

Лекція

ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Відповідно до ДСТУ 3761.2-98 **зварювання (welding)** – технологічний процес одержування нерознімного з'єднання між заготовками за допомогою нагрівання (місцевого чи загального) та

Плавлення чи (і) пластичного деформування заготовок в місцях з'єднання. Суть зварювання полягає у зближенні елементарних частинок зварюваних частин на такі відстані, щоб між ними почали діяти сили міжатомного зчеплення з утворенням спільної кристалічної ґратки. Ці відстані співмірні параметрам кристалічних ґраток і дорівнюють $3...4 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$).

Зварювання є одним з основних технологічних процесів у машинобудуванні та будівництві. Важко назвати галузь народного господарства, де б не застосовувалося зварювання.

Зварювання дало змогу внести докорінні зміни в технологію виробництва, створити принципово нові конструкції машин. Наприклад, застосування зварних конструкцій замість клепаних у будівництві дозволило зекономити близько 20% металу, знизити на 5...30% трудомісткість виготовлення конструкцій.

Залежно від виду енергії, застосовуваної при зварюванні, розрізняють три класи зварювання: термічний, термомеханічний і механічний (ГОСТ 19521-74).

До **термічного** класу належать види зварювання, що здійснюються плавленням, тобто місцевим розплавленням з'єднуваних частин із використанням теплової енергії.

Основні види зварювання термічного класу – дугове, газове, електрошлакове, електронно-променеве, плазмове, лазерне, термічне та ін.

До **термомеханічного** класу належать види зварювання, при яких використовуються тепла енергія й тиск – контактне, дифузійне, газопресове, дугопресове та ін.

До **механічного класу** належать види зварювання, що здійснюються з використанням механічної енергії й тиску: холодне, вибухом, ультразвукове, тертям та ін.

Зварювання видами, які належать до термічного класу, називається *зварюванням плавленням*, а зварювання видами, що відносяться до термомеханічного і механічного класів – *зварюванням тиском*.

Крім того, кожний вид зварювання може бути розгорнутим за технічними та технологічними ознаками. Наприклад, дугове зварювання можна виконувати дугою прямої або посередньої дії, плавким або неплавким електродом, з захистом металу газом, флюсом тощо.

Найважливішими видами зварювання в сучасному машинобудуванні є

дугове, контактне і газове.

Зварне з'єднання при зварюванні плавленням (рис. 1, *a*) містить зварний шов 1, тобто ділянку зварного з'єднання, що утворилася в результаті кристалізації зварювальної ванни; зону сплавлення 2, де перебувають зерна металу, що частково оплавилися, на межі основного металу та шва; зону термічного впливу 3, тобто ділянку основного металу, що не розплавилася, структура і властивості якого змінилися в результаті нагрівання при зварюванні плавленням або різанням; основний метал 4, тобто метал з'єднуваних частин, що зварюються, який не змінив властивостей при зварюванні.

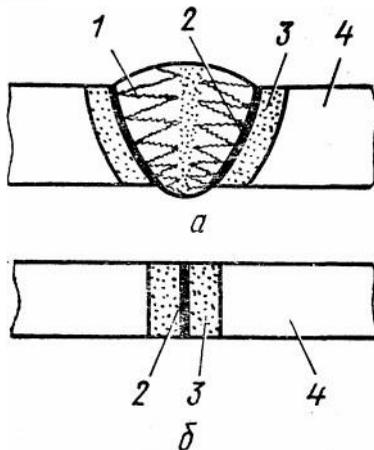


Рис. 1 – Схема зварного з'єднання

З'єднання, виконане зварюванням тиском у твердому стані, складається із зони з'єднання 2, де утворилися міжатомні зв'язки з'єднуваних частин, зони термомеханічного впливу 3, основного металу 4.

У формуванні структури та властивостей зварного з'єднання при зварюванні плавленням визначальна роль належить тепловим процесам, при зварюванні тиском – пластичній деформації.

