювання міді ацетиленокисневим полум'ям з допомогою пальників, які в 1,5...2 рази потужніші за пальники для зварювання сталей. Присадним металом є мідні прутки, що містять такі розкислювачі, як фосфор і силіцій. Якщо товщина виробів більша за 5...6 мм, їх спочатку підігрівають до температури 250...300°C. Флюсами при зварюванні є прожарена бура або суміш, що складається з 70% бури і 30% борної кислоти. Щоб підвищити механічні властивості і поліпшити структуру наплавленого металу, мідь після зварювання проковують при температурі близько 200...300°C. Потім її знову нагрівають до 500...550°C і охолоджують у воді.

Мідь зварюють також електродуговим способом вугляними або металевими електродами, у струмені захисних газів, під шаром флюсу, на конденсаторних машинах, способом тертя.

### **Зварювання латуні**

Латунь – це сплав міді з цинком (до 50 %).

Основне забруднення при цьому – це випаровування цинку, в результаті чого шов втрачає свої властивості, у ньому виникають пори. Крім цього, пари цинку отруйні, тому зварники повинні працювати в спеціальних масках.

Латунь, в основному, зварюють ацетиленокисневим окислювальним полум'ям, при якому на поверхні ванни створюється плівка тугоплавкого оксиду цинку, яка зменшує подальше вигорання і випаровування цинку. Флюси використовують такі самі, як і при зварюванні міді. Вони створюють на поверхні ванни шлаки, які зв'язують оксиди цинку і затруднюють вихід парів із зварювальної ванни.

Латунь зварюють також у захисних газах і на контактних машинах.

### **Зварювання бронзи**

Найчастіше застосовують зварювання металевим електродом. Присадним металом є прутки того самого складу, що й основний метал, а флюсами або електродним покриттям – хлористі та фтористі сполуки калію і натрію.

### **Зварювання алюмінію**

Найчастіше використовують газове зварювання алюмінію ацетиленокисневим полум'ям. Застосовують флюси або електродні покриття, до складу яких входять фтористі і хлористі сполуки літію, калію, натрію та інших елементів. Під впливом флюсів  $Al_2O_3$  переходить у леткий  $AlCl_3$ , що має низьку густину і самосублімується при температурі  $183^\circ C$ . Як присадний метал при всіх способах зварювання використовують дрід або стрижні того самого складу, що й основний метал.

Алюміній добре зварюється електронним променем у вакуумі, на контактних машинах, електрошлаковим та іншими способами.

### **Зварювання алюмінієвих сплавів**

Сплави алюмінію з магнієм і цинком зварюють, як і алюміній. При зварюванні дуралюміну (сплав алюмінію з міддю) в зоні термічного впливу міцність зменшується на 40...50%. Дуралюмін зварюють в захисних газах, і таке зниження міцності відновлюється до 80...90% термічною обробкою відносно міцності основного металу.

### **Зварювання магнієвих сплавів**

Для зварних конструкцій використовують переважно **магнієво-манганові сплави**, які зварюються за допомогою **контактного газового і аргонодугового зварювання**.

При **газовому зварюванні** застосовують фторидні флюси, які не спричиняють корозії зварних з'єднань.

**Дугове зварювання** магнієвих сплавів металевими електродами через низьку якість зварних швів **не застосовується**.

### **Зварювання нікелю**

Нікель і його сплави зварюють вольфрамовим електродом в аргоні, дуговим зварюванням покритими електродами під флюсом. Зварювання в аргоні виконують на постійному струмі при прямій полярності. Як присадний метал використовують дрід того самого складу, що й основний метал. Автоматичне зварювання здійснюється

під фторидними флюсами.

### **Зварювання титану**

Титан зварюють вольфрамовими електродами в середовищі інертних газів і плавкими металевими електродами під фторидними і хлоридними флюсами, які не містять кисневих сполук. Зварювання в середовищі інертних газів ведуть на постійному струмі прямої полярності, а зварювання під флюсом – на постійному струмі зворотної полярності.

Газове зварювання для титану і його сплавів не застосовується.

### **Зварювання свинцю**

Свинець зварюють ацетиленокисневим і воднево-кисневим полум'ям. Зварювання виконують в нижньому положенні з застосуванням присадного металу або без нього.

### **Зварювання цирконію, танталу, ніобію і молібдену**

При виготовленні конструкцій з **цирконію, танталу і ніобію** найбільш поширено використовують зварювання в аргоні і гелії вольфрамовими і плавкими електродами, а також електронним променем у вакуумі.

**Молібден** зварюють як електронним променем у вакуумі, так і вольфрамовими електродами в камерах з контрольованою атмосферою (аргон або гелій), якими заповнюються вакуумні камери.

### **Зварювання сталей**

**Вуглецеві сталі.** Маловуглецеві сталі (до 0,25% С) добре зварюються різними способами. Середньовуглецеві сталі (0,26... 0,45% С) зварюються з попереднім підігріванням, а іноді й з наступною термообробкою – нормалізацією або відпуском чи відпалюванням. Високівуглецеві сталі (0,46...0,75% С) погано зварюються, тому їх не рекомендують для виготовлення зварних конструкцій.

**Низьколеговані сталі.** Низьколеговані сталі зі вмістом легуючих елементів до 5% мають підвищену схильність до гартування і утворення гартувальних тріщин у зоні термічного впливу. Більшість низьколегованих сталей при товщині понад 10 мм зварюють з попереднім підігріванням до температури 150...350°C, а після зварювання піддають термічній обробці – нормалізації і високотемпературному відпуску.

Для виготовлення електродів використовують низьколегований зварювальний дріт. Електродні покриття мають фтористо-кальцієву шлакову основу.

**Хромисті сталі.** Хромисті корозієстійкі сталі зі вмістом хрому 13...18% при наявності вуглецю понад 0,1% мають схильність до гартування на повітрі. Зварювання цих сталей виконують з підігрівом до 200...250°C і наступним відпалюванням або високотемпературним відпуском для уникнення появи структури мартенситу в зварюваних швах і в навколошовних зонах.

Хромисті сталі зварюють електродами з хромонікелевого дроту або дроту того самого складу, що й основний метал.

Хромисті сталі, які містять хрому понад 25%, наприклад, марок 15X25, 13X28, зварюють електродами, металевий стрижень яких має такий самий склад, що й основний метал, але введений титан, алюміній та інші елементи, які сприяють подрібненню зерна. Застосовують також проковування зварних швів.

### **Зварювання хромонікелевих аустенітних сталей**

Основними труднощами при зварюванні хромонікелевих сталей є утворення при температурі 500...700°C карбідів хрому і випадання їх на границях зерен, що погіршує антикорозійні властивості зварних з'єднань.

Хромонікелеві сталі зварюють при мінімальному розігріванні і великих швидкостях охолодження. Для повного відновлення аустенітної структури після зварювання рекомендується виробити піддавати гартуванню від температури 1050... 1100°C з наступним швидким охолодженням у воді.

Ручне дугове зварювання виконують на малих струмах аустенітними хромонікелевими електродами малого діаметра.

Газове зварювання здійснюють із застосуванням флюсів з бури, борної кислоти і плавикувального шпату.

Зварювальний дріт застосовують того самого складу, що й основний метал, але з більш низьким вмістом вуглецю і з присадками титану, молібдену та ніобію.

Тонколистові вироби зварюють на точкових і шовних контактних машинах, у середовищі вуглекислого газу, аргонодуговим способом.

