



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**НІКОПОЛЬСЬКИЙ ТЕХНІКУМ**  
НАЦІОНАЛЬНОЇ МЕТАЛУРГІЙНОЇ АКАДЕМІЇ  
УКРАЇНИ



**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

# ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ

**НІКОПОЛЬ, НТ НМетАУ**

**2004**

**1**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
НІКОПОЛЬСЬКИЙ ТЕХНІКУМ  
НАЦІОНАЛЬНОЇ МЕТАЛУРГІЙНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ**

# **НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

**з дисциплін: „Основи технології галузі”  
„Металургія чорних металів”**

**за розділом:**

**„ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ”**

**Укладачі**

**Г.О. Козлов  
О.О. Сірак**

**РЕКОМЕНДОВАНО  
ПЦК металургійних дисциплін та  
ПЦК інженерної механіки  
НТ НМетАУ**

**НІКОПОЛЬ, НТ НМетАУ  
2004**

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| Сутність процесу і класифікація способів зварювання             | 4  |
| Ручне і автоматичне дугове зварювання                           | 5  |
| Електрошлакове зварювання                                       | 8  |
| Дугове зварювання в захисній атмосфері, плазмодугове зварювання | 9  |
| Зварювання електронним і лазерним променем                      | 11 |
| Газове зварювання та різання металу                             | 12 |
| Електричне контактне зварювання                                 | 15 |
| Зварювання тертям, газопресуванням, дифузійне зварювання        | 18 |
| Ультразвукове зварювання  | 19 |
| Зварювання вибухом  | 20 |
| Зварювання пластмас   | 21 |
| Контрольні запитання  | 23 |
| Література  | 23 |

## СУТНІСТЬ ПРОЦЕСУ І КЛАСИФІКАЦІЯ СПОСОБІВ ЗВАРЮВАННЯ

Зварюванням називають технологічний процес утворення нероз'ємних з'єднань металевих виробів, що здійснюється при використанні міжмолекулярних і міжатомних сил зчеплення. Для виникнення цих зв'язків зварювані поверхні необхідно наблизити до відстані відповідної атомному радіусу. Це можливо лише за умови усунення причин (мікронерівності, оксидні та органічні плівки, адсорбовані гази), що заважають зближенню, і надання атомам певної енергії (енергії активації). Енергія ця може передаватися у вигляді теплоти (термічна активація) та пружно-пластичної деформації (механічна активація). Відповідно до цього всі способи зварювання поділяють не а дві основні групи: зварювання плавленням, зварювання тиском (пластичним деформуванням).

При зварюванні плавленням по кромках, що з'єднуються, розплавляють або тільки основний метал, або основний і додатковий (електродна й або присадний). Для розплавлення основного і присадного металів необхідно, щоб температура становила понад 2500 С.

Розрізняють електричне і хімічне зварювання плавленням.

При електричному зварюванні плавленням джерелом енергії є електричний струм. Таке зварювання поділяють на дугове, електрошлакове, електронно-променеве, плазмове, лазерне тощо. Залежно від рівня механізації зварювання може бути ручним, автоматичним, напівавтоматичним.

При зварюванні тиском у процесі пластичної деформації в поверхневих контактуючих шарах вирівнюються мікронерівності, руйнується адсорбований шар і збільшується кількість активних центрів взаємодії. Внаслідок цього між атомами поверхонь утворюється металевий зв'язок. Зварювання тиском здійснюють з попереднім нагріванням (контактне, індукційне, дифузійне) або без нього (холодне, ультразвукове, вибухом, тертям).

Найпоширенішим способом зварювання є дугове, джерело енергії якого - зварювальна дуга. Зварювальною дугою називають стаціонарний електричний розряд у газопаровій атмосфері між електродами, що перебувають під напругою. Відстань між електродами називають областю дугового розряду, або довжиною дуги (приблизно дорівнює діаметрові електрода). Запалювання дуги при зварюванні починається з короткого замикання електрода з виробом або з високочастотного електричного розряду (в разі використання неплавких електродів). Зварювальна дуга як концентроване джерело енергії забезпечує температуру стовпа дуги 6000...7000°C і температуру катодної і анодної плям, відповідно, 2400...2600°C. У рівноважному стані залежність між

напруженням і струмом виявляє статична вольт-амперна характеристика дуги, що складається з трьох ділянок: спадаючої, жорсткої й такої, що зростає. Найчастіше використовують ділянку дуги з жорсткою характеристикою.

Зварювальну дугу можна живити постійним струмом (від генераторів і випрямовуючих установок) або змінним (від зварювальних апаратів чи трансформаторів). При зварюванні напруження на дузі має бути мінімальним. Тому потужність дуги регулюють зміною сили струму, керуючи вольт-амперною характеристикою.

Джерела зварювального струму мають відповідати таким вимогам: легке запалювання дуги і безпечність роботи (напруження холостого ходу має бути не більше 60...80 В); стабільне горіння дуги за заданим режимом; варіювання (регулювання) сили струму; обмеження струму при короткому замиканні зварювальної мережі (струм короткого замикання має не перевищувати робочий струм більше ніж у 1,5 рази).

Для виконання цих вимог найчастіше використовують джерело перемінного або постійного струму з напругою холостого ходу 60...80 В зі спадною вольт-амперною характеристикою регульованої крутизни.

## **РУЧНЕ І АВТОМАТИЧНЕ ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ**

Зварювальне обладнання ручного дугового зварювання складається з джерела живлення дуги, зварювальних провідників, електродотримача й електродів. При зварюванні неплавкими електродами застосовують вуглецеві (графітові) електроди діаметром 6...30 мм і завдовжки 200...300 мм або вольфрамкові електроди (при зварюванні в інертних газах) діаметром 1...6 мм. Для зварювання плавкими електродами з покриттям використовують металеві електроди діаметром 1,6... 12 мм і завдовжки 150...450 мм. Під час ручного зварювання зварник маніпулює електродом, підтримуючи задану довжину дуги, подає електрод у дугу, а також переміщує його вздовж заготовки. Схема зварювання електродом із покриттям наведена на рис. 1.1.