До зварювання плавленням (термічний клас зварювання згідно ГОСТ 19521-74) належать види зварювання, що здійснюються плавленням, тобто місцевим розплавленням з'єднуваних частин із використанням теплової енергії.

У відповідності до ДСТУ 3761-98 **зварюванням плавленням** (fusion welding) – це зварювання, здійснюване місцевим розплавленням усіх чи однієї із з'єднуваних заготовок шляхом нагрівання без прикладання тиску.

Сутність процесу зварювання плавленням полягає у тому, що зварювання здійснюється за рахунок оплавлення кромки деталей, що піддаються зварюванню. При цьому утворюється спільна зварна ванна рідкого металу. При віддаленні джерела нагрівання метал зварної ванни

кристалізується й утворюється зварний шов, який з'єднує зварювані частини.

Вид зварювання плавленням визначається видом джерела енергії, що безпосередньо використовується для оплавлення кромки деталей (і присадного металу). Основні види *зварювання плавленням* (термічний клас) – дугове, газове, електрошлакове, електронно-променеве, плазмове, лазерне, термічне та ін.

Дугове зварювання

Джерелом теплоти при дуговому зварюванні є *електрична дуга*, яку відкрив у 1802 р. В. В. Петров. Вперше для зварювання електричну дугу застосував російський винахідник, родом з Херсонської губернії, М. М. Бенардос у 1882 р. Він використав при цьому вугільний електрод, а в 1888 р. М. С. Славянов запропонував спосіб зварювання металевим електродом. Ці способи і зараз називаються іменами їх винахідників – спосіб Бенардоса, або зварювання неплавким (вугільним чи вольфрамовим) електродом, і спосіб Славянова, або зварювання металевим плавким електродом.

Зварювальна дуга – це потужний електричний розряд у дуже іонізованій суміші газів та парів матеріалів, які використовуються при зварюванні, що супроводжується виділенням значної кількості теплоти і світла.

Залежно від числа електродів і способів увімкнення електродів та зварюваної деталі в електричне коло розрізняють такі види зварювальних дуг (рис. 2):

- прямої дії, коли дуга горить між електродом і виробом;
- посередньої дії, коли дуга горить між двома електродами, а зварюваний виріб не увімкнений в електричне коло;
- трифазна дуга, що збуджується між двома електродами, а також між кожним електродом і основним металом.

За родом струму розрізняють дуги, що живляться змінним і постійним струмом. При використанні постійного струму розрізняють зварювання на прямій та зворотній полярності. У першому випадку електрод вмикають у негативний полюс і він служить катодом, а виріб – до позитивного полюса і він служить анодом; у другому випадку електрод підключають до позитивного полюса, і він служить анодом, а виріб – до негативного, і він служить катодом.

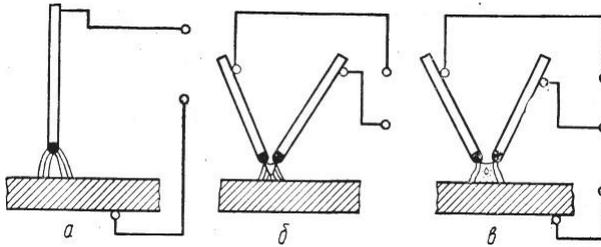


Рис – Види зварювальних дуг:

a – прямої; *б* – посередньої; *в* – комбінованої дії (трифазна)

Електричні властивості дуги. Для утворення та підтримання горіння дуги треба, щоб у просторі між електродами були електрично заряджені частинки – електрони, позитивні та негативні іони. Процес утворення іонів та електронів називається *іонізацією*, а газ, що містить електрони та іони – іонізованим. Іонізація дугового проміжку відбувається під час запалювання дуги і безперервно підтримується в процесі її горіння.