## 1.6. НАПРУЖЕННЯ, ДЕФОРМАЦІЇ, ДЕФЕКТИ І КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ

### Напруження і деформації зварних швів

Напруження та деформації зварних швів виникають унаслідок *нерівномірного нагрівання* основного металу, *ливарної усадки* металу зварного шва і *зміни об'єму металу* в зоні термічного впливу при структурних перетвореннях металу.

**Нерівномірне нагрівання** основного металу є результатом нагрівання до високих температур лише тієї частини металу, що безпосередньо межує зі зварним швом. Вільній зміні її об'єму перешкоджають сусідні, холодні ділянки, внаслідок чого в ділянках, що нагріваються, виникають напруження стискання, а в холодних – напруження розтягання. При досягненні границі текучості в нагрітих ділянках виникають пластичні деформації. Під час охолодження металу в цих зонах виникають напруження розтягання, що призводять до появи в зварних виробках деформації або короблення.

**Ливарна усадка** металу шва може бути **поздовжньою** (рис. 40 а) і **поперечною** (рис. 40 б).

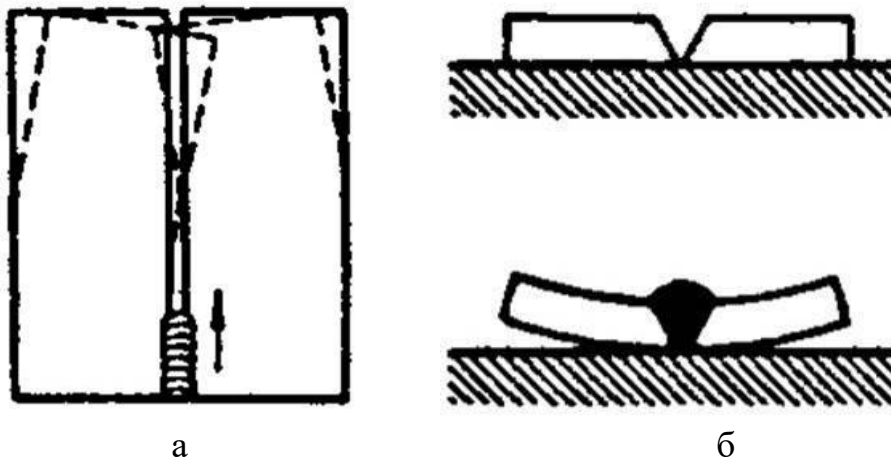


Рис. 40. Поздовжня (а) і поперечна (б) ливарна усадка металу шва.

**Поздовжня усадка** виникає при зварюванні в стик двох листів великої довжини. У процесі зварювання внаслідок поздовжньої усадки зменшується зазор між кромками листів. Коли кромки зійдуться впритул, то при невеликій товщині листів вони почнуть наповзати один на одного (рис. 40 а).

**Поперечна усадка** виникає при зварюванні в стик листів із У-подібним розкриттям кромки. Оскільки об'єм наплавленого металу з



широкого боку шва більший, то й усадка тут буде більшою. Через це листи після зварювання деформуються так, як це показано на рис. 40 б.

**Зміна об'єму металу внаслідок структурних перетворень** відбувається в зоні термічного впливу головним чином при зварюванні металів, схильних до гартування. Напруження, що виникають при цьому, можуть бути причиною утворення тріщин при зварюванні деталей із цих металів.

### **Способи зменшення напружень і деформацій**

**Попереднє підігрівання** зменшує різницю температур між ненагрітим і нагрітим до високих температур основним та розплавленим присадним металом і цим сприяє зниженню внутрішніх напружень. Температура підігріву при зварюванні сталей становить 100...600°C, чавуну – 500...800°C, алюмінію – 250...270°C, бронзи – 300...400°C.

**Відпалювання** після зварювання знімає внутрішні напруження і сприяє підвищенню пластичності зварних швів. Сталі, схильні до гартування, піддають після зварювання відпуску при температурі 300...400°C.

### **Способи зменшення напружень і деформацій**

**Метод зворотних деформацій** полягає в тому, що деталі перед зварюванням установлюють з урахуванням наступної деформації (рис. 41 а) або деформують у зворотному напрямі (рис. 41 б) на величину  $\alpha$  деформації, яку зумовить зварювання.

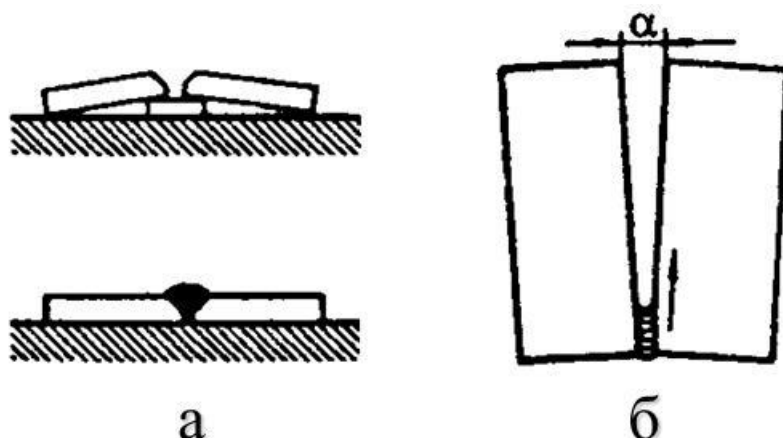


Рис. 41. Поздовжня (а) і поперечна (б) ливарна усадка металу шва.

**Зрівноважування деформацій** застосовують при зварюванні Х-подібних (рис. 42 а), таврових (рис. 42 б) і трубних (рис. 42 в) деталей. При вказаній (цифрами) на рисунках послідовності накладання швів наступні шви спричиняють деформації, протилежні тим, що виникли у попередніх швах. У результаті такого методу зварювання деформації значно зменшуються.

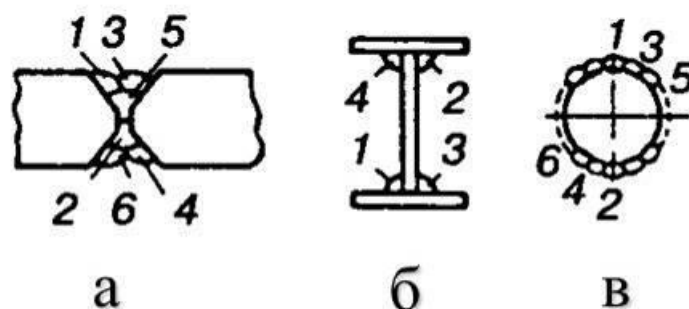


Рис. 42. Зрівноважування деформацій при зварюванні Х-подібних (а), таврових (б) і трубних (в) деталей

**Рівномірний розподіл деформацій** досягають поділом довгих швів на окремі короткі ділянки, які зварюють зворотньо-ступінчастим методом (рис. 43 а). Деформація, що виникає при непереривчастому зварюванні (рис. 43 б), рівномірно розподіляється по всій довжині шва і стає зовсім незначною (рис. 43 в).

**Жорстке закріплення** використовують при зварюванні складних деталей. При цьому застосовують спеціальні пристрої. Жорстке закріплення перешкоджає коробленню деталей, тоді як зусилля, що виникають у процесі зварювання, спричиняють утворення пластичної деформації нагрітого металу. Після закінчення зварювання, незважаючи на великі внутрішні напруження, деформація не може значно зрости, оскільки вся система стає досить жорсткою.