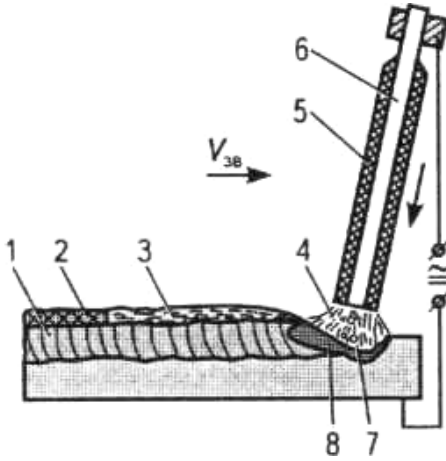
До складу покриття входять:

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

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

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

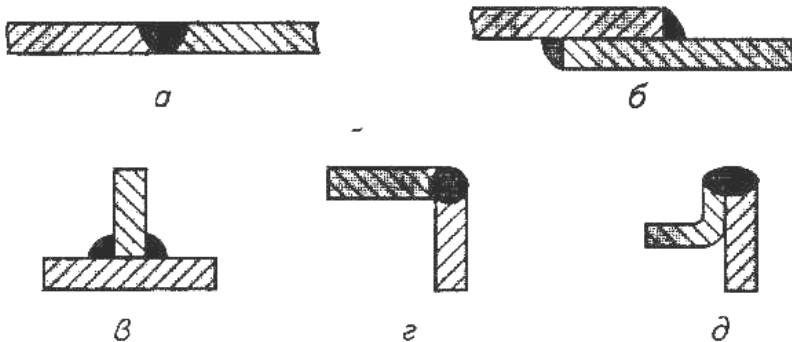
Шлакоутворюючі компоненти захищають електродний метал, метал зварювальної ванни та гарячого шва від впливу повітря (оксидів металів та неметалів — марганцева руда, титанова руда, каолін тощо).



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

Рис. 1.1 - Схема зварювання електродом з покриттям:

*Розкислювальні* компоненти — це сполуки, що мають більшу спорідненість із киснем. Вони необхідні для видалення кисню з ванни і шлаків (феромарганець, феротитан, феросиліцій тощо). *Легуючі* компоненти застосовують для одержання необхідного хімічного складу і властивостей зварного шва.

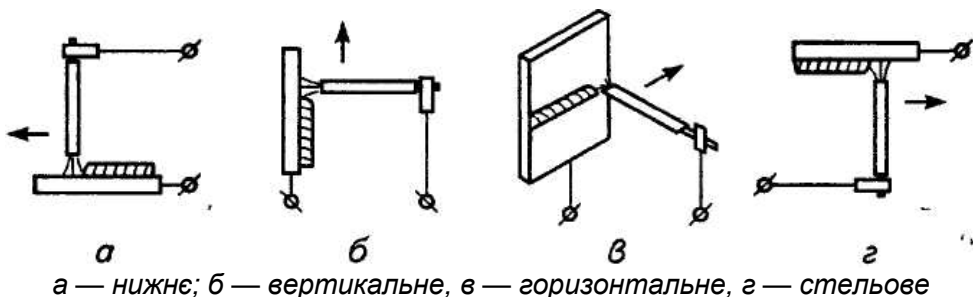


а — встик, б — внапуск, в — таврові, г — кутові, д — торцеві

Рис. 1.2 - Основні типи зварних з'єднань.

Ручне електродугове зварювання ефективно при одержанні всіх типів зварних з'єднань (рис. 1.2) і особливо при зварюванні коротких, переривчастих швів у важкодоступних місцях, у різних просторових положеннях (рис. 1.3) за умов ремонту, дослідного виробництва,

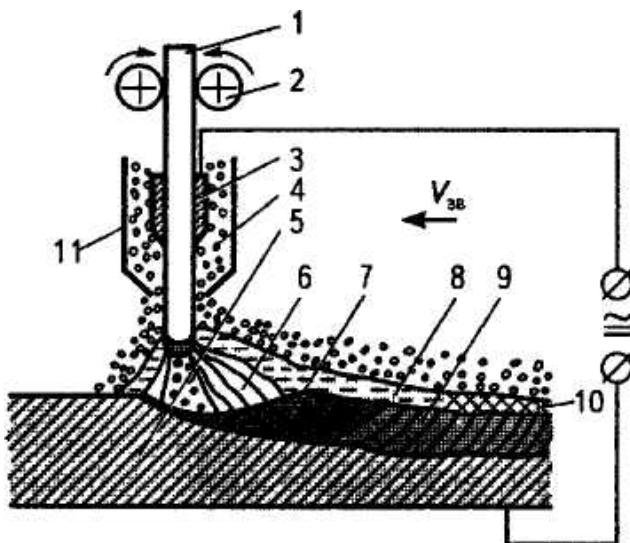
монтажу та будівництва. При такому зварюванні об'єм рідкого металу зварювальної ванни незначний, тому може утримуватись навіть на вертикальній (рис. 1.3, в) або стельовій (рис. 1.2, г) площині за рахунок сил поверхневого натягу.



а — нижнє; б — вертикальне, в — горизонтальне, г — стельове

Рис. 1.3 - Розміщення швів у просторі.

До недоліків цього способу зварювання відносять важкі умови праці (працювати доводиться із захисною маскою) і низьку продуктивність (швидкість зварювання становить декілька метрів за годину). Під час автоматичного зварювання під флюсом забезпечується автоматичне запалювання і підтримується стабільний режим горіння дуги. Подача електродного дроту і переміщення електрода механізовані (рис. 1.4).



1 — електрод, 2 — механізм подачі дроту, 3 — провідник струму, 4 — флюс, 5 — основний метал, 6 — зварювальна дуга, 7 — зварювальна ванна, 8 — шлакова ванна, 9 — зварювальний шов, 10 — шлакова кірка, 11 — бункер

Рис. 1.4 - Схема автоматичного зварювання під флюсом.

