

# 13. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Технологія зварювання має на меті отримання суцільної заготовки нерознімним з'єднанням її з окремих частин. У такий спосіб можна отримати заготовку, наприклад великих розмірів, дістати яку суцільною відразу неможливо через відсутність габаритного технологічного обладнання.

## 13.1. Фізичні основи одержання зварного з'єднання

Процес зварювання має на меті отримання монолітного з'єднання шляхом установлення зв'язків між атомами деталей, що зварюються на межі їх розділу, на кшталт тим, що діють у твердому тілі.

Для цього потрібно докласти певну енергію. Залежно від типу енергії розрізняють декілька класів зварювання.



Рисунок 13.1 – Класи зварювання

При зварюванні плавленням (термічний клас) енергію для з'єднання атомів отримують шляхом нагрівання. Відбувається розплавлення кромки заготовки, а в разі пот-

реби – також присадного матеріалу. В результаті утвориться загальна зварювальна ванна розплавленого матеріалу, що твердішає, як зварювальний шов.

При зварюванні тиском (механічний клас) енергію для з'єднання атомів отримуємо перетворенням механічної енергії. Заготовки з'єднуються шляхом спільної пластичної деформації з'єднувальних поверхонь при щільному контакті.

### 13.2. Термічний клас зварювання

Може бути електричним або хімічним залежно від джерела тепла.

Джерелом тепла при дуговому зварюванні є електрична дуга, що горить між двома електродами, – часто один електрод є заготовкою, що зварюється.

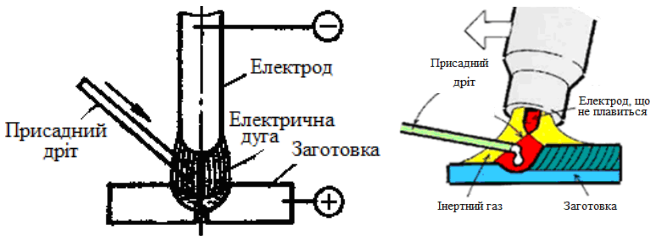


Рисунок 13.2 – Зварювання електродом, що не плавиться (вугільним, вольфрамовим)

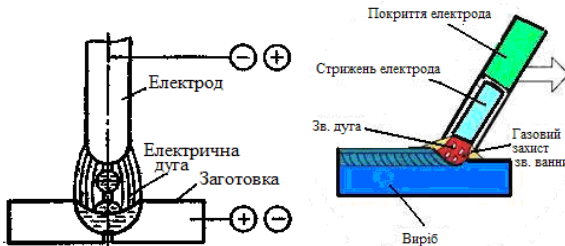


Рисунок 13.3 – Зварювання електродом, що плавиться (металевим)

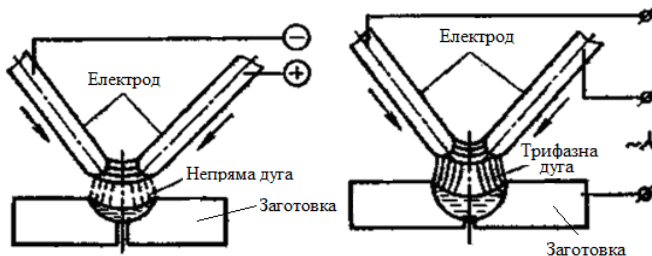


Рисунок 12.4 – Зварювання непрямою дугою, трифазною дугою

### *Поняття про електричну дугу та її властивості*

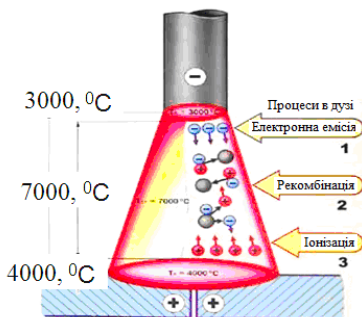


Рисунок 13.5 – Електрична дуга та горіння її параметри

Дуга – потужний стабільний розряд електрики в іонізованій атмосфері газів і пари металу. Іонізація дугового проміжку відбувається під час запалювання дуги і безупинно підтримується в процесі її

Розрізняють пряму та зворотну полярність при зварюванні постійним струмом. Пряма полярність – електрод підключається до негативного полюса і служить катодом. Зворотна полярність – електрод підключається до позитивного і служить анодом.

## Джерела зварювального струму

Для живлення зварювальної дуги потрібні джерела із спеціальною зовнішньою характеристикою (залежністю напруги на виході від струму): 1 – спадна, 2 – пологоспадна, 3 – жорстка і 4 – зростаюча.

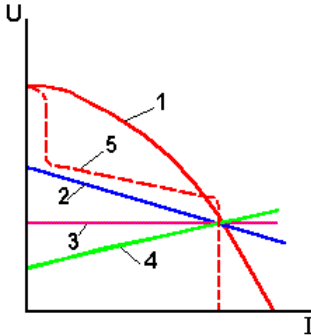


Рисунок 13.6 – Зовнішні характеристики джерел зварювального струму: 1 – спадна; 2 – пологоспадна; 3 – жорстка; 4 – зростаюча; 5 – «ідеальна»

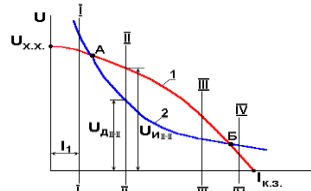


Рисунок 13.7 – Накладена характеристика дуги і спадна характеристика джерела струму:  $U_{х.х.}$  – напруга холостого ходу (дуга не горить);  $I_{к.з.}$  – струм короткого замикання при запаленні дуги; А – точка запалення дуги, Б – точка стабільного горіння дуги

Джерело струму вибирається залежно від вольт-амперної характеристики дуги відповідно до способу зварювання.