Залежність напруги в зварювальній дузі від її довжини описується рівнянням

$$U_d = a + b L_d,$$

де *a* – сума спаду напруги в прикатодній та прианодній зонах, *B*; *L_d* – довжина стовпа дуги, *мм*;

b – питомий спад напруги в дузі, віднесений до 1 *мм* стовпа дуги, *B/мм*.

При зварюванні сталевими електродами *a* = 10 *B*, а *b* = 2 *B/мм*.

Теплова потужність дуги. Основною характеристикою зварювальної дуги як джерела енергії для зварювання є ефективна теплова потужність *q_{дж}*. Ефективна теплова потужність джерела зварювального нагріву – це кількість теплоти, введеної в метал за одиницю часу і витраченої на його нагрівання.

Відповідно ефективна теплова потужність визначається виразом

$$q_{дж} = I U_d \eta_{дж},$$

де *I* – величина зварювального струму, *A*;

U_d – спад напруги на дузі, *B*;

η_{дж} – ефективний коефіцієнт корисної дії (ККД) процесу нагрівання.

Для живлення зварювальної дуги застосовують джерела змінного струму (зварювальні трансформатори) та джерела постійного струму – зварювальні генератори з приводом від електродвигуна (зварювальні перетворювачі), зварювальні генератори з приводом від двигуна. внутрішнього згоряння (зварювальні агрегати) та напівпровідникові зварювальні випрямлювачі.

Зварювальні трансформатори. Це спеціальні знижувальні трансформатори, зовнішня характеристика яких забезпечує живлення зварювальної дуги та регулювання зварювального струму.

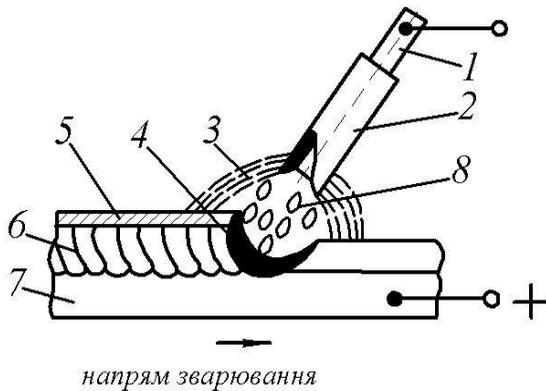
Трансформатори, як правило, мають спадну характеристику, їх використовують для ручного дугового зварювання та автоматичного зварювання під флюсом. Трансформатори з жорсткою характеристикою застосовують для електрошлакового зварювання.

Трансформатор складається з осердя – магнітопроводу з трансформаторної сталі, на якому розміщуються дві обмотки – первинна й вторинна. Змінний струм з мережі, проходячи через первинну обмотку

трансформатора, намагнічує осердя, створюючи в ньому змінний магнітний потік, який, перетинаючи витки вторинної обмотки, індукує в ній змінний струм.

Ручне дугове зварювання (manual arc welding, hand arc welding) – це зварювання, під час якого горіння електричної дуги підтримується вручну (ДСТУ 3761.2-98)

Найпоширенішим способом ручного дугового зварювання є **дугове зварювання покритим плавким електродом (metal-arc welding with covered electrode)**, при якому подача електрода та переміщення дуги вздовж зварюваних кромок виконуються вручну. Схема процесу показана на рис. 6. Дуга горить між стержнем 1 електрода та основним металом 7. Під дією теплоти дуги електрод і основний метал плавляться, утворюючи металеву зварювальну ванну 4. Краплі 8 рідкого металу з електродного стержня, що розплавляється, переносяться у ванну через дуговий проміжок.



Ручне дугове зварювання металевим електродом з покриттям

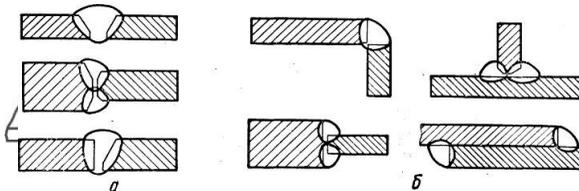
Одночасно із стержнем плавиться покриття 2 електрода, утворюючи газовий захист 3 навколо дуги та рідку шлакову ванну на поверхні розплавленого металу.