При зварюванні під флюсом дуга' збуджується між електродом (1) і основним металом (виробом) (5), і горить під шаром флюсу (4), який надходить в зону зварювання з бункера (11). Частина флюсу, що оточує дугу, розплавлюється, утворюючи на поверхні розплавленого металу (7) ванну рідкого шлаку (8). При переміщенні дуги метал зварювальної ванни кристалізується з утворенням шва (9), покритого кіркою (10), що легко відділяється. Флюс захищає дугу і зварювальну ванну від окислення з атмосфери, забезпечує нормальне формування шва, запобігає розбризкуванню металу. Крім цього, струм можна підводити безпосередньо до дуги, що дозволяє різко збільшити його щільність (струм зварювання до 3000 А та більше). Складовими флюсу, залежно від способу зварювання, є оксиди кремнію, титану, кальцію, магнію, марганцю, заліза, а також фтористі й хлористі сполуки (плавиковий шпат, силікат марганцю тощо).

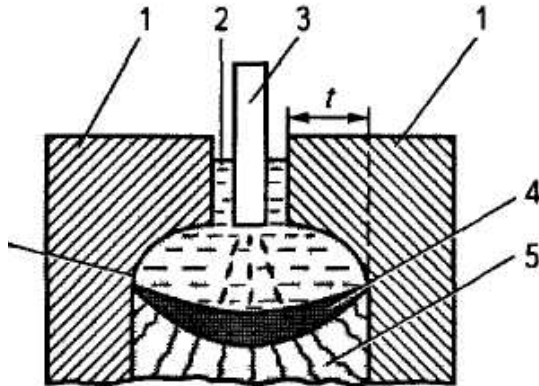
Автоматичне зварювання, порівняно з ручним, уможлиблює зменшення витрат електродного металу в два рази, підвищення продуктивності від 3 до 20 разів, поліпшує умови праці. Його застосовують для зварювання однотипних вузлів з довгими прямолінійними та кільцевими швами, листових конструкцій з різних сталей і сплавів кольорових металів.

Напівавтоматичне зварювання відрізняється від автоматичного тим, що подача електродного дроту механізована, але переміщення його вздовж шва здійснюється вручну. Зварювальну ванну при цьому захищають флюсом або захисним газом (аргоном, гелієм, двоокисом вуглецю). Напівавтоматично зварюють короткі та криволінійні шви, які недоцільно зварювати автоматичним зварюванням.

## **ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ**

Електрошлакове зварювання (ЕШЗ) — це процес з'єднання металів, при якому розплавлення зон зварювання основного й електродного металів здійснюється теплотою, що виділяється при проходженні електричного струму через шлакову ванну (рис. 1.5). Шлакова ванна (2) утворюється за допомогою зварювальної дуги на початку зварювання. Подаючи флюс до дуги, створюється значний шар електропровідного шлаку, після чого дуга занурюється в шлак, стає довшою і нестабільною. Це призводить до припинення дугового розряду і замикання струму у зварювальному ланцюгу. Рідкий шлак нагрівається при проходженні електричного струму. Плавлення електродного дроту (3), пластини або спеціального мундштука, що подаються до зварювальної ванни (4), забезпечує теплота перегрітого (до 2000°C) шлаку. Частина теплоти витрачається також на оплавлення кромки (6) зварюваних заготовок (1).





1 — зварюваний метал, 2 — шлакова ванна,  
 3 — електродний дріт, 4 — металева ванна,  
 5 — зварювальний шов, 6 — величина ( $t$ )

Рис. 1.5 - Схема електрошлакового зварювання

Процес ЕШЗ можливий при вертикальному розташуванні шва і швидкості зварювання до 5 м/год. Витрати на 1 м шва, порівняно з автоматичним дуговим зварюванням під флюсом, приблизно у 10 разів менші за рахунок підвищення продуктивності (в 20 разів), скорочення витрат флюсу (в 20...30 разів) і спрощення підготовки кромки. ЕШЗ застосовують для з'єднання товстолистових (понад 20 мм) заготовок, виливків, поковок і зливків чавуну, сталі, сплавів кольорових металів. Зварювальні з'єднання при цьому можуть бути фігурними, криволінійними, перемінного перерізу. Цей вид зварювання застосовують для виготовлення великогабаритних конструкцій, порожнистих і суцільних валів, механічних і гідравлічних пресів та прокатних станів.

## **ДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ В ЗАХИСНІЙ АТМОСФЕРІ, ПЛАЗМОДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ**

При зварюванні в захисній атмосфері зварювальну дугу, основний метал і електрод захищають в атмосфері газу в камері або струменем газу, який подають до місця зварювання спеціальним пальником. Для зварювання використовують плавкі й неплавкі (вуглець, вольфрам) електроди, постійний і перемінний струм прямої (мінус на електроді) й зворотної полярності. Захисні атмосфери можуть бути інертними (аргон, гелій) або активними (вуглекислий газ, азот, водень). Оскільки інертні гази не взаємодіють з металом і не розчиняються в ньому, хімічний склад шва і

зварюваного металу однаковий, що забезпечує високу якість зварювальних з'єднань. Інертні гази застосовують для зварювання легованих сталей і сплавів на основі Ti, Cr, Nb, Al, Mg завтовшки 0,1...100 мм. Найпоширеніше аргонодугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом. Частіше застосовують дугу постійного струму прямої полярності. Завдяки цьому значна більшість теплоти дуги витрачається на розплавлення основного металу. Проте дуга зворотної полярності має дуже важливу властивість — здатність очищати поверхню металу від окисних і нітридних плівок та інших забруднень. Відбувається це очищення тому, що у зоні катодної плями на поверхні виробу завдяки катодному розпиленню під дією бомбардування позитивними іонами руйнуються оксидна та нітридна плівки та видаляються інші забруднення. Цю властивість дуги зворотної полярності використовують для зварювання (на змінному струмі електродом, що не плавиться) алюмінія, магнія та інших сплавів, поверхня яких вкрита тугоплавкою плівкою окислів і нітридів, що не розплавлюються і тим самим перешкоджають з'єднанню кромek зварюваних елементів. Змінний струм дає змогу в одному з напівперіодів очищати поверхню, а в іншому — розплавляти основний метал і зменшувати нагрів вольфрамового електрода.