Рис. 43. Зварювання зворотно- методом (а) і порівняння деформації, що виникає при непереривчастому (б) та зворотно- ступінчастому (в) зварюванні

### Дефекти зварних з'єднань

Дефекти зварних з'єднань розподіляють на наступні групи:

- 1) за розташуванням на зовнішні, внутрішні і наскрізні;
- 2) за формою на компактні і протяжні, плоскі і об'ємні, гострі і округлі;
- 3) за розмірами на дрібні, середні і крупні;
- 4) за кількістю на одиничні і групові.
- 5) за концентрацією напруг на гострі, що створюють високу концентрацію напруг (тріщини, непровари, подрізи) та тупі (пори, шлакові включення).

Вплив дефектів на міцність зварних з'єднань зумовлений, головним чином, зменшенням робочого перетину і концентрацією напруг.

### Зовнішні дефекти зварних з'єднань

До зовнішніх дефектів відносяться порушення форми, розмірів і зовнішнього вигляду швів: нерівномірна ширина шва по довжині, нерівномірна висота шва, нерівномірні катети кутових швів, подрізи, напливи, прожоги, незаварені кратери, свищі.

**Підріз** – це поглиблення на основному металі уздовж лінії

сплаву зварного шва з основним металом (рис. 44).

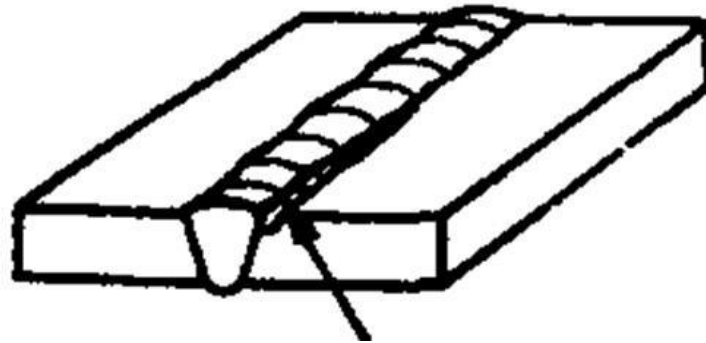


Рис. 44. Підріз

Підрізи ослабляють перетин основного металу в перехідній зоні.

Для запобігання підрізів потрібно добре прогріти металеву підставу зварювальної ванни і не допускати, щоб швидкість розплавлення основного і присадного металів випереджала швидкість прогрівання основного металу, що контактує зі зварювальною ванною. Підрізи швів допускаються для невідповідальних конструкцій глибиною не більше 10% від товщини зварюваних елементів, але не глибше 1,5 мм. Більш глибокі підрізи необхідно виправити наплавленням тонкого шва.

Глибина підрізів при зварці всіх видів будівельних конструкцій допускається не більше 0,5 мм при товщині сталі від 4 до 10 мм і не більше 1 мм при товщині сталі понад 10 мм. Для зварних конструкцій, що працюють у районах з холодним кліматом, допускаються підрізи уздовж напрямку зусиль глибиною до 5% товщини металу для товщини до 20 мм і не більше 1 мм при більшій товщині. Малі підрізи дозволяється зачищати без попередньої заварки, великі усувають заваркою і зачисткою.

**Причинами підрізів** є велика сила струму і велика потужність зварювального пальника.

### **Наплив**

**Наплив** — це натікання металу шва на поверхню основного металу або раніше виконаного валу без сплавлення з ним (рис. 45).

Напливи утворюються при заниженій напрузі дуги, наявності на зварюваних кромках товстого шару окалини, зайвої кількості присадного металу, який у розплавленому стані не вміщається в обробленні кромки або в зазорі. При зварці кільцевих поворотних

стикових швів поява напливів викликається неправильним розташуванням електроду щодо осі шва. Напливи не мають великої ширини, але уздовж шва в деяких випадках розташовуються по всій довжині.

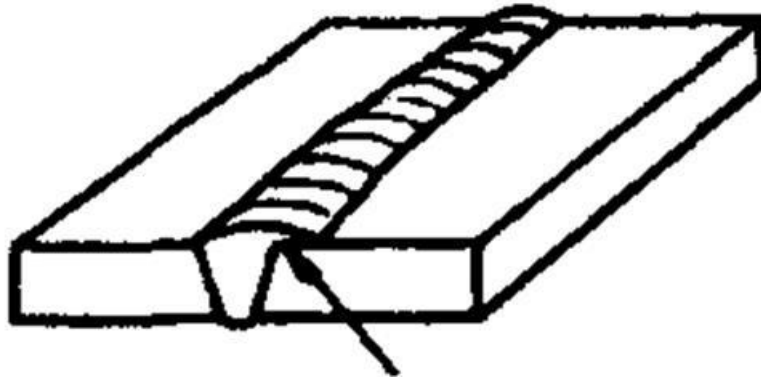


Рис. 45. Наплив

### Прожог

*Прожог* – це дефект, при якому рідкий метал зварювальної ванни витікає через наскрізний отвір у шві з утворенням яскраво вираженого поглиблення або отвору (рис. 46).

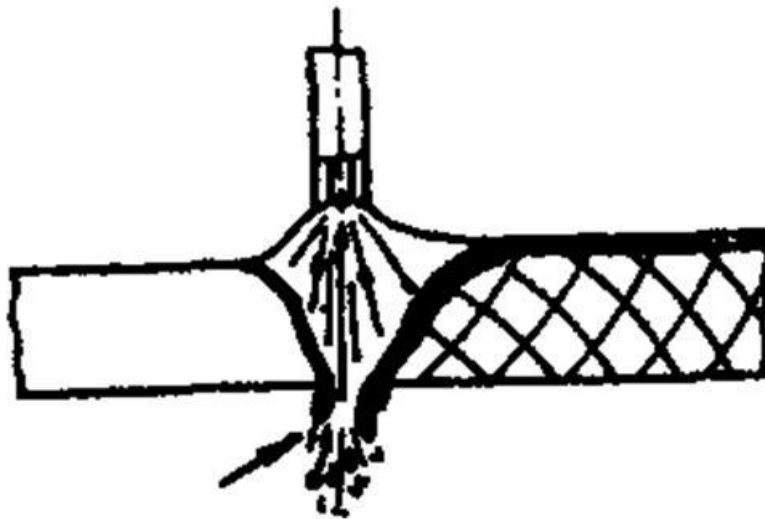


Рис. 46. Прожог

**Причиною прожогів** є завищений зварювальний струм, раптова зупинка зварювання, збільшений зазор між кромками, недостатня

товщина підкладки або нещільне прилягання її до основного металу уздовж кромки.

### Незаварений кратер

**Незаварений кратер** – це коли в місцях неправильного обриву дуги утворюється поглиблення, у якому можуть бути усадкові рихлості, що приводять до утворення тріщин. Тому ці дефекти вирубують, зачищають і заварюють (рис. 47).