Основні вимоги до джерела зварювального струму:

- безпечність для зварювальника;
- стабільність горіння дуги;
- дотримання режиму короткого замикання і регулювання струму дуги.

Застосовують джерела змінного струму (зварювальні трансформатори) і джерела постійного струму (зварювальні генератори та зварювальні випрямлячі).

### 13.2.1. Ручне дугове зварювання

Зварювальне обладнання ручного дугового зварювання складається з джерела живлення дуги, зварювальних дротів, електродотримача й електродів.

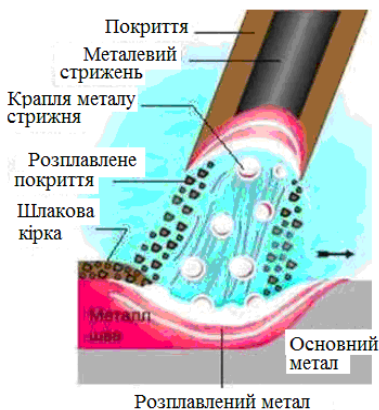


Рисунок 13.8 – Зварювання металевим покритим електродом

Використовують металеві плавкі електроди з покриттям (обмазкою) з діаметром 1,6–12 мм і завдовжки 150–450 мм.

До складу покриття входять:

- стабілізуючі (іонізувальні);
- газотворювальні;
- шлакоутворювальні;
- розкиснювальні;
- легувальні компоненти.

Під час ручного зварювання зварювальник маніпулює електродом, підтримуючи задану довжину дуги, подає електрод у дугу, а також рухає його вздовж заготовки.

Переваги ручного електродугового зварювання:

- можливість зварювання в монтажних і цехових умовах;
- різноманітність застосовуваних типів з'єднань;
- можливість зварювання конструкцій різних габаритів;
- широкий діапазон товщини металу, що зварюється;
- можливість зміни хімічного складу наплавленого металу;
- можливість зварювання у будь-яких просторових положеннях.

Недоліки ручного електродугового зварювання.:

- низька продуктивність та важкі умови праці;
- кристалізація металу шва проходить при розтягувальних напруженнях, що є однією з причин утворення тріщин;

- змінюється структура основного металу під впливом нагрівання під час зварювання.

### 13.2.2. Автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу

Зварювання виконують непокритим електродним дротом, дугу і зварювальну ванну захищають флюсом, подача і переміщення електродного дроту механізовані.

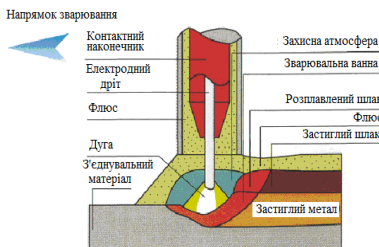


Рисунок 13.9 – Схема автоматичного зварювання під шаром флюсу

Продуктивність у 15–20 разів вища від ручного за рахунок використання великих зварювальних струмів (до 3000 А).

Метал до 20 мм зварюється за один прохід без підготовки кромок.

Переваги:

- надійний захист зварювальної ванни флюсом;
- інтенсивне розкиснення і легування;
- порівняно повільне охолодження;
- поліпшення форми та поверхні зварного шва і сталість його розмірів.

Недоліки:

- можливе лише в нижньому положенні;
- лише для прямолінійних швів і швів невеликої кривизни;
- неможливо спостерігати за процесом горіння дуги.

У деяких випадках можливе застосування напівавтоматичного зварювання під шаром флюсу. Відрізняється від автоматичного тим, що подача електродного дроту механізована, але переміщення його вздовж шва здійснюється вручну.

Напіваавтоматично зварюють короткі та криволінійні шви, які недоцільно зварювати автоматичним зварюванням

### 13.2.3. Зварювання в середовищі захисних газів

Під час зварювання в атмосфері захисних газів електрод, зона дуги і зварювальна ванна захищаються струменем захисного газу, що примусово подається у зону зварювання ззовні. Захисні гази зазвичай мають відмінну іонізувальну здатність, що забезпечує стабільність горіння електричної дуги навіть за малих струмів. Є активні захисні гази, що вступають у хімічну реакцію, – вуглекислий газ, азот, водень тощо та інертні – аргон, гелій.

За ступенем механізації зварювання у середовищі захисних газів може бути ручне, автоматичне, напіваавтоматичне.

#### *Зварювання в середовищі захисного газу аргону*

Аргон – безколірний газ, в 1,38 рази важчий за повітря, нерозчинний у рідких і твердих металах.

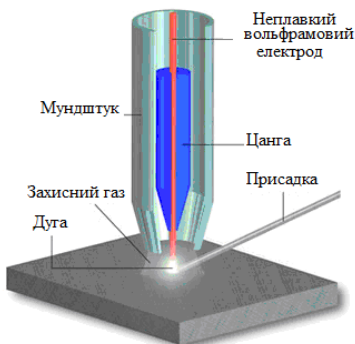


Рисунок 13.10– Зварювання неплавким електродом у середовищі інертних газів

Аргонодугове зварювання застосовують для: алюмінію, магнію, тугоплавких металів і сплавів (титану, ніобію, ванадію, цирконію), конструкційних легированих і високолегированих сталей.