Металева та шлакова ванни разом утворюють зварювальну ванну. Із рухом дуги метал зварювальної ванни твердне й утворюється зварний шов 6. Рідкий шлак із остиганням утворює на поверхні шва тверду шлакову кірку 5, яка видаляється після остигання шва. Щоб забезпечити заданий склад і властивості шва, зварювання виконують покритими електродами, до яких висуваються спеціальні вимоги.

За видом покриття електроди класифікуються: з кислим покриттям А; основним Б; целюлозним Ц; рутиловим Р; змішаного виду – відповідне подвійне позначення, іншими видами покриттів П. Якщо покриття містить залізний порошок у кількості більшій як 20%, до позначення виду покриття додають букву Ж.

Види зварних з'єднань

Зварні з'єднання (welded connection) можуть бути стиковими, кутовими, тавровими та внапусток (рис. 10.7).



Зварні з'єднання:

a – стикове; *б* – кутове; *в* – внапусток; *г* – таврове

Стиковим (butt joint) називається зварне з'єднання двох елементів, розміщених в одній площині або на одній поверхні.

Кутовим (corner joint, fillet weld) називається з'єднання двох елементів, розміщених під прямим кутом і зварених у місці примикання їхніх країв.

З'єднанням **внапусток** (scarf weld) називається зварне з'єднання, в якому зварювані елементи розміщені паралельно і перекривають один одного.

Тавровим чи Т-подібним (tee joint, T-joint) називається зварне з'єднання, в якому до бічної поверхні одного елемента примикає під кутом приварений торцем інший елемент.

Зварний шов (weld) – ділянка зварного з'єднання, що утворилася в результаті кристалізації металу зварювальної ванни. Частина зварного шва, що перебуває при зварюванні в рідкому стані, називається зварювальною ванною. Зварні шви можуть бути стиковими та кутовими.

Стиковий шов (butt weld) – зварний шов стикового з'єднання.

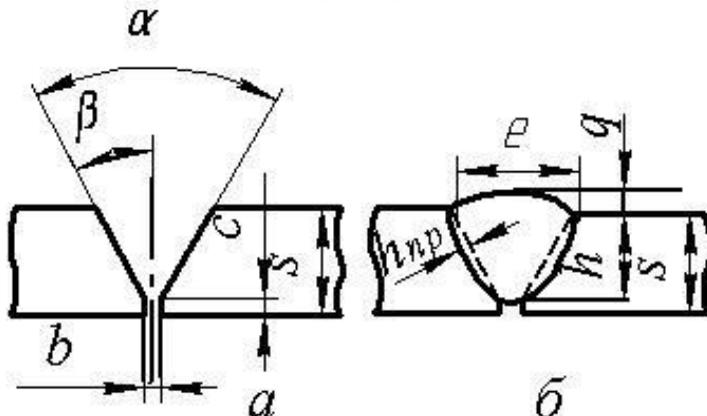
Кутовий шов (fillet weld) – зварний шов кутового, таврового з'єднань та з'єднання внапусток.

Зварні шви можуть бути безперервними, переривчастими, одно- та багатопаровими, одно- та двосторонніми. Зварні шви, застосовувані для фіксації взаємного розміщення, розмірів і форми елементів, що складаються під зварювання, називаються прихватками.

Щоб забезпечити якісний провар і формування зварного шва, кромки готують під зварювання.

Елементи геометричної форми підготовки кромки під зварювання: кут розчищення кромки α , кут β скосу однієї кромки S , зазор b між кромками, що стикаються, притуплення кромки, тобто нескошена частина c торця кромки.

Елементи геометричної форми зварного шва– ширина e та глибина h шва, глибина $h_{пр}$ провару, випуклість q (угнутість) шва.