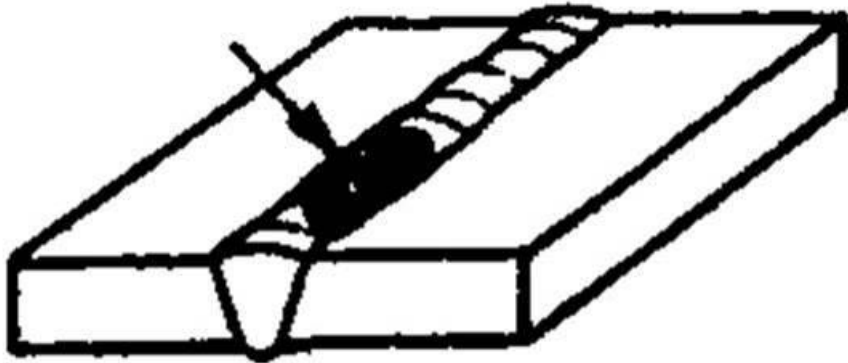


Рис. 47. Незаварений кратер

### Свищі

**Свищі** – це дефекти, які утворюються з каналних пор у вигляді порожнин, що виходять на поверхню (рис. 48).

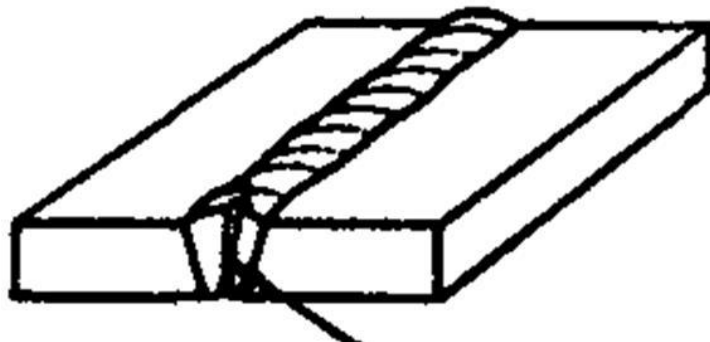


Рис. 48. Свищ

### Внутрішні дефекти зварних з'єднань

Утворення **внутрішніх дефектів** при зварці пов'язане з металургійними, термічними і гідродинамічними явищами, що відбуваються при формуванні зварного шва.

До внутрішніх дефектів відносяться **тріщини (гарячі і**

холодні), **непровар, пори, неметалеві включення.**

**Тріщина** – це часткове місцеве руйнування в зварному шві і (або) прилеглих до нього зонах. Тріщини можуть виходити або не виходити на поверхню. Вони є небезпечним і завжди неприпустимим дефектом. Це один з основних видів браку при зварці. Під дією залишкових або подальших робочих напруг тріщини можуть розповсюджуватися з великою швидкістю (співмірною зі швидкістю звуку). Тріщини утворюються найчастіше під час зварювання сталей із підвищеним вмістом вуглецю або легуючих домішок та коли метал шва насичений сіркою, фосфором або іншими шкідливими елементами.

Розрізняють **холодні і гарячі тріщини** залежно від температури, при якій відбувається їх виникнення.

#### **Гарячі тріщини зварних з'єднань**

**Гарячі тріщини** – це руйнування металу при кристалізації в рідких прошарках навкруг зерен під дією напруг розтягу. Ці напруги з'являються внаслідок ускладненої усадки металу шва та примикаючих до нього нерівномірно нагрітих ділянок основного металу.

**Гарячі тріщини** утворюються, якщо пластична деформація за час перебування металу в температурному інтервалі крихкості перевершить запас пластичності його в цьому інтервалі температур. Для гарячих тріщин характерне міжкристалічне руйнування, що розвивається по межах зерен за наявності між ними рідкого прошарку або за рахунок міжзеренного ковзання, що відбувається при підвищених температурах після закінчення кристалізації.

Гарячі тріщини виникають як у металі шва (частіше), так і в зоні термічного впливу. Вони бувають подовжніми (рис. 49), поперечними, подовжніми з поперечними відгалуженнями, можуть виходити на поверхню шва або залишатися прихованими.

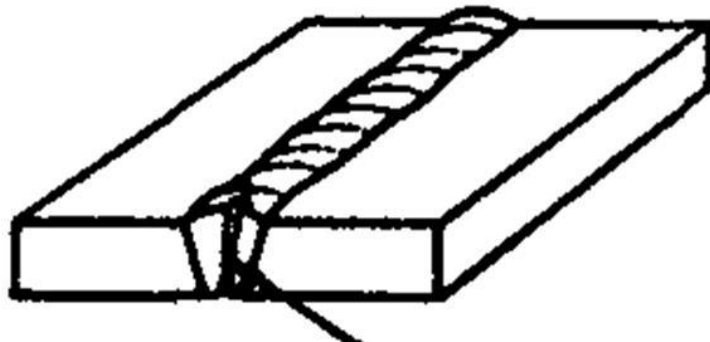


Рис. 49. Подовжня гаряча тріщина

Вірогідність утворення гарячих тріщин залежить від хімічного складу металу шва, швидкості наростання і величини деформацій на розтяг і напруги, форми зварювальної ванни і шва, розміру первинних кристалів. Вірогідність появи тріщин збільшується з підвищенням вмісту в металі шва вуглецю, кремнію, нікелю і особливо шкідливих домішок сірки і фосфору.

Марганець, хром і частково кисень знижують можливість утворення гарячих тріщин у зварному шві. Для зниження величини і швидкості наростання розтягуючих напруг у процесі зварки застосовують порошкоподібний присадний метал у вигляді крупи. Зниження жорсткості закріплення вузлів у процесі зварки і застосування попереднього підігріву також частково знижують напруги.

### **Холодні тріщини зварних з'єднань**

*Холодні тріщини* утворюються в зоні термічного впливу середньолегованих і високолегованих сталей (рис. 50).

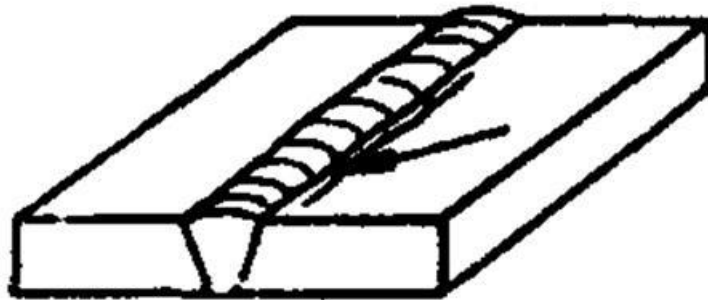


Рис. 50. Холодна тріщина біля шовної зони

Холодні тріщини утворюються внаслідок високих внутрішніх напруг, що виникають у зв'язку з об'ємним ефектом при структурних перетвореннях, що відбуваються в умовах зниження пластичності металу. Холодні тріщини спостерігаються при температурах до 120°C через декілька хвилин після закінчення зварки, а іноді і через декілька годин. Високі внутрішні напруги можуть розвиватися внаслідок присутності водню в металі та на поверхнях внутрішніх дефектів і накопичення його в мікронеціальностях.

### **Непровар**

*Непровар* — це відсутність сплаву між наплавленим і основним металом при зварці в один прохід або відсутність місцевого сплаву



між окремими валами при багатошаровій зварці. Залежно від розташування і характеру розрізняють непровар у корені одностороннього стикового шва (рис. 51 а), по кромці між основним і наплавленим металом (рис. 51 б), по перетину металу в корені двостороннього шва (рис. 51 в), по кромці шва між шарами (рис. 51 г), на горизонтальній (рис. 51 д) та вертикальній (рис. 51 ж) площинах, а також у вершині кута (рис. 51 з).