Якісні з'єднання низки сплавів одержують також і в середовищі активних газів, які взаємодіють з металом зварювальної ванни. Так, більшість марок конструкційних сталей зварюють у середовищі вуглекислого газу. Надходячи в -зону високих температур дуги, він частково дисоціює з виділенням атомарного кисню. Для захисту від окислення застосовують зварювальний дріт із підвищеним вмістом Si і Mn (1...2 %), які відновлюють оксиди заліза. При цьому продукти реакції спливають на поверхню шва у вигляді шлаку. Під час такого зварювання найчастіше використовують дугу зворотної полярності.

У разі зварювання в захисній атмосфері об'єм ванни невеликий і вона швидше охолоджується. Це дає змогу, на відміну від зварювання під флюсом, здійснювати процес у вертикальному та перевернутому положеннях, що вельми важливо при зварюванні труб устик автоматичною зварювальною головкою.

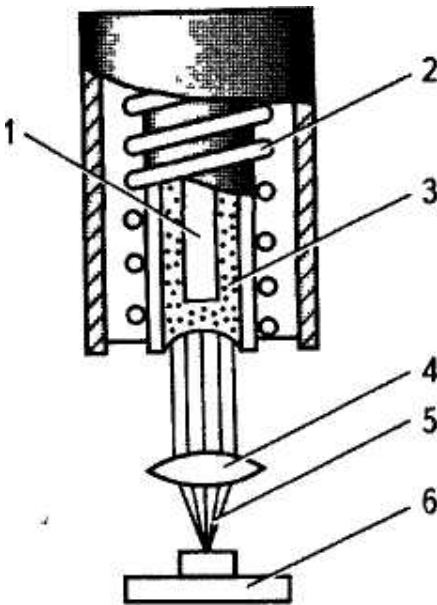
При плазмодуговому зварюванні металу джерелом теплоти є струмінь газу, іонізованого в дузі, яка під час зіткнення з менш нагрітим тілом деіонізується з виділенням значної кількості теплоти. Це дає підставу вважати її самостійним джерелом нагрівання. Температура струменя плазми залежить від ступеня іонізації газу. Для її підвищення використовують стовп стиснутої дуги, тобто дуги, що горить у вузькому каналі, через який під тиском подають газ (аргон, азот, водень), тим самим збільшуючи ступінь обтискування. За таких умов температура газу в стовпі дуги досягає 30000°C. Генератор плазми (іонізованого газу) називають

плазмотроном. Останнім часом створено плазмотрони, в яких замість аргону і аргоно-водневої суміші застосовують дешевший вуглекислий газ.

Є два варіанти використання струменя плазми: • суміщений з дугою, яка горить між вольфрамовим електродом (катодом) і виробом (анодом); • відокремлено від дуги. За першим варіантом здійснюють термічне різання, за другим — зварювання, наплавлення і напилення. Останній варіант застосовується також для роботи з неелектропровідними матеріалами. При цьому швидкість плазмового зварювання вуглецевих сталей досягає кількох сотень метрів за годину.

## ЗВАРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИМ І ЛАЗЕРНИМ ПРОМЕНЕМ

Зварювання електронним променем відносять до зварювання плавленням. Проте, на відміну від дугових методів зварювання, його застосовують у глибокому вакуумі ( $10^{-2}..10^{-4}$  Па) за умов дефіциту іонів, що переносять електричний розряд. Із цієї причини дуговий електричний розряд у вакуумі нестійкий.



- 1 - рубіновий стрижень,
- 2 - ксенонова лампа,
- 3 - система охолодження,
- 4 - лінза,
- 5 - сфокусований потік монохроматичного світла,
- 6 - виріб

Рис. 1.6 - Схема лазерного зварювання

При зварюванні у вакуумі заготовку розміщують у камері. Джерелом тепла є потік прискорених електронів. Швидкість електронів, що дорівнює приблизно половині швидкості світла, забезпечується високою прискорювальною напругою (10...150 кВ) між катодом і анодом (заготовкою). Електрони, які випромінює катод, прискорюються і концентруються в промінь (діаметр до 10мкм), що бомбардує метал. При цьому в процесі гальмування, внаслідок переходу кінетичної енергії в теплову, виділяється теплота. Температура у місці зварювання досягає 5000...6000°C. Це надає променю високої здатності до проплавлення, яке дає змогу за один прохід зварювати заготовки завтовшки до 50 мм та отримувати шви мінімальної ширини, що виключає викривлення заготовок при зварюванні. Співвідношення ширини та глибини шва досягає 1:20 (дугове зварювання забезпечує це співвідношення в межах 1/3...1).

Зварювання електронним променем забезпечує найвищу якість з'єднань будь-яких металів, зокрема тугоплавких і таких, що окислюються при підвищених температурах. Висока концентрація нагріву в фокусі променя (до  $5 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) дає змогу також пробивати отвори в сапфірах, рубінах, алмазах тощо, зварювати неоднорідні матеріали (метали і неметали) завтовшки 0,01...100 мм з різними температурами плавлення та іншими теплофізичними характеристиками.

При лазерному зварюванні джерелом теплової енергії є потужний сконцентрований світловий промінь, який одержують у спеціальних установках — лазерах. Найпоширенішими є лазери зі штучним рубіном (рис.1.6). Такий лазер складається з циліндричного рубінового стрижня (7), імпульсної ксенонової лампи (2), лінзи (4) та охолоджувальної системи (3).