Елементи геометричної форми підготовлених кромки під зварювання (а) та виконаного шва (б)

Залежно від конструктивних особливостей виробу та виду зварювання до підготовки та складання деталей висувають різні вимоги, а державні стандарти регламентують основні типи та конструктивні елементи швів зварних з'єднань.

Технологія ручного дугового зварювання

Вибір режиму ручного дугового зварювання. Під режимом зварювання розуміють сукупність контрольованих параметрів, що визначають умови зварювання. Параметри режиму зварювання поділяють на основні та додаткові. До основних параметрів режиму ручного зварювання належать діаметр електрода, величина, рід і полярність струму, напруга на дузі, швидкість зварювання. До додаткових належать величина вильоту електрода, склад і товщина покриття електродів, положення електрода та

положення виробу при зварюванні.

Діаметр електрода вибирають залежно від товщини металу, катета шва, положення шва в просторі.

Приблизне співвідношення між товщиною металу S і діаметром електрода d_e при зварюванні в нижньому положенні шва становить:

$S, \text{ мм}$	1...2	3...5	4...10	12...24	30...60
$d_e, \text{ мм}$	2...3	3...4	4...5	5...6	6...8

Сила струму в основному залежить від діаметра електрода, але також від довжини його робочої частини, складу покриття, положення зварного шва. Чим більший струм, тим більша продуктивність, тобто більша кількість наплавленого металу.

Проте, при надмірному струмі для даного діаметра електрода, електрод швидко перегрівається вище допустимої межі, що призводить до зниження якості шва та підвищеного розбризкування. При недостатній силі струму дуга нестійка, часто обривається, в шві можуть бути непровари.

Силу струму можна визначити за такими формулами:

$I_0 = (20 + 6d_e)d_e$ – при зварюванні конструкційних сталей для електродів діаметром 3...6 мм;

$I_0 = 30d_e$ – для електродів діаметром менше 3 мм, де d_e – діаметр електрода, мм.

Зварювання швів у вертикальному та стельовому положеннях виконують, як правило, електродами діаметром не більшим як 4 мм. При цьому сила струму має бути на 10...20% нижчою, ніж для зварювання в нижньому положенні. Напряга дуги змінюється в порівняно вузьких межах – 16...30 В.

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

Недоліком цього способу зварювання є низька продуктивність процесу, яка визначається силою зварювального струму. При ручному дуговому зварюванні сила струму обмежується порівняно невеликим значенням через перегрівання електродних стрижнів і руйнування покриття при великому струмі.

Зварювання в захисних газах

Суттю і характерною особливістю дугового зварювання в захисних газах є захист розплавленого і нагрітого до високої температури основного та електродного металу від шкідливого впливу повітря захисними газами, які забезпечують фізичну ізоляцію металу та зони зварювання від повітря і задану атмосферу в зоні зварювання.

Згідно ДСТУ 3761.2-98 **дугове зварювання у захисному газі** (зварювання у захисному газі) (gas-shielded arc welding) – дугове зварювання, під час якого дуга та розплавлений метал, а в деяких випадках і шов, що остигає, знаходяться у середовищі захисного газу, який подається у зону зварювання.

В якості захисних газів використовують інертні та активні гази, а також їх суміші.

Інертними називаються гази, які хімічно не взаємодіють з металом і не розчиняються в ньому. В якості інертних газів використовують аргон (Ar), гелій (He) та їх суміші. Інертні гази застосовують для зварювання хімічно активних металів (титан, алюміній, магній та ін.), а також у всіх випадках, коли потрібно дістати зварні шви, однорідні за складом з основним та присаджувальним металом (високолеговані сталі та ін.).

Інертні гази забезпечують захист дуги та зварюваного металу, не спричиняючи на нього металургійної дії.