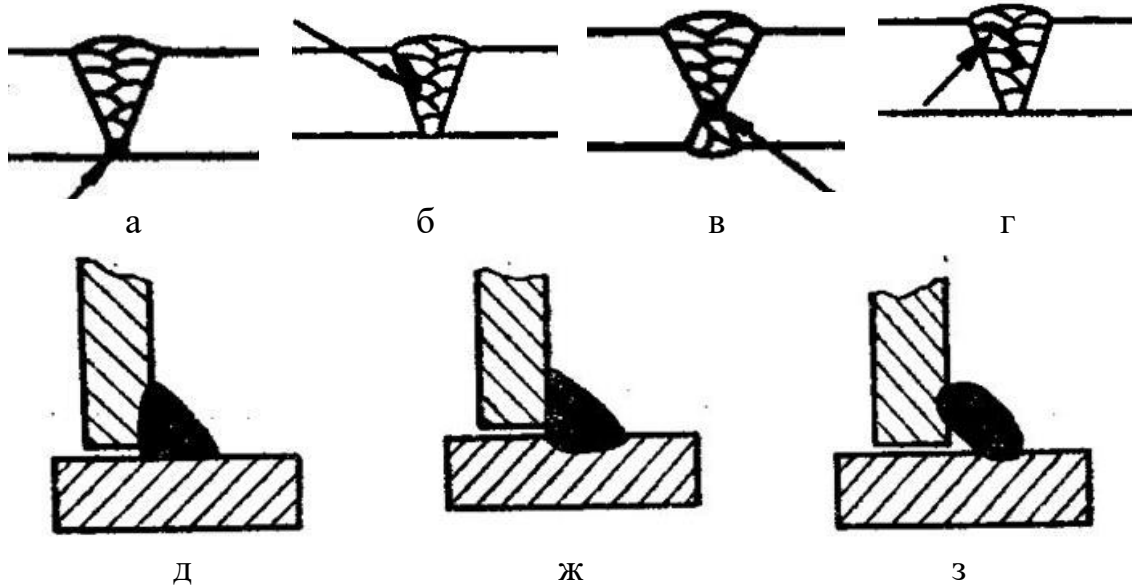


Рис. 51. Непровар у корені одностороннього стикового шва (а), по кромці між основним і наплавленим металом (б), по перетину металу в корені двостороннього шва (в), по кромці шва між шарами (г), на горизонтальній (д) та вертикальній (ж) площинах, а також у вершині кута (з).

Місце непровару в більшості випадків заповнено шлаком, який заповнює порожнини, що утворюються при непроварі. При автоматичній зварці під флюсом і електрошлаковій зварці непровари можливі на початку процесу, коли метал ще недостатньо прогрітий. Зварку бажано починати на технологічних вихідних планках, які потім відрізають. Часто непровар супроводиться появою тріщин.

У деяких випадках ослаблення шва за рахунок непровару може досягати 80%.

**Щоб запобігти непровару**, необхідно ретельно зачищати поверхню металу від забруднень (окалини, іржі або шлаку при багатошаровій зварці), не допускати нерівномірного зсуву дуги на одну із сторін шва в процесі зварювання, забезпечити достатній

прогрів і розплавлення металу в підставці зварювальної ванни.

### Причини непровару

При **заниженому струмі** зварювальна дуга погано прогриває основний метал, не на всіх ділянках проплавляється поверхня основного металу, і за рахунок цього в окремих місцях утворюється непровар.

**Надмірно великий струм**, висока швидкість зварки і довга дуга, зміщення дуги на одну сторону, погана зачистка від забруднень приводять до непровару. Рідкий метал затікає на поверхню основного металу та утворює місцевий або загальний непровар.

Непровари можуть бути викликані **малим кутом** розкриття кромки, **малим зазором**, **великим притупленням нижніх кромки** деталей, **великою швидкістю зварки**, **зсувом електроду від осі шва** (особливо при зварці двосторонніх швів), **поганою зачисткою від шлаку** перед накладенням подальших шарів шва, **низькою кваліфікацією зварювача**.

### Пори

**Пори** – це округлі або витягнуті порожнини, заповнені газом (рис. 52).



Рис. 52. Пори.

Вони можуть бути мікроскопічними і крупними (до 4 – 6 мм). Пори утворюються в швах або на межі сплаву з основним металом внаслідок швидкого охолодження зварювальної ванни, насиченої газами. Пори можуть розподілятися в шві окремими групами, у вигляді ланцюжка уздовж шва і у вигляді окремих включень. Іноді утворюються наскрізні пори. В апаратурі, що працює під тиском і вакуумом, пори недопустимі. Основна причина пор при зварці будівельних сталей – погане розкислювання зварювальної ванни. Причиною пористості може бути також підвищений вміст водню в шві при наявності іржі, вологи, масла, фарби на зварюваних кромках

або зварювальному дроті.

### **Неметалеві включення**

Неметалеві включення – це дефект у вигляді чужорідної частинки в металі шва. Розрізняють **шлакові, оксидні і інші неметалеві включення**.

**Шлакові включення** – це порожнини в металі зварного шва, що заповнені шлаком. Шлакові включення утворюються в результаті поганого очищення кромek зварюваних деталей, а також недостатньо повного видалення шлаку при багат шаровій зварці.

Шлакові включення утворюються при завищеній швидкості зварки, при забрудненні кромek деталей і при багат шаровій зварці, якщо погано зачищені від шлаку поверхні попередніх швів, особливо між шарами. Розміри шлакових включень можуть досягати декількох десятків міліметрів по довжині шва. Форма їх може бути різноманітною, тому ці дефекти більш небезпечні, ніж пори (рис. 53).

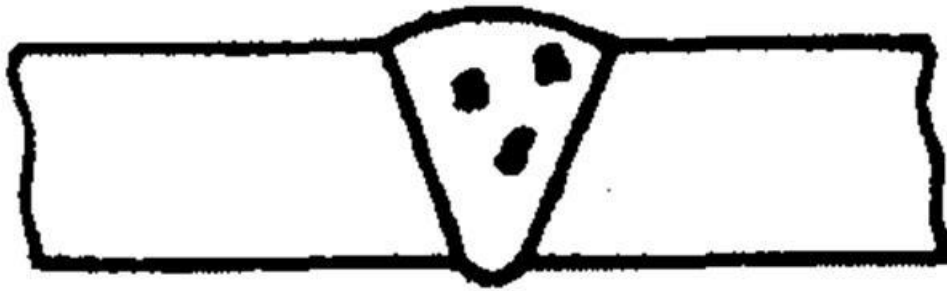


Рис. 53. Шлакові включення.

**Оксидні неметалеві включення.** Оксидні включення можуть виникати в металі зварних швів (наприклад,  $Al_2O_3$ ) при дуже швидкому охолодженні. Оксидні включення розташовуються у вигляді роздроблених плівок і утворюють нещільності металу шва. Механічні властивості шва знижуються більше, ніж при порах і шлакових включеннях.

**Вольфрамові включення** утворюються в металі шва при аргонодуговій зварці неплавким електродом, наприклад, при зварці алюмінієвих сплавів, у яких вольфрам не розчиниться. Частинки вольфраму трапляються в шві внаслідок порушень режиму зварки. Вони занурюються в розплавлену ванну через більшу густину. Вольфрамові включення мають неправильну форму та розташовуються ізольовано або групами.

### **Методи контролю якості зварних з'єднань**

- Основні види контролю якості зварних з'єднань такі: -
- **випробування зварних швів на щільність,**
  - **механічне випробування металу шва і зварних з'єднань,**
  - **металографічні дослідження,**
  - **просвічування швів випромінюванням,**
  - **ультразвуковий контроль,**
  - **магнітний контроль.**

### **Випробування зварних швів на щільність**

При зварюванні виробів, що є посудинами, призначеними для зберігання або транспортування рідин чи газів, зварні шви випробовують на *щільність*.

Залежно від умов роботи посудин зварні шви піддають **гідралічному, пневматичному або газовому** випробуванню.

**Гідралічному випробуванню** підлягають усі посудини, котли і трубопроводи, які працюють під тиском. Посудину заповнюють водою, гідралічним пресом утворюють тиск, що в 1,5 рази перевищує робочий. Під цим тиском посудину тримають протягом 5 хв, після чого тиск знижують до робочого, а посудину оглядають.