Торці стрижня відполіровані й покриті сріблом. Один із них, що сприяє виходу світлового променя назовні, частково прозорий. Під час роботи ксенонової лампи атоми хрому рубінового кристала пере ходять із нормального стану в збуджений, з іншим енергетичним рівнем. Проте через декілька мілісекунд вони знову повертаються до нормального стану, хаотично випромінюючи фотони червоного світла. Потік їх уздовж осі стрижня викликає випромінювання нових фотонів, які поперемінно віддзеркалюються від торцевих граней, збільшуючи інтенсивність загального випромінювання. При накопиченні певного рівня фотонів вони у вигляді потоку червоного кольору прориваються крізь напівпрозорий торець стрижня назовні. Проходячи крізь лінзу (4), промінь (5) фокусується на виріб (6). Тривалість імпульсу лазерного променя дорівнює тисячним і мільйонним часткам секунди. Питома потужність лазера може перевищувати  $10^{10}$  Вт/см<sup>2</sup>. Під час контакту променя зі зварюваним виробом виділяється тепла енергія, температура в місці стику досягає 6000°C.

Лазерне зварювання дає змогу обробляти вироби в будь-якому середовищі (вакуумі, газі, повітрі), що передає промінь світла. Деталі можна розміщувати в ампулах. Завдяки волоконній оптиці промінь можна спрямовувати у важкодоступні місця, приміщення з високою радіоактивністю тощо. Найдоцільніше лазерне зварювання застосовувати для мікроз'єднань, виготовлення мікроотворів, різних композицій металів завтовшки до 0,5 мм, у мікроелектроніці.

## **ГАЗОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ТА РІЗАННЯ МЕТАЛУ**

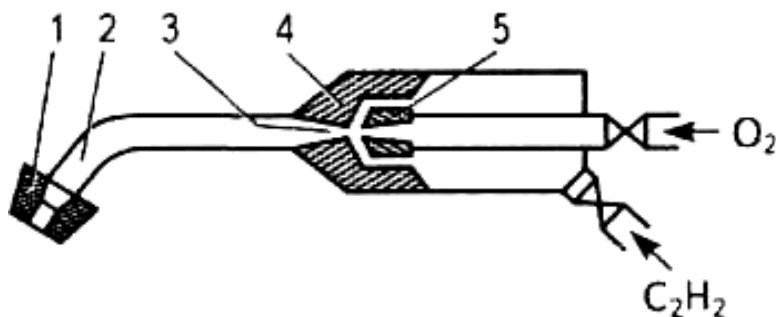
Основний і присадний метали під час газового зварювання розплавляються теплом газового полум'я, яке одержують від згорання горючого газу в суміші з киснем. Газовим різанням називають процес

спалювання металів у струмені кисню. Найчастіше паливом є ацетилен ( $C_2H_2$ ), іноді — водень, нафтові гази, пари бензину або гасу. При спалюванні ацетилену досягають найвищої температури  $3200^{\circ}C$ . Одержують ацетилен у спеціальних генераторах при взаємодії карбїду кальцію ( $CaC_2$ ) з водою. З 1 кг карбїду утворюється приблизно 300 л ацетилену.

Основний інструмент газового зварювання пальник - призначений для змішування у певних пропорціях газу та кисню. За принципом дії пальники поділяють на:

- інжекторні низького тиску (за тиском ацетилену);
- безінжекторні рівного тиску (за тиском ацетилену та кисню).

Розрізняють також одно- і багатополуменеві пальники. Найпоширенішим є інжекторно-зварювальний пальник (рис. 1.7), під час роботи якого кисень з балона надходить до інжектора (5) і зі значною швидкістю витікає з конусного отвору інжектора, що сприяє створенню розрядження в камері (4). За рахунок цього ацетилен, що подається при низькому залишковому тиску  $0,001...0,005$  МПа ( $0,01...0,05$  атм), засмоктується до камери змішування (1), утворюючи суміш, яка надходить до наконечника (2) і при виході з мундштука (1) підпалюється.



1 — мундштук; 2 — наконечник; 3 — камера змішування;  
4 — камера розрядження; 5 — інжектор

Рис. 1.7 - Схема інжекторно-зварювального ацетиленового пальника

Поширеним способом з'єднання елементів при газовому зварюванні - є зварювання в стик. Метод газового зварювання забезпечує плавне нагрівання і повільне охолодження виробів. Застосовують його для ремонтних робіт, при виготовленні виробів зі сталі й сплавів кольорових металів, для наплавки тощо.

При зварюванні сталі газове полум'я відповідає співвідношенню  $O_2/C_2H_2 = 1$ , при зварюванні латуні використовують окислювальне полум'я ( $O_2/C_2H_2 > 1$ ), при зварюванні чавунів і кольорових металів — науглецьовувальне полум'я ( $O_2/C_2H_2 < 1$ ). Крім цього, для зварювання кольорових металів використовують флюси.

Газовий різак відмінний від зварювального пальника тим, що його наконечник утворює прямий кут зі стволом різака. Він має також додаткову трубу для подачі кисню крізь центральний отвір мундштука (рис. 1.8).

Різання починають з нагрівання металу (3) у вихідній точці різання до температури зполум'яніння металу в кисні. Метал нагрівають полум'ям (2), яке утворюється при згорянні ацетилену в кисні. Коли температура підвищується до потрібної, впускають струмінь різального кисню (1). Потрапляючи на метал, що нагрівся, кисень запалює його. Розплавлені оксиди (5), що утворюються, захоплюються струменем кисню і виносяться з зони різання (4).