Зберігається аргон у стисненому газоподібному стані в сталевих балонах під тиском 15МПа (150 атм), сірого кольору.

Для покращання технологічних властивостей використовують суміш аргону, вуглекислого газу, гелію тощо.

Найбільш поширене аргонодугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом. Звичайно використовують присадний дріт для формування шва.

Вживаний зварювальний струм:

- DC (постійний) струм прямої полярності використовується для більшості металів (сталь);

- AC (змінний) для зварювання алюмінію та інших матеріалів з тугоплавким оксидом на поверхні, що руйнується важкими атомами аргону.

Сила струму від 1А.

Зварювання іноді виконують плавким електродом, коли подавання дроту механізоване.

Переваги та недоліки аргонодугового зварювання:

- високий ступінь захисту розплавленого металу від дії повітря;

- відсутність на поверхні шва при застосуванні аргону оксидів і шлакових включень;

- можливість ведення процесу у всіх просторових положеннях;

- можливість візуального спостереження за процесом формування шва і його регулювання;

- вища продуктивність процесу, ніж при ручному дуговому зварюванні.

- висока ціна аргону, гелію.

### *Зварювання СМТ (Cold Metal Transfer)*

СМТ «Fronius» (Cold Metal Transfer – холодне перенесення металу) – технологія електродугового зварювання із мінімальним тепловкладанням.

Коли горить дуга, дріт рухається вперед і назад (після утворення короткого замикання), до 70 разів за секунду під керуванням автоматики. Відбувається КЗ – ставиться крапля і дріт швидко відводиться – дуга гасне і запалюється знов.



Середня температура процесу значно нижча, ніж при звичному зварюванні, відсутні бризки, стабільна дуга.

Застосування ручного зварювання СМТ:

зварювання тонкої та ультратонкої сталі, алюмінієвих і хромово-нікелевих сплавів;

зварювання з високими вимогами до зовнішнього вигляду зварного шва.

Наплавлення з використанням процесу СМТ (мінімальне перемішування наплавленого та основного металів.

### *Зварювання в атмосфері вуглекислого газу ( $CO_2$ )*

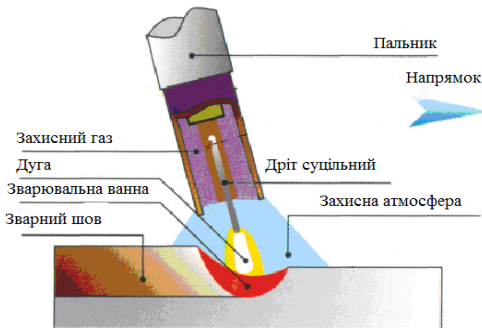


Рисунок 13.11– Схема зварювання у і низьколеговану сталі.

Вуглекислий газ — безколірний, зі слабким запахом, у 1,52 раза важчий за повітря. Зберігають у зрідженому стані в сталевих балонах під тиском 7 МПа.

Вуглекислий газ окиснює розплавлений метал (дисоціює на окисел вуглецю і кисень). Потребує використання спеціального присадного дроту – зі вмістом елементів розкиснювачів Si, Mn.

Зварювання в атмосфері вуглекислого газу має переваги:

- значний ступінь захисту розплавленого металу від дії повітря;

Зварювання виконують лише плавким електродом на підвищеній щільності струму зворотної полярності.

У вуглекислому газі зварюють конструкційну вуглецеву

- незначна кількість шлакових включень на поверхні шва;
- можливість виконання процесу у всіх просторових положеннях;
- можливість візуального спостереження за процесом формування шва;
- вища продуктивність процесу, ніж при ручному дуговому зварюванні;
- низька вартість зварювання.

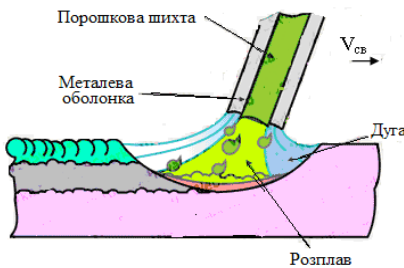


Рисунок 13.12 – Зварювання порошковим дротом

При зварюванні самозахисним порошковим дротом шихта під час зварювання виділяє гази і шлак, що захищає ванну і метал шва, що кристалізується. Є порошкові дроти, що потребують стороннього захисного газу.

Зварювання порошковим дротом є напівавтоматичним і автоматичним.

Зварювання порошковим дротом у ряді випадків витісняє ручне дугове зварювання завдяки вищій продуктивності.

### 13.2.4. Зварювання порошковим дротом

Порошковий дріт має форму трубки, заповненої порошком (шихтою), що може бути складений бухтою (згорнутий). Порошок виконує як функції обмазки звичайного електрода, так і додаткові.

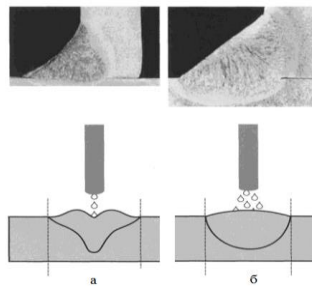


Рисунок 13.13 – Формування шва під час зварювання (наплавлення): а – суцільним дротом; б – порошковим дротом

### 13.2.5. Плазмове зварювання

Плазмовий струмінь є електричною дугою, стисненою (сфокусованою) у струмені іонізувального газу (аргон, гелій, азот, водень, оксид вуглецю тощо). Формується в спеціальних плазмових пальниках (плазмотронах) двох типів: із виділенням з дуги плазмовим струменем і зі збіжним з дугою плазмовим струменем.