При **пневматичних випробуваннях** посудину заповнюють стисненим повітрям до контрольного тиску, після чого шви змочують мильною водою або виріб цілком занурюють у воду.

**Газовим випробуванням** перевіряють посудини, що працюють без надлишкового тиску. Один бік шва забілюють крейдою, а другий змочують гасом. Якщо у швах є наскрізні дефекти, то на забіленій крейдою поверхні виникають темні газові плями.

### **Механічні випробування**

**Механічні випробування** призначені для визначення механічних властивостей зварних з'єднань. Властивості (границі міцності і текучості, відносне подовження і поперечне звуження) наплавленого металу перевіряють на круглих стандартних зразках, виготовлених з наплавленого металу, а властивості зварних з'єднань – на плоских зразках. Перевірка зварних з'єднань на статичне згинання до утворення першої тріщини дає уявлення про в'язкість металу шва. Для визначення ударної в'язкості наплавленого металу зі зварних з'єднань вирізують зразки, на яких роблять надрізи.

### **Металографічні дослідження**

**Металографічні дослідження** полягають у проведенні макро- і

мікроаналізу зварних швів.

**Макроаналізом** виявляють у металі шва пори, тріщини, шлакові включення, непровари та інші дефекти.

**Мікроструктурним аналізом** визначають структуру і структурні складові, наявність мікротріщин, включення оксидів, нітридів тощо.

### **Просвічування зварних швів випромінюванням**

**Випромінюванням** у зварних швах виявляють пори, тріщини, непровари і шлакові включення. Рентгенівський контроль зварних швів ґрунтується на здатності рентгенівського проміння, інтенсивно проникати крізь дефектні місця і більше засвічувати рентгенівську плівку, прикладену зі зворотного боку шва.

Для виявлення внутрішніх дефектів у зварних швах магістральних газо- і нафтопродуктів використовують радіоактивні ізотопи кобальту, цезію та інших елементів.

### **Ультразвуковий метод контролю**

*Ультразвуковий метод* контролю застосовують для виявлення дефектів у металі товщиною 5...3600 мм.

Суть методу полягає в здатності ультразвукових коливань, що збуджуються в кварцових пластинах змінною напругою високої частоти (понад 20 кГц), проникати в метал на велику глибину і відбиватися від тріщин, непроварів, шлакових включень та інших дефектів, що лежать на їхньому шляху. Коливання, що відбиваються поверхнею металу, уловлюються спеціальними електронними пристроями і перетворюються на світлові сигнали, які передаються на екран дефектоскопа. У місцях дефектів з'являється пік сигналу.

### **Магнітний метод контролю**

*Магнітні методи контролю* ґрунтуються на принципі магнітного розсіяння, що виникає в місцях дефектів під час намагнічування виробу. Дефекти, що зумовлюють утворення потоків розсіяння, виявляються за допомогою **магнітного порошку**.

При виявленні дефектів використовують властивість магнітного порошку втягуватися в потік розсіяння і скупчуватись над дефектом. Коли ж дефекту немає, магнітний потік не відхиляється і не змінює свого напрямку. Порошок виготовляють із залізної окалини.

Магнітні потоки розсіяння спостерігають візуально або фіксують на осцилографі. За величиною і формою відхилення променя на екрані осцилографа роблять висновок про характер

дефекту. Такий метод контролю називається **магнітографічним**.

Магнітні методи контролю використовують для виявлення в зварних швах тріщин, непроварів та інших дефектів.

## **2. ПРАКТИЧНІ ПИТАННЯ**

### **2.1. Дати відповіді на наступні питання:**

2.1.1. Дати класифікацію методів і видів отримання зварних з'єднань.

2.1.2. Дати класифікацію зварних з'єднань.

2.1.3. Намалювати схеми ацетиленових генераторів типів "вода на карбід", "карбід на воду" і "контактних", описати принцип їх роботи і дати величину коефіцієнта корисної дії (ККД).

2.1.4. Намалювати схему і описати принцип роботи водяного затвору.

2.1.5. Намалювати схеми інжекторного та безінжекторного пальників, описати принцип їх роботи.

2.1.6. Намалювати схему різачка, описати принцип його роботи.

2.1.7. Намалювати схему і описати принцип роботи зварювального генератора постійного струму і трансформатора перемінного струму.

2.1.8. Намалювати схему і описати принцип роботи апарату контактного точкового зварювання.

2.1.9. Привести класифікацію електродів для електродугового зварювання металів.

2.1.10. Дати визначення поняттю "зварювання металів".

2.1.11. Як визначають діаметр електроду при ручному електродуговому зварюванні?

2.1.12. Напишіть формулу визначення сили зварювального струму при ручному зварюванні металевим електродом.

2.1.13. Напишіть формулу отримання ацетилену із карбиду кальцію.

2.1.14. Який об'єм кисневих балонів?

2.1.15. З яких зон складається газове полум'я?

2.1.16. Дайте співвідношення ацетилену і кисню в залежності від виду полум'я (нормальне; науглецьовуюче, окислююче).

2.1.17. В якому порядку запалюють і гасять пальник?

2.1.18. Як відбувається рух присадочного дроту і пальника при правому і лівому методах газового зварювання? В яких випадках використовують ці методи зварювання?

## ***2.2. Розрахунок режиму газового зварювання***

Якісний шов забезпечується правильним підбором потужності пальника, видом зварювального полум'я, способом зварювання, кутом нахилу пальника, використанням відповідного присадного матеріалу і флюса.

Технологія газового зварювання включає:

- підготовку місця зварювання заготовок;
- вибір потужності газового полум'я;
- вибір присадного матеріалу і діаметра дроту;
- обґрунтування способу і режиму газового зварювання;
- та контроль якості зварного з'єднання.

*Підготовка місць зварювання заготовок.*

За конструкцією виробу встановлюють види зварних з'єднань, і розміщення швів у просторі.

Для забезпечення якісного зварного шва виконують підготовку місць зварювання залежно від товщини заготовок у місці зварювання і типу з'єднання (стикове С, в напусток Н, таврове Т, кутове У. Стикові з'єднання товщиною до 2 мм зварюють з відбортуванням кромки без присадного матеріалу або встик без скошу кромки і без зазору, але з присадковим дротом.

Метал товщиною 2...5 мм зварюють в стик без скошу кромки, але із зазором 1...2 мм між ними. При зварюванні матеріалів товщиною більше 5 мм застосовують V – або X – подібну підготовку кромки. Кут скошу кромки вибирають у межах 70...90°, що забезпечує повний провар вершини шва. Глибину скошу кромки під зварювання при односторонньому скосі приймають рівною товщині -  $t$ , а при двосторонньому скосі -  $0,5 t$ .

Кутові з'єднання виробів малої товщини виконують без присадного дроту. Односторонні шви для з'єднань внапусток і таврові допустимі тільки при зварюванні матеріалів товщиною меншою за 3 мм.

Шви накладають одно- і багат шарові: за товщини виробу до 6...8 мм використовують одно шарові шви, до 10 мм – дво шарові шви, а при товщині заготовок більше 10 мм шви накладають у три і більше шарів. Товщина шару при багат шаровому зварюванні залежить від розмірів шва і товщини матеріалу і складає 3...7 мм.

Найзручніше виконувати нижні шви, важче вертикальні. Вертикальні шви переважно зварюють знизу догори. Для зварювання

горизонтальних швів на вертикальній поверхні скошують кромки тільки на верхній заготовці.