Газовому різанню піддають лише метали, що відповідають певним вимогам. Розглянемо основні з них. Температура плавлення оксидів має бути меншою за температуру плавлення металу, а температура плавлення металу має перевищувати температуру горіння цього металу

- 1 — струмінь різального кисню;
- 2 — полум'я;
- 3 — метал виробу;
- 4 — зона різання;
- 5 — розплавлені оксиди;

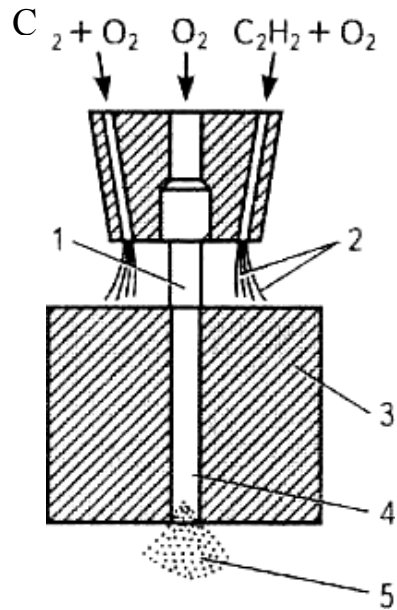


Рис. 1.8 - Схема газокисневого різання металів

в кисні. Для газового різання найбільш придатні залізо і залізобуглецева сталь ( $C < 0,8 \%$ ). Для обробки високолегованих сталей, чавунів, міді, латуні та бронзи використовують киснево-флюсове різання. Тоді до зони реакції додатково вводять порошки флюсів на залізній основі. Горіння цих флюсів дає додаткове тепло, крім цього, частки флюсу сприяють механічному видаленню з поверхні розрізу тугоплавких оксидів. Розрізняють три типи кисневого різання:

- розподілювальне (розкрюювання металу);
- поверхневе (для усунення поверхневих дефектів);
- різання для одержання отворів у виробках з металу і бетону.

## ЕЛЕКТРИЧНЕ КОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Електричне контактне зварювання — це процес утворення нероз'ємного з'єднання за рахунок зчеплення атомів металу, яке здійснюється за локального нагрівання деталей електричним струмом з обов'язковим наступним їх стисненням. Таке зварювання можна здійснювати без розплавлення металу (при нагріванні до пластичного стану) або з локальним розплавленням у зоні контакту. Серед багатьох різновидів електричного контактного зварювання виділяють такі основні типи: точкове, шовне, стикове.

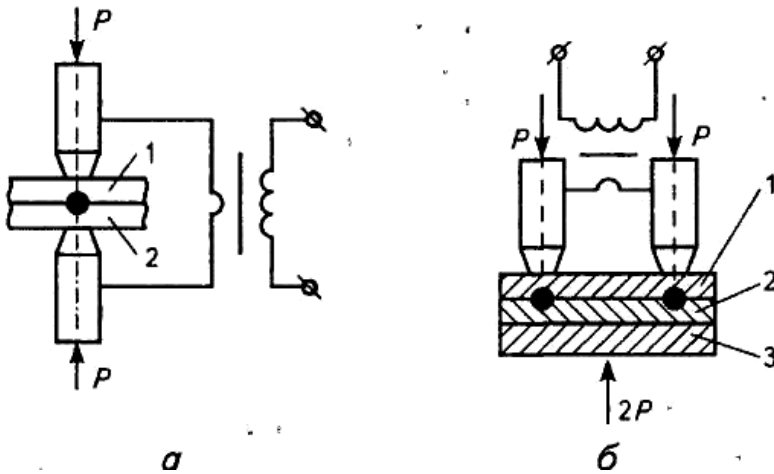


Рис. 1.9 - Схеми дво- (а) та одностороннього (б) точкового зварювання

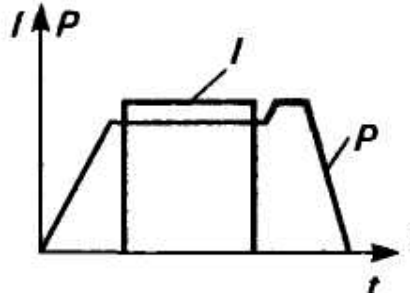
При двосторонньому точковому зварюванні (рис. 12.9, а) деталі {1,2} розміщують внапуск одна на одну, затискають із зусиллям  $P$  між двома мідними електродами, які підводять струм до місця зварювання. При двосторонньому зварюванні й нагріванні бере участь увесь струм. При односторонньому — струм розподіляється між верхньою (1) і нижньою (2) заготовками (рис. 12.9, б) та підкладкою {3} з міді. При односторонньому зварюванні зварюються дві заготовки, а при двосторонньому — дві-чотири. Для проковування точки зварювання додатково збільшують тиск (рис. 12.10). Діаметр точки зварювання ( $d_T$ ) визначають за формулою

$$d_T = 2\delta + 3 \text{ мм},$$

де  $\delta$  — товщина зварюваного листа, мм.

Рекомендована відстань між зварювальними точками  $L = 2,5 d_m$ . Цей вид зварювання застосовують для з'єднання листових конструкцій з вуглецевих і легованих сталей, кольорових металів.

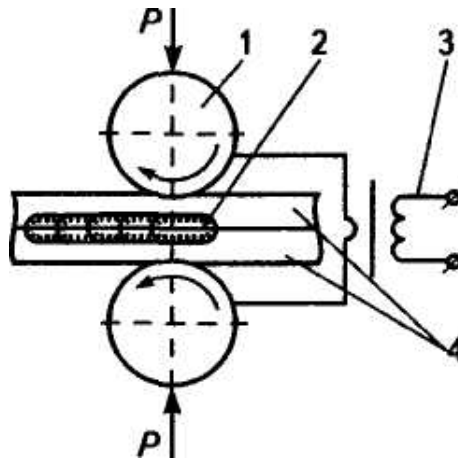
При шовному (роликовому) зварюванні між заготовками утворюється міцний і щільний шов. Складається він із низки послідовно розміщених точок зварювання, які частково накладаються одна на одну.



$I$  — струм, А,  $P$  — зусилля стискування, МПа,  $t$  — час зварювання, с

Рис. 1.10 - Цикл роботи контактної точкової зварювальної машини

Такий вид зварювання також може бути одно- та двостороннім. Схема двостороннього зварювання зображена на рис. 1.11.