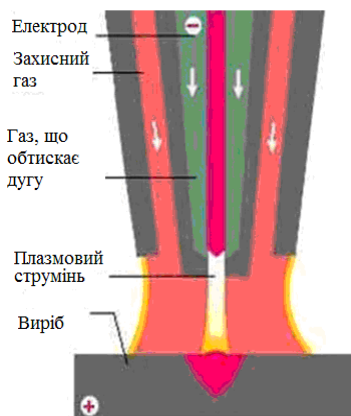


Рисунок 13.14 – Схема плазмового зварювання металевих елементів великої товщини з температурою  $10000\text{--}30000\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 13.2.6. Електрошлакове зварювання

Спосіб зварювання, що проходить за рахунок виділення тепла під час проходження електричного струму через розплавлений шлак.

Ванна розплавленого шлаку формується в об'ємі між кромками зварюваних виробів. До неї подається металевий електрод. Струм, від опору рідкого шлаку, нагріває і підтримує в розплаві високу температуру, плавляться занурений електрод і кромки виробу, утворюється зварний шов.

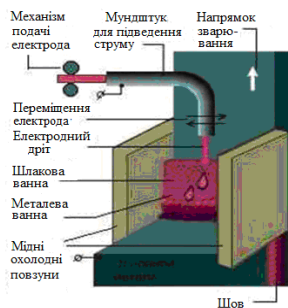


Рисунок 13.15 – Схема електрошлакового зварювання

Преваги: можливе особливо високоякісне зварювання металу будь-якої товщини (від 16 мм).

Недолік способу – утворення великого зерна внаслідок повільного нагрівання та охолодження – необхідна термічна обробка.

Широко застосовують для виготовлення станин і деталей потужних пресів, верстатів, колінчастих валів суднових дизелів, ємностей високого тиску тощо.

### 13.2.7. Променеві способи зварювання

#### *Зварювання електронним променем*

Використовується принцип електронної емісії за рахунок різниці потенціалів між катодом та анодом при напрузі 150 кВ. Зіткнення електронів зі зварюваними деталями розігріває місце зварювання до температур в 5000–6000 °С.

Діаметр електронного променя досягає тисячних міліметра.

Особливості процесу:

- зварювання відбувається у вакуумі – потрібні дзеркально чиста поверхня і дегазація розплавленого металу;
- моментальне плавлення і затвердіння металу;
- шов виходить дрібнозернистим із мінімальною шириною, що дозволяє зварювати сплави, чутливі до нагрівання.

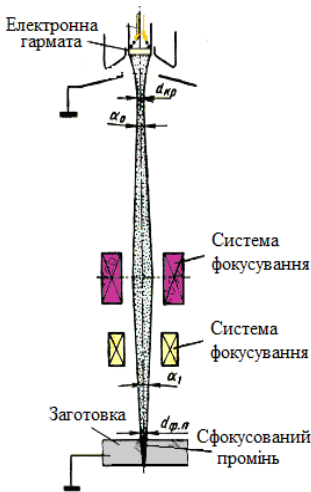


Рисунок 13.16 – Схема зварювання електронним променем

Застосовують для деталей з однорідних і різнорідних тугоплавких, хімічно активних металів і їх сплавів (вольфрамівих, танталових, молібденових, ніобієвих, цирконієвих), а також алюмінієвих і титанових сплавів і високоле-

гованих сталей. Мінімальна товщина зварюваних заготовок становить 0,02 мм, максимальна – до 100 мм.

### *Зварювання лазерним променем*

Здійснюється за допомогою оптичних квантових генераторів, що дають світлове проміння з високою густиною енергії.

Для його фокусування застосовується оптична система.

При зустрічі світлового променя зі зварюваним виробом віддається тепла енергія, в місці контакту температура досягає 6000 °С.

Переваги зварювання лазером:

- може здійснюватись у вакуумі, на повітрі, в атмосфері інертних газів;

- кризь оптично-прозорі матеріали на певній глибині;
- можливе поєднання різних металів.

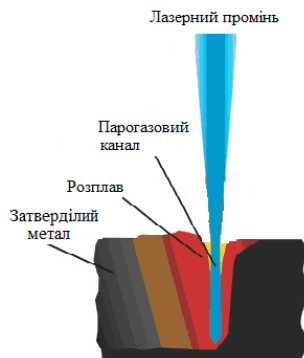


Рисунок 13.17 – Різання лазерним променем

### **13.2.8. Газове зварювання**

Метал зварюваних елементів розплавляється газовим полум'ям, що утворюється спалюванням горючих газів у атмосфері кисню у газовому пальнику.

Найчастіше використовують ацетилен  $C_2H_2$  із найвищою температурою згорання. Також як пальні гази використовують природні гази, водень, пари бензину, пари гасу тощо.

Можливе застосування для зварювання чорних, кольорових металів (із флюсами), наплавлення та розрізання металів, виправлення дефектів мідного литва.

Основними перевагами є: автономність від електроживлення, можливість повільного нагрівання, можливість створення окиснювального (надлишок вуглекислого газу) або відновлювального (надлишок ацетилену) полум'я. Не-

доліками є деформування від нагрівання, обмеженість товщин тощо.

### 13.2.9. Термічне різання

Розрізання заготовок (розкrojовання листового металу) є однією із найважливіших галузей застосування способів зварювання.