Перед зварюванням проводиться *прихватки* крайок зварюваних деталей, щоб уникнути зміни їх положення і зазору між кромками протягом усього процесу зварювання. При зварюванні тонкого металу і коротких швів довжина прихваток складає 5-7 мм, а відстань між прихватками - 70-100 мм.

При зварюванні товстого металу і швах значної довжини прихватки роблять довжиною 20-30 мм, а відстань між ними приймають 300-500 мм.

#### *Присадні матеріали для газового зварювання*

При газовому зварюванні у якості присадного матеріалу використовують дрід або прутки близького за хімічним складом до металу або сплаву зварюваних заготовок.

Сталевий зварювальний холодно-тягнутий дрід випускається діаметрами 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 і 12,0 мм.

Газове зварювання низьковуглецевих сталей виконується нормальним полум'ям, зварювальним дротом марок Св-08; Св-08А; Св-08АА; Св-08ГА; Св-10ГА; Св-10Г2, а відповідальні конструкції дротом із сталей марок Св-08ГА; Св-10Г2; Св-08ГС; Св-08 Г2С та ін.

#### *Газове зварювання*

Продуктивність зварювання і якість шва у значній мірі залежать від положення пальника і напрямку переміщення вздовж шва. Прийнято, що пальник знаходиться з правої сторони, а присадний пруток (дрід) зліва.

При правому способі (рис. 26) зварювання ведуть зліва направо, пальник переміщується попереду присадного прутка, а полум'я 4 спрямоване на шов 5, що формується. Це забезпечує захист зварювальної ванни від дії атмосферного повітря і уповільнене охолодження шва. Правий спосіб застосовують при зварюванні металу товщиною більше ніж 5 мм, тому що забезпечує більш глибоке проплавлення.

При лівому способі (рис. 26) зварювання ведуть з права наліво, пальник переміщується за присадним прутком, розміщеному під кутом 40...50° до поверхні заготовок, а полум'я спрямовується на незварені кромки 1 і підігріває їх, готуючи до зварювання.

Лівим способом слід виконувати зварювання вертикальних швів знизу вгору, а також при зварюванні горизонтальних швів металів незначної товщини (до 5 мм) полум'я пальника направляють на заварений шов і зварку ведуть з права наліво. Щоб уникнути



витікання розплавленого металу зварювальну ванну формують з невеликим перекосом.

Стельові шви зручніше зварювати правим способом.

У процесі зварювання мундштука пальника і присадний пруток (дріт) здійснюють одночасно два рухи: перший - вздовж осі зварного шва і другий- коливальний рух поперек осі шва. При цьому кінець присадного прутка рухається в напрямку, зворотному руху мундштука.

При правому способі зварювання діаметр присадного прутка дорівнює половині товщини зварюваного металу. При зварюванні металу товщиною більше 15 мм діаметр присадного прутка повинен бути 6-8 мм.

Продуктивність правого способу зварювання на 20-25 % більше ніж лівого з меншою на 15-25% витратою газу. Залежно від товщини заготовок, які зварюються пальник нахиляють під різними кутами (рис. 54).

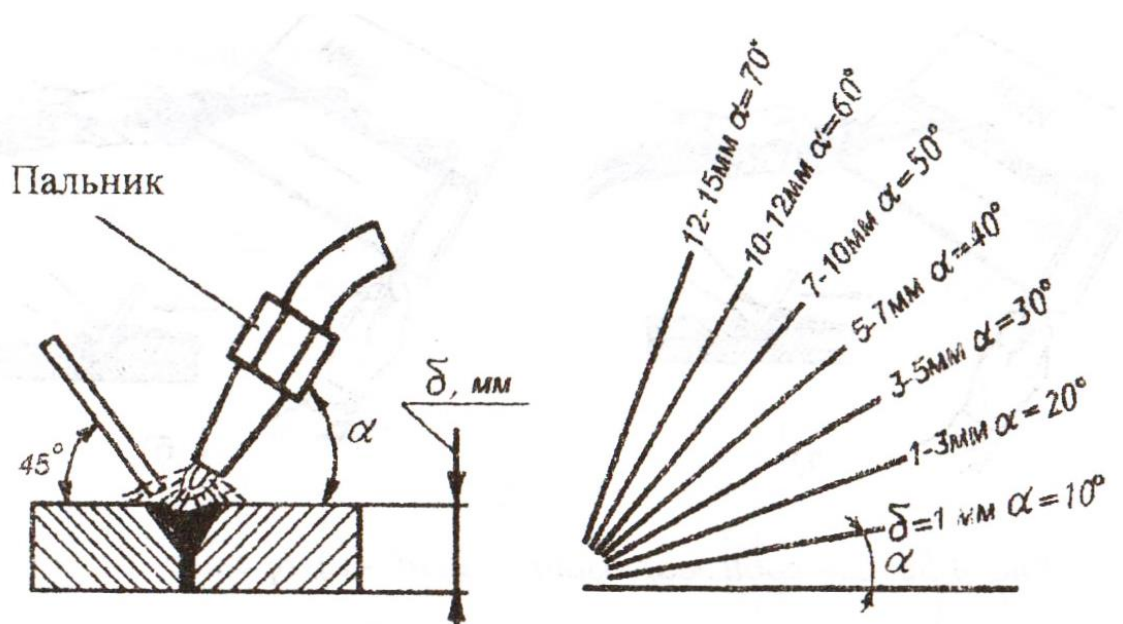


Рис. 54. Кути нахилу мундштука пальника залежно від товщини металу

Зварювання середньовуглецевих сталей виконують полум'ям, що має слабку здатність до науглецювання і рекомендується лівий спосіб зварювання. При товщині з'єднання більше 3 мм потрібно здійснити попереднє підігрівання виробу до  $250 \dots 300^\circ \text{ C}$  або місцевий

до 650...700°C. Присадним матеріалом є зварювальний дріт тих же марок, що і для низьковуглецевої сталі та дріт марки Св-12ГС.

Зварювання низьколегованих і теплостійких сталей виконують дротом марок Св-08ГС; Св-12ГС; Св-08Г2С; Св-08ХМ; Св-08ХГ2С та ін. Мідь і її сплави зварюють дротом і прутками із міді і сплаві на її основі. Алюміній і його сплави зварюють дротом із алюмінію і його сплавів.

*Режим газового зварювання встановлюють у такій послідовності:*

1. Вибирають спосіб зварювання (лівий чи правий) і кут нахилу мундштука пальника залежно від товщини заготовок.

2. Вибирають матеріал присадного дроту.

3. Визначають діаметр присадного дроту.

Для товщини заготовок  $S$  до 10 мм діаметр дроту ( $d$ ) визначається:

- для лівого способу зварювання

$$d = 0,5 S + 1, \text{ мм}, (12);$$

- для правого способу зварювання

$$d = 0,5 S, \text{ мм}. (13).$$

Якщо товщина заготовок більше 15 мм діаметр дроту беруть 8 мм.

4. Визначають потужність зварювального полум'я (витрату ацетилену) за формулою:

$$V_a = K S, \text{ л/год}, (14),$$

де:  $K$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від властивостей матеріалів, що зварюються.

Для вуглецевої сталі і чавуну:  $K=100...120$ –для лівого способу і  $K=120...130$  – для правого способу;

для нержавіючої сталі  $K=70...80$ ;

для міді та її сплавів -  $K=160...200$ ;

для алюмінію і його сплавів  $K=75$ .

5. Вибирають номер наконечника за товщиною з'єднань, що зварюються і витратою ацетилену з табл. 2.