1 — дискові електроди, 2 — зварювальне ядро; 3 — джерело струму, 4 - виріб

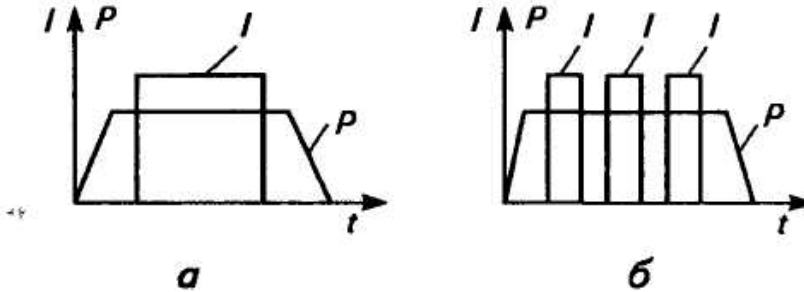
Рис. 1.11 - Схема шовного двостороннього зварювання

Основні технологічні цикли процесу шовного зварювання такі: з безперервним вмиканням струму (рис. 1.12 а); з переривчастим вмиканням (рис. 1.12, б). Перший застосовують для зварювання коротких швів металів, які не схильні до зростання зерна і змін структури



під час нагрівання, а другий — для зварювання довгих швів металів, для яких перегрів небезпечний (неіржавіючі сталі, сплави алюмінію).

Шовне зварювання застосовують при виготовленні тонкостінних ємкостей для зберігання і транспортування рідини або газів, а також у виробництві тонкостінних труб.



$I$  — струм,  $P$  — зусилля стискування, МПа,  $t$  — час зварювання, с

Рис. 1.12 - Цикл роботи шовного зварювання з безперервним (а) і переривчастим (б) включенням струму

Стикове зварювання здійснюється при пластичному деформуванні заготовок, нагрітих у зоні зварювання (рис. 1.13).

Перед зварюванням заготовки очищують від оксидної плівки, механічно обробивши їх, щільно підганяють торці один до одного. На початку зварювання заготовки стискають, а потім вмикають електричний струм, під дією якого місця з'єднання нагріваються до пластичного стану. У процесі зварювання заготовки продовжують притискувати, стик потовщується і відбувається зварювання по всій площині контакту.

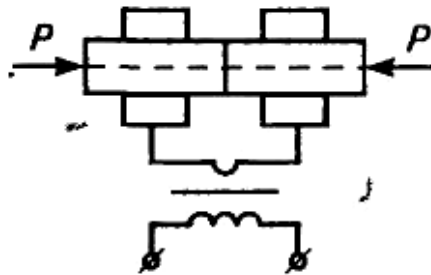


Рис. 1.13 - Схема контактної зварювання опором.

Стикове зварювання з оплавленням - це вид контактної зварювання, при якому заготовки зближують, коли струм вже ввімкнено. Внаслідок цього на торцях виникають дугові розряди, які оплавляють

метал. Після оплавлення заготовки швидко притискують торцями (процес осаджування), оплавлений метал витискується з зони дотику й утворюється зварювальне з'єднання по всій площині контакту.

Максимальна площа перерізу, що зварюється, - до  $6 \times 104 \text{ мм}^2$ . Цим способом легко зварюють різномірні метали різних перерізів. Широко застосовують стикове зварювання різального інструменту, залізничних рейок, труб магістральних газо- і нафтопроводів.

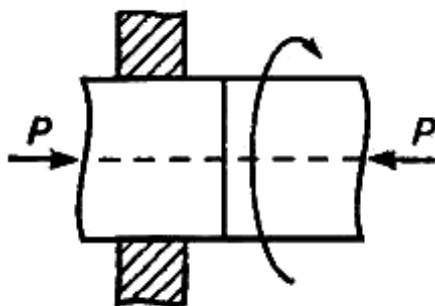
## **ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ, ГАЗОПРЕСУВАННЯМ, ДИФУЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ**

Способи зварювання тертям і газопресуванням належать до зварювання тиском і відрізняються вони лише джерелом теплоти. Зварювання тертям (рис. 1.14) здійснюють у твердому стані, використовуючи теплоту як наслідок тертя поверхонь зварюваних елементів. Спочатку при їхньому обертанні на поверхнях металів руйнуються окисні плівки, й механічна енергія перетворюється на теплову.

При цьому локальне підвищення температури досягає  $950 \dots 1300^\circ\text{C}$ . Досягши необхідної температури, відносний рух зварюваних елементів майже миттєво припиняють, і до нагрітих нерухомих деталей підводять стискальні зусилля. При зварюванні тертям, порівняно з електричним, витрати енергії зменшуються у  $5 \dots 10$  разів.

Перевагами цього виду зварювання є екологічність, відсутність газу

виділень і випромінювання. Зварювання тертям застосовують для з'єднання одно- та різномірних металів (сталь з алюмінієм), виготов



лення різального інструменту, валів, штоків тощо.

Рис. 1.14 - Схема зварювання тертям

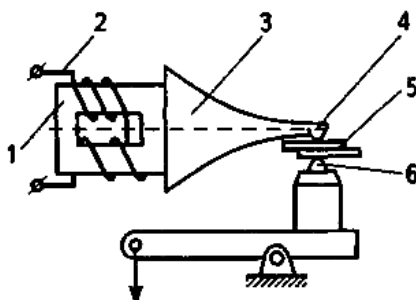
## УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Ультразвукове зварювання також відносять до зварювання тиском. Для нього характерне застосування ультразвукових механічних коливань і незначних зусиль стискування. Використовуючи ефект магнітострикції, тобто здатність деяких металів і їхніх сплавів до перетворення електромагнітних коливань ультразвукової частоти (15...100 кГц) на механічні, одержують коливання тієї самої частоти. Таку здатність мають сплави нікелю з залізом (пермалой), кобальту з залізом (пермендюр) тощо. З них виготовляють магнітострикційні перетворювачі.