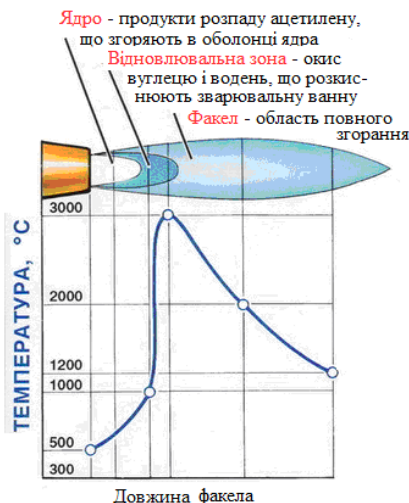


Рисунок 13.18 – Розподіл температур у факелі при спалюванні ацетилену

Вимоги для можливості проходження процесу газового різання металу:

- температура його плавлення повинна бути вищою за температуру горіння в кисні;
- температура плавлення оксидів металу повинна бути вищою за температуру його плавлення;
- кількість теплоти, що виділяється під час згорання металу в кисневому струмені, повинна бути достатньою для підтримання безперервного процесу різання;

### Газове різання металів

Газовий різак має додатковий струмінь кисню – він видуває оксиди металу із зони розрізання.

Вимоги для можливості проходження процесу газового різання металу:

- температура його плавлення повинна бути вищою за температуру горіння в кисні;

- температура плавлення оксидів металу повинна бути вищою за температуру його плавлення;

- кількість теплоти, що виділяється під час згорання металу в кисневому струмені, повинна бути достатньою для підтримання безперервного процесу різання;

- теплопровідність не повинна бути дуже високою, інакше процес різання ускладнюється;

- оксиди, що утворюються, повинні легко видуватися киснем.

Практично зазначеним вимогам відповідають залізо, низьковуглецеві та низьколеговані сталі.

У разі невідповідності матеріалу вимогам при газовому різанні для підвищення якості розрізання застосовують інші способи.

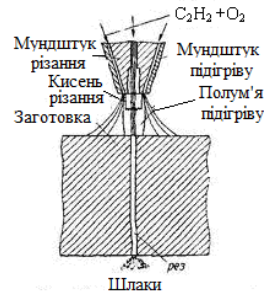


Рисунок 13.19 – Схема газокисневого різання

### *Киснево-флюсове різання*

При киснево-флюсовому різанні в зону розрізу разом із струменем різального кисню вводять порошок флюсу.

Дія флюсу обумовлена трьома факторами:

- флюс згорає, виділяє надлишок теплоти – теплова дія;
- продукти згорання флюсу утворюють із тугоплавкими оксидами матеріалу рідкоплавкі шлаки, що видаляються, – це хімічна дія флюсу;
- частинки флюсу діють і як абразив.

Цей різновид різання застосовується для обробки високолегованих сталей, чавунів, мідних сплавів, бетонів тощо (товщиною до 1,5 м – зі списом).

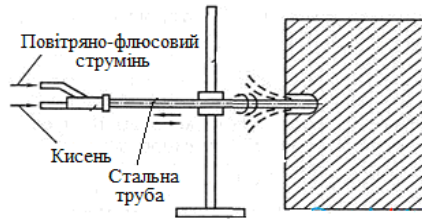


Рисунок 13.20 – Схема киснево-флюсового різання

### *Фторове різання*

Фторове різання використовується для відрізання заготовок з високолегованих сталей, титану тощо.

Фтор згорає у водні, виділяється висока температура, що й забезпечує різання тугоплавких матеріалів.

### *Плазмове різання*

Плазмовим різанням обробляються будь-які метали, деякі неметали. Локальне високотемпературне нагрівання заготовки виключає її деформацію.

Процес характеризується високою чистотою та якістю поверхні розрізу. Можливе складне фігурне вирізання. Плазмовим струменем розрізають кераміку, високолеговані сталі, мідні й алюмінієві сплави тощо.

### *Лазерне різання*

Є високоефективним видом розкроювання листових матеріалів і дозволяє вирізувати будь-які вироби з складним контуром:

- висока точність;
- відсутність механічного контакту з оброблюваною поверхнею;
- різання твердих інструментальних сплавів;
- можливість різання отворів малого діаметра (від 0,15 мм).

### *Повітряно-дугове різання*

Є процесом поверхневої обробки або розділення металу (сталі та кольорові сплави) за рахунок дуги з неплавким вугільним електродом, додатково подається повітря під тиском. Є високоефективним процесом.

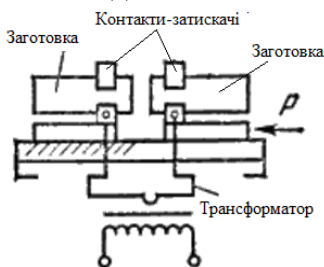


### 13.3. Термомеханічний клас зварювання

До термомеханічного класу зварювання відносять способи, що використовують для створення нерознімного з'єднання як температурний вплив, так і дію зовнішніх сил.

#### 13.3.1. Стикове контактне зварювання

Спосіб з'єднання заготовок за рахунок розігрівання до



температури плавлення (або до термопластичного стану) теплом, що виділяється під час проходження електричного струму крізь заготовки.

Рисунок 13.21 – Схема стикового- розігрівання стику до го контактної зварювання пластичного стану і пода-

льшим осадженням називають зварюванням опором, а при розігріванні торців до оплавлення з подальшим осадженням – зварюванням оплавленням.

Зварювання застосовується для з'єднання встик заготовок з сортового прокату, труб, рейок тощо.