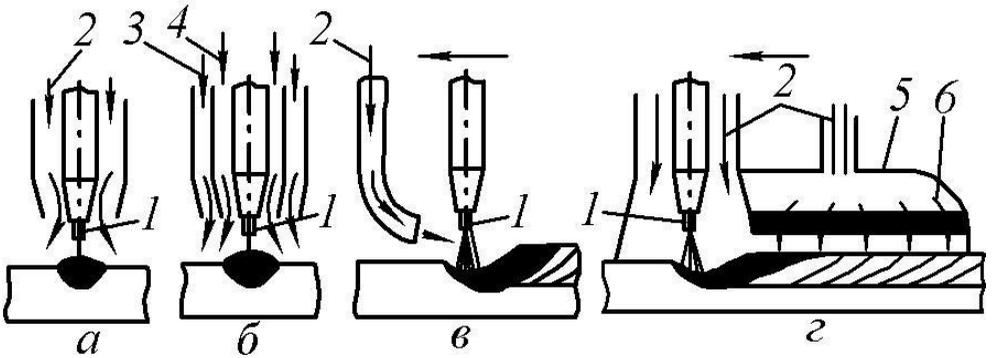
Аргон і гелій поставляють в балонах місткістю 40 л під тиском 15 МПа. Балон для аргону пофарбований у сірий колір, напис зеленого кольору; балон для гелію – коричневий, напис білого кольору.

Активними захисними газами називають гази, які вступають у хімічну взаємодію із зварюваним металом і розчиняються в ньому (вуглекислий газ, водень, пара води та ін.). Основним активним захисним газом є вуглекислий газ.

Вуглекислий газ зберігають і транспортують у рідкому вигляді переважно в стальних балонах місткістю 40 л під тиском 6,0...7,0 МПа. У балоні знаходиться 60...80% рідкої вуглекислоти, а решта – газ. Колір балона чорний, напис жовтого кольору. Суміші газів мають у ряді випадків кращі технологічні властивості, ніж окремі гази. Наприклад, суміш вуглекислого газу з киснем (2...5%) сприяє дрібнокрапельному переносу металу, зменшенню розбрикування (на 30...40%), поліпшенню формування шва. Суміш із 70% He і 30% Ar збільшує продуктивність

зварювання алюмінію, поліпшує формування шва і дозволяє зварювати за один прохід метал великої товщини.

За способом захисту розрізняють *місцевий* і *загальний захист* зварювального вузла (зварювання в контрольованій атмосфері). Основним способом місцевого захисту є струминний захист шва. При цьому способі захисне середовище в зоні зварювання створюється газовим потоком при центральній, боковій або комбінованій подачі газу. При центральній подачі газу дуга, що горить між електродом і основним металом, з усіх боків оточена газом, який подається під невеликим надлишковим тиском із сопла пальника, розташованого концентрично із віссю електрода. Цей спосіб захисту найрозповсюджений.



Подача захисних газів у зону зварювання:

а – центральна одним концентричним потоком; *б* – центральна двома концентричними потоками; *в* – бічна; *г* – у рухому камеру (насадку); 1 – електрод; 2 – захисний газ; 3, 4 – зовнішній та внутрішній потоки захисних газів; 5 – насадка; 6 – розподільна сітка

У ряді випадків з метою економії інертних газів, а також одержання оптимальних технологічних і металургійних властивостей захисного середовища застосовують пальники, конструкція яких забезпечує комбінований захист двома концентричними потоками газів (рис. 10.13, б). Наприклад, внутрішній потік утворюється аргоном, а зовнішній – вуглекислим газом.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. В чому полягає суть зварювання плавленням?
2. Які способи зварювання плавленням ви знаєте?
3. Які властивості зварювальної дуги? Види зварювальних дуг.
4. Назвіть джерела зварювального струму.
5. Яка суть та схеми ручного дугового зварювання?
6. Класифікація електродів для ручного дугового зварювання.
7. Назвіть основні параметри режиму при ручному дуговому зварюванні та їх розрахунок.
8. В чому полягає суть і схеми зварювання в захисних газах?
9. Назвіть способи зварювання в аргоні. Режими,