Таблиця 2. Технологічні характеристики газових пальників

№ накопечника	Товщина зварюваної сталі, мм	Витрати, л/год.		Тиск на вході пальника, МПа	
		ацетилен	кисень	ацетилен	кисень
0	0,2-0,5	40-50	45-55	0,001-0,1	0,15-0,3
1	0,5-1	65-90	70-100	0,001-0,1	0,2-0,3
2	1-2	130-180	140-200	0,001-0,1	0,2-0,3
3	2-4	250-350	270-380	0,001-0,1	0,2-0,3
4	4-7	420-600	450-650	0,001-0,1	0,2-0,3
5	7-11	700-950	750-1000	0,001-0,1	0,2-0,3
6	11-17	1130-1500	1200-1650	0,001-0,1	0,2-0,35
7	17-30	1800-2500	2000-2800	0,01-0,1	0,2-0,35
8	30-50	2500-4500	3000-5600	0,03-1,0	0,25-0,5
9	750	4500-7000	4700-9300	0,03-1,0	0,25-0,5

6. Визначають основний (технологічний) час  $T_o$ :

$$T_o = q_m / K_n, \text{ хв, (15),}$$

де:  $q_m$  – маса наплавленого металу, г;

$K_n$  – коефіцієнт наплавлення, г/хв. (визначається за табл.3).

Маса наплавленого металу визначається за формулою:

$$q_m = S_{ш} \cdot L \cdot \gamma, \text{ г, (16),}$$

де:  $L$  – довжина шва, см;

$S_{ш}$  – площа поперечного перерізу шва,  $\text{см}^2$ , визначається за формулами площ простих геометричних фігур;

$\gamma$  – густина наплавленого металу  $\text{г/см}^3$ , ( $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$  – для сталі;  
 $\gamma = 7,1 \dots 7,3 \text{ г/см}^3$  – для сірого чавуну,  $\gamma = 8,6 \text{ г/см}^3$  – для бронзи і латуні;  
 $\gamma = 2,55 \dots 2,83 \text{ г/см}^3$  – для алюмінієвих сплавів).

Таблиця 3. Коефіцієнти наплавлення пальників

№ наконечника пальника	Коефіцієнт наплавлення, г/см <sup>3</sup>	
	сталь	чавун
1	4-6	-
2	6-7	3,5
3	7-10	6,0
4	13-14	9,0
5	16-18	12,0
6	17-18	13,0
7	18-21	15,0

6. Вибирають вид газового полум'я за видом робіт, які виконуються і матеріалом зварюваних заготовок за табл. 4.

Таблиця 4. Застосування видів газового полум'я.

Вид полум'я	Відношення кисню до ацетилену	Температура полум'я, °С	Галузь застосування
Навуглецю- вальне	0,8-0,9	2700-3100	Наплавлення твердих сплавів, зварювання чавуну і високовуглецевих сталей
Нормальне	1,0-1,2	3150	Зварювання низьковуглецевої та середньовуглецевої сталі, алюмінієвих сплавів, бронзи, міді. Різання металів, паяння, металізація.
Окислювальне	1,2-1,5	3000-3100	Різання та паяння, зварювання латуні і чавуну бронзою, поверхнєве гартування і вогняне очищення поверхні.

*Послідовність виконання роботи*

1. Вибрати варіант завдання з табл. 5 за номером, що надав викладач.

Таблиця 5. Варіанти завдань

Варіант	Марка сталі	Товщина зварюваних країв, S, мм	Довжина шва, L, мм	Вид шва за розміщенням
Стикове з'єднання				
1	15	2	520	горизонтальний
2	20	3	430	нижній
3	25	4	120	вертикальний
4	Ст2	5	150	стельовий
5	Ст3	6	180	нижній
6	Ст4	8	200	горизонтальний
7	Ст5	10	220	вертикальний
8	09Г2	12	250	стельовий
9	09Г2С	14	300	вертикальний
10	12ГС	16	350	нижній
11	16ГС	18	400	горизонтальний
Таврове з'єднання				
12	15	2	500	стельовий
13	20	3	450	нижній
14	25	4	420	горизонтальний
15	30	5	400	стельовий
16	40	6	450	вертикальний
17	Ст2	7	500	горизонтальний
18	Ст3	8	360	нижній
19	Ст5	9	340	вертикальний
20	09Г2С	10	320	стельовий
21	12ГС	12	270	нижній
22	20Г	14	250	горизонтальний
23	20Г2С	16	200	вертикальний
24	Ст5	18	550	стельовий
25	15Г	20	650	нижній

2. Залежно від товщини зварюваних заготовок, виду з'єднання і розміщення зварного шва обґрунтовувати способи і форму підготовки

зварних країв. Дати ескіз з'єднання підготовленого для зварювання з розмірами.

3. Вибрати спосіб газового зварювання і кут нахилу мундштука пальника.

4. Підібрати матеріал присадного дроту.

5. Визначити діаметр присадного дроту (формули 12 і 13) і взяти стандартне значення.

6. Визначити потужність зварювального полум'я.

7. Вибрати номер наконечника пальника з табл. 2, давши витрати газів для нього та їх тиск на вході.

8. Дати ескіз зварного з'єднання зі швом, вказавши розміри шва.

9. Визначити площу перерізу зварного шва і масу наплавленого металу.

10. Визначити основний час зварювання.

11. Вибрати вид газового полум'я.

12. Результати розрахунків звести до табл. 6.

13. Висновки:

Таблиця 6. Результати розрахунків

Товщина заготовок <i>S, мм</i>	Вид підготовки країв	Спосіб зварювання	Діаметр присадного дроту, <i>мм</i>	Марка сталі дроту	Потужність полум'я, <i>л/год</i>	Номер наконечника	Площа перерізу зварного шва, <i>мм<sup>2</sup></i>	Маса наплавленого металу, <i>г</i>	Час зварювання, <i>хв</i>

## Список використаної літератури

1. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О. В., Лопатько К.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 1. Металургія. Видавничий центр НАУ, 2005р.-с. 115.
2. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О. В., Лопатько К.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Металознавство. Видавничий центр НАУ, 2006 р.-с. 386.
3. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Підручник. /Опальчук А.С., Афтанділянц Є.Г., Клендій М.Б., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є.// Ніжин.: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф"".2011. - 792с.
4. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Матеріалознавство: Підручник Херсон: Олді Плюс, 2013.- с 548.
5. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів/ А.С. Опальчук, Афтанділянц Є.Г., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є.// Ніжин, ПП Лисенко М.М., 2013р. - 752с
6. Практикум з матеріалознавства. Навчальний посібник / Котречко О. О. Зазимко, К.Г. Лопатько, Є.Г. Афтанділянц, В. В. Гнилокуруренко.// Херсон: Олді Плюс, 2013.-с. 500
7. Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Некоз О.І. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. К. Техніка, 2002. – с. 374.
8. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000.-с.264.
9. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга ІІ. Суми. Університетська книга, 2002.-с.259.



## Зміст

	Стор.
Вступ	3
Вимоги техніки безпеки при виконанні практичних занять	4
1. Теоретичні положення	6
1.1.  Металургійні процеси при зварюванні	6
1.2.  Електричне дугове зварювання	9
1.3.  Газове зварювання	30
1.4.  Спеціальні методи зварювання	39
1.5.  Особливості зварювання сплавів різного хімічного складу	58
1.6.  Напруження, деформації, дефекти і контроль якості зварних швів	64
2. Практичні питання	78
2.1.  Дати відповіді на наступні питання:	78
2.2.  Розрахунок режиму газового зварювання	79
Список використаної літератури	88
Зміст	89