#### *Точкове контактне зварювання*

Точкове зварювання – спосіб виготовлення листових (або каркасних) конструкцій, що дозволяє одержати міцні з'єднання в окремих точках.

Заготовки, зібрані внапуск, затискають між мідними електродами і пропускають струм. Нагрівання від електричного опору матеріалу заготовок локалізується на ділянках контакту-стискання. Електроди при цьому пластично де-

формують заготовку і зварювальну ванну, зміцнюючи місце з'єднання.

Цей спосіб широко застосовують в автобудуванні, виготовленні металевих конструкцій з листових матеріалів, електричних схем.

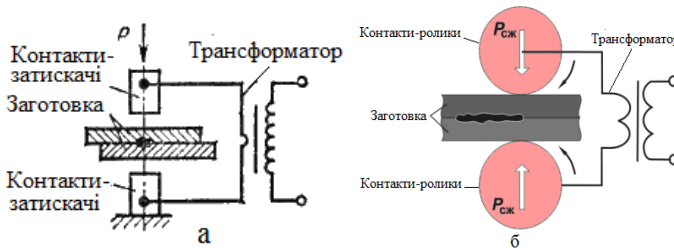


Рисунок 13.22 – Схема точкового (а) та шовного (б) зварювання

*Шовне зварювання* – спосіб з'єднання деталей швом, що складається з окремих зварних точок.

Зварювані заготовки поміщають між двома роликami-електродами.

### 13.3.2. Дифузійне зварювання

Дифузійне зварювання матеріалів у твердому стані – це спосіб отримання монолітного з'єднання внаслідок виникнення атомарних зв'язків і взаємодифузії.

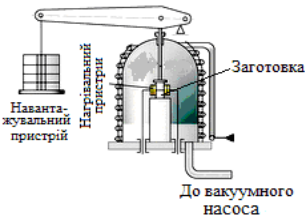


Рисунок 13.23 – Схема дифузійного зварювання у вакуумі

зварювання:

- висока якість з'єднання і збереження ним властивостей, характерних для початкових матеріалів деталей;

Це можливо на поверхнях, зближених локальним пластичним деформуванням при підвищеній температурі.

Переваги дифузійного

- стабільність якості з'єднання завдяки автоматизації процесу і малої залежності від зовнішніх дій;
- низька енерговитрата й екологічна чистота;
- можливість з'єднання деталей із матеріалів, що різко відрізняються своїми властивостями.

### 13.4. Механічний клас зварювання

До цього класу зварювання відносять способи, що використовують для створення нерознімного з'єднання дію зовнішніх сил.

#### 13.4.1. Ультразвукове зварювання

Амплітуду коливання досягають десятків мікрометрів. Частота механічних коливань дорівнює 20–30 кГц.

Ці коливання викликають сили тертя у місці зварювання – відбувається нагрівання тонких шарів металу – руйнуються поверхневі оксидні плівки – пластично деформуються приповерхневі шари.

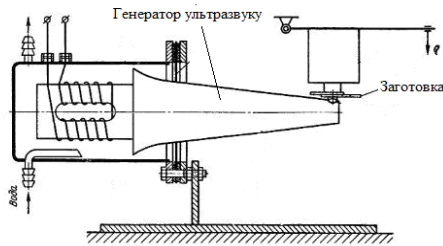


Рисунок 13.24 – Схема ультразвукового зварювання

#### 13.4.2. Холодне зварювання

Холодне зварювання – процес утворення з'єднання металів і сплавів шляхом інтенсивної пластичної деформації зварюваних деталей за рахунок значного стискального зусилля.

З'єднують пластичні матеріали: мідь із міддю, алюміній з алюмінієм, мідь з алюмінієм, нікель, срібло, титан,

латунь тощо. Одержують стикові, внапуск, таврові та штиркові з'єднання.

Необхідно видалити окисні плівки з поверхні зварюваних деталей.

Переваги процесу:

- зварювати термічно знеміцнювані метали;
- герметизувати деталі, нагрівання яких недопустиме;
- надійно зварювати різнорідні метали без утворення в стику крихких інтерметалідів;
- відсутність витратних матеріалів;
- мала енергоємність;
- висока екологічна безпека.

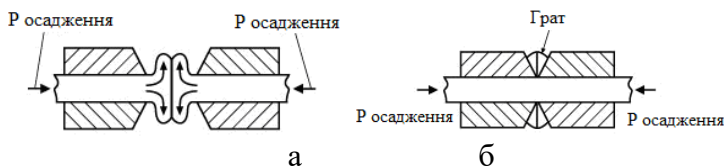


Рисунок 13.25 – Схема холодного стикового зварювання

### 13.4.3. Зварювання вибухом

Зварювання вибухом можна віднести як до механічного, так і до термомеханічного класу зварювання.

Утворення з'єднання металевих тіл відбувається ударною дією від детонації вибухової речовини. Тиск і температура при зварюванні вибухом сприяють переміщенню верхньої заготовки до нижньої заготовки. При зіткненні заготовок у точці контакту відбувається зближення заготовок на відстані, при яких забезпечується взаємодія міжатомних сил.

Спосіб дозволяє з'єднання різнорідних металів із міцністю на рівні міцності основних металів (сталь + титан, сталь + алюміній, алюміній + мідь і т. д.) – біметали.

Зварювання вибухом може здійснюватися на великих площах, обмежуваних лише розмірами використовуваних листів.

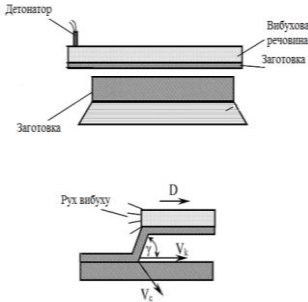


Рисунок 13.26 – Схема зварювання вибухом

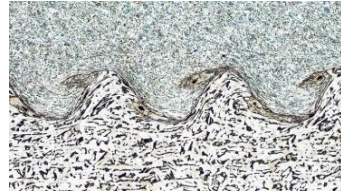


Рисунок 13.27 – Геометрія місця зварювання

### 13.4.4. Зварювання тертям

Зварювання тертям здійснюється у твердому стані при використанні теплоти, що є наслідком тертя поверхонь зварюваних елементів.



Рисунок 13.28 – Схема зварювання тертям з обертанням для з'єднання однорідних і різнорідних металів, для виготовлення різального інструменту, валів, штоків з поршнями, клапанів та інших деталей машин.

Застосовується

зварювання

рідних і

різнорідних металів, для виготовлення різального

інструменту, валів, штоків з поршнями, клапанів та інших деталей машин.

## 13.5. Особливості зварювання металів і сплавів

*Зварюваність* – здатність матеріалів утворювати зварні з'єднання (без тріщин, пор, шлакових включень та ін.) Розрізняють добру, задовільну та погану зварюваність.

Добра зварюваність матеріалів – при зварюванні однорідних металів і сплавів у місці з'єднання, як правило, утвориться структура, ідентична або близька структурі заготовки, що з'єднується.

Задовільна або погана зварюваність – при зварюванні різнорідних матеріалів у місці з'єднання утвориться твердий розчин із ґратами одного з матеріалів або хімічна чи інтерметалідна сполука з властивостями, що різко відрізняються від вихідних матеріалів.

### **13.5.1. Особливості зварювання вуглецевих і легованих сталей**

Низьковуглецеві (низьколеговані) сталі добре зварюються.

Середньовуглецеві й середньолеговані сталі (більше вуглецю і легованих елементів) зварюються гірше. Можливі кристалізаційні тріщини та структури гарту. Застосовують попереднє нагрівання (100–300 °С), термообробку.

Високовуглецеві сталі не використовують для утворення зварних з'єднань, виняток становлять ремонтні роботи.

#### *Особливості зварювання сталей із вмістом хрому, нікелю*

Високохромисті сталі окрихчуються у пришовній зоні, збільшується зерно і вигоряє хром, по межах зерен можуть випадати крихкі фази, утворюються холодні тріщини. Для запобігання застосовують підігрів, малі струми, захищають місце зварювання, легують присадний матеріал або електроди хромом, а після зварювання проводять термообробку.

Хромонікелеві сталі при зварюванні можуть знизити корозійну стійкість у зв'язку з випаданням по межах зерен аустеніту карбіду хрому. Тому зварювання проводять при малих струмах із примусовим охолодженням. Після зварювання призначають відпалювання або гартування. Це запобігає випаданню карбідів хрому.

Хромонікелеві сталі добре зварюються контактним зварюванням.

### **13.5.2. Особливості зварювання чавунів**

Чавуни зварюються обмежено:

- утворюються структури гартування (чавун вибілюється) при швидкому охолодженні – утворюються тріщини;

- білий чавун має високу усадку чавуну.

Леговані чавуни зварюються краще, ніж звичайні. Гартування і вибілені структури чавуну усувають відпалюванням.

Розрізняють гаряче й холодне зварювання чавунних виробів.

При гарячому чавун підігрівають до 600–700 °С і забезпечують повільне охолодження зі швидкістю 50–100 °С/год. Рідка ванна металу повинна бути великою, що сприяє видаленню газів, повільному охолодженню. Проводиться електричною дугою або газовим полум'ям.

Холодне зварювання чавуну електричною дугою. Електроди можуть бути сталевими, мідно-залізними (монель-метал), мідно-нікелевими і чавунними. Зварювання здійснюється короткими швами, багатошарові.

### **13.5.3. Особливості зварювання алюмінію**

При зварюванні алюмінію і його сплавів виникає плівка оксиду алюмінію, температура плавлення якого 2050 °С заважає сплавленню металу ванни з основним. Видалення плівки здійснюється дією зварювального струму зворотної полярності, флюсів або спеціальних покриттів електродів.

Алюмінієві сплави схильні до утворення водневих пор і тріщин.

Найширше застосовують зварювання алюмінієвих сплавів:

- у середовищі захисних газів;
- покритими алюмінієвими електродами;
- контактним зварюванням великими струмами;
- зварюванням СМТ (*Cold Metal Transfer*).

#### **13.5.4. Особливості зварювання титану і його сплавів**

Розплавлений титан має високу хімічну активність. Титанові сплави зварюються дуговим інертним газом, неплавким і плавким електродом, дуговим зварюванням під флюсом, електронним променем, електрошлаковим і контактним зварюванням.

Розплавлений титан має високу рідкоплавкість, шов добре формується при всіх способах зварювання.

Основна складність зварювання титану – це необхідність надійного захисту металу від атмосферних газів.

Дугове зварювання виконують у середовищі аргону і в його сумішах з гелієм. Для особливо відповідальних виробів зварювання проводять у спеціальних камерах, наповнених аргоном.

#### **13.6. Наплавлення та напилювання**

Це нанесення шару певного хімічного складу і властивостей на поверхню виробу.

##### **13.6.1. Наплавлення**

Наплавлення дозволяє одержувати деталі з поверхнею, відмінною від основного металу, наприклад корозійною стійкістю тощо або відновлювати поверхню.

Існують:

- ручне дугове наплавлення електродами із стержнями чи покриттями спеціальних складів, порошковим дротом;
- автоматичне наплавлення під флюсом суцільним чи порошковим дротом;
- наплавлення плавкими і неплавкими електродами в середовищі захисних газів;



Рисунок 13.29 – Схема наплавлення на циліндричну поверхню



- плазмове наплавлення;
- електрошлакове, електронно-променеве, лазерне наплавлення, газокисневим полум'ям.



а



б

Рисунок 13.30 – Геометрія зони сплавлення наплавленого металу з основою при наплавленні: а – в середовищі аргону; б – у спосіб СМТ у середовищі аргону

Важливим є ступінь перемішування при наплавленні основного металу і присадного, якого має бути якомога менше.

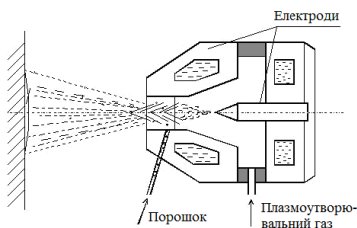


Рисунок 13.31 – Схема напилювання порошку плазмовим струменем

### 13.6.2. Напилювання

Для напилювання найчастіше застосовують плазмовий струмінь.

Плазмовий струмінь дає можливість напилювати покриття товщиною від 0,5 до 5 мм за допомогою спеціальних пальників із подачею порошку.

Плазмове напилювання відрізняється швидким нагріванням порошку, що розпилюється, меншою температурною дією на деталь, малим окисненням при правильному використанні плазмоутворювального газу.

На метал за допомогою плазми напилюють тверді сплави, кераміку тощо.

### 13.7. Паяння металів і сплавів

Паяння – це з'єднання металевих заготовок без їх розплавлення за допомогою присадного сплаву (припою), що має температуру плавлення нижчу за основний метал. Розплавляючись, припій заповнює зазор між заготовками.

За технологічною ознакою розділяють:

- капілярне (за рахунок капілярних сил затягується припій у щілину);
- дифузійне (за рахунок взаємної дифузії компонентів припою і матеріалів, що паяються);
- контактнореактивне (у місці контакту двох з'єднаних заготовок із прошарком третього металу, виникає новий сплав, який і є припоєм);
- реактивно-флюсове (припій виникає як наслідок взаємодії основний метал – флюс ( $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + \text{Zn}$ ));
- паяння-зварювання (з'єднання виконують як при зварюванні, але присадним матеріалом слугує припій).

Властивості припою дуже часто наближаються до властивостей з'єднувального металу. Використовують олов'яні, цинкові, нікелеві, срібні, мідні припої.

Найбільшою перевагою паяння перед зварюванням є те, що в процесі з'єднання метал заготовки не доводиться до температур плавлення – отже немає при остиганні таких небезпечних явищ, як усадка металу, не такі значні температурні деформації тощо.

### 13.8. Контроль якості зварних з'єднань

Методи контролю діляться на дві великі групи – руйнівні та неруйнівні.

До руйнівних відносять механічні, металографія та корозійні випробування.

Механічні випробування включають розтягування, вигин, сплюснення та інші види руйнування, що кількісно характеризують міцність, якість і надійність з'єднань. Руйнівні випробування проводять звичайно на зразках-свідках і рідше – на самих виробках.

Неруйнівні методи використовують для перевірки якості швів без їх руйнування. Оцінюють ті або інші фізичні властивості, що побічно характеризують міцність або надійність з'єднань.

Ці властивості, а точніше їх зміна, звичайно пов'язані з наявністю дефектів.

Дефекти зварних швів і з'єднань, виконаних зварюванням плавленням, виникають через порушення вимог нормативних документів до підготовки, складання і зварювання вузлів, механічної і термічної обробки зварних швів і самої конструкції, до зварювальних матеріалів.

Дефекти зварних з'єднань підрозділяються на шість груп:

- тріщини;
- порожнини, пори, свищі, усадкові раковини, кратери;
- тверді вкраплення;
- несплави та непровари;
- порушення форми шва – підрізи, усадкові канавки, перевищення опуклості, перевищення проплаву, напливи, зсуви, натікання, пропали та ін.;
- інші дефекти.

### Питання до теми 13

1. Фізичні умови створення зварного з'єднання.
2. Дайте загальну характеристику термічному класу зварювання.
3. Дайте загальну характеристику електричної дуги та її властивостей.
4. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості ручного дугового зварювання.
5. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості автоматичного зварювання під шаром флюсу.
6. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості зварювання в середовищі інертних захисних газів.
7. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості зварювання СМТ.
8. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості зварювання в атмосфері вуглекислого газу.
9. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості зварювання порошковим дротом.
10. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості плазмового зварювання.
11. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості електрошлакового зварювання.
12. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості променевих способів зварювання.
13. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості газового зварювання.
14. Опишіть технологічні можливості термічних способів різання металу.
15. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості основних способів термомеханічного класу зварювання.

16. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості основних способів механічного класу зварювання.

17. Дайте коротку характеристику зварюваності вуглецевих і легованих сталей.

18. Дайте коротку характеристику зварюваності металевих матеріалів.

19. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості наплавлення та напилювання.

20. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості паяння металів і сплавів.