Заготовки (5) для зварювання (рис. 1.15) розміщують на опорному електроді (6), який притискує заготовки до наконечника (4) хвилеводу (3). Його з'єднують з котушкою (2) магнітострикційного вібратора (7).

Перемінний струм високої частоти, проходячи крізь котушку, збуджує в ній перемінне магнітне поле, яке передає механічні коливання на її стрижень. Зміна розмірів на торці магнітостриктора незначна — 1...3 мкм. Для збільшення амплітуди коливань застосовують хвилеводи складної форми, забезпечуючи амплітуду коливань до десятків мікрометрів. Ці коливання викликають сили тертя в місцях зварювання, руйнують оксидні плівки, пластично деформують поверхневі шари, нагрівають поверхні металу до 200... 1200 °С. Отже, створюються умови зближення зварюваних матеріалів до відстані взаємодії міжатомних сил, що сприяє утворенню міцних зварюваних з'єднань. На спеціальному обладнанні однорідні та різнорідні метали і сплави зварюють "внапуск" завтовшки 0,001...1 мм з утворенням точкових і шовних з'єднань.

За такою технологією добре зварюються алюміній і його сплави, титан, цирконій, нікель; гірше - низьковуглецеві, жароміцні та інструментальні сталі, сплави магнію. Ультразвукове зварювання застосовують також для з'єднання неметалевих матеріалів — хлорвінілу, поліетилену, капрону, органічного скла, біологічних тканин тощо.

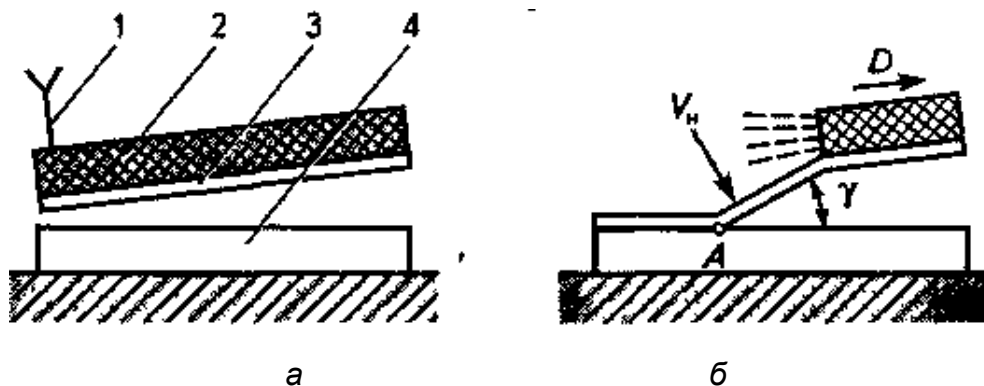


1 - магнітострикційний вібратор, 2 - котушка,  
3 - хвилевід, 4 - наконечник, 5 - заготовки,  
6 - опорний електрод

Рис. 1.15 - Схема ультразвукового зварювання

## ЗВАРЮВАННЯ ВИБУХОМ

Під зварюванням вибухом розуміють з'єднання металів у твердому стані з утворенням нових атомних зв'язків у процесі високошвидкісного зіткнення тіл, яке здійснюють з використанням енергії вибухових речовин або інших джерел енергії з великою питомою потужністю (рис. 1.16, а). На верхній частині заготовки розміщують вибухову речовину (2). При спрацюванні детонатора (7) відбувається спрямований вибух, і тиск  $10^4$  МПа (до  $10^5$  атм), що утворюється, сприяє переміщенню верхньої заготовки (3) до нижньої (4). Під час удару в точці А (рис. 1.16, б) видаляються тонкі поверхневі шари металу, оксидні плівки і забруднення. Заготовки (3 і 4) зближуються на відстань, що забезпечує взаємодію міжатомних сил. У такий спосіб за тисячні частки секунди поверхні в кілька квадратних метрів з'єднують з досить високою міцністю. Основними параметрами зварювання вибухом є швидкість детонації  $D$  нормальна швидкість  $V_H$ , кут  $\gamma$ . Вихідний проміжок між зварюваними заготовками дорівнює 2...3 мм.



а — вихідне положення, б — процес зварювання

Рис. 1.16 - Схема зварювання вибухом.

Цей вид зварювання має певні недоліки і переваги. До переваг слід віднести універсальність, самоочищення контактних поверхонь, зміцнення металу біля меж з'єднання, відсутність термічного впливу і прошарків дифузійного походження, можливість багат шарового зварювання, негромізде, просте обладнання. Основними вадами зварювання вибухом вважають необхідність встановлення заготовок під кутом, складність стикового зварювання, небезпечність застосування вибухових речовин.

## ЗВАРЮВАННЯ ПЛАСТМАС

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Технологічний процес склеювання деталей складається: з підготовки поверхонь, зачистки (знежирювання), нанесення клею, просушування клейових плівок перед з'єднанням (іноді), з'єднання поверхонь, що необхідно склеїти, закріплення під ви значеним тиском, термообробки (тверднення) клейового з'єднання, або витримки при нормальній температурі.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає сутність процесу зварювання?
2. У чому полягає сутність і відмінності ручного та автоматичного дугового зварювання?
3. У чому суть процесу електрошлакового зварювання?
4. Що являє собою дугове зварювання в захисній атмосфері?
5. У чому суть плазмодугового зварювання?
6. У чому суть зварювання електронним променем?
7. У чому суть зварювання лазерним променем?
8. У чому суть і відмінності газового зварювання та різання металу?
9. У чому суть та відмінності точкового і шовного електричного контактного зварювання?
10. У чому суть та відмінності контактного зварювання опором та оплавленням?
11. У чому суть зварювання тертям та газопресуванням?
12. У чому суть дифузійного зварювання?
13. Що являє собою ультразвукове зварювання?
14. У чому суть процесу зварювання вибухом?
15. Якими способами здійснюють зварювання пластмас?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сологуб М. А., Рожнецький І. О., Нікоз О. І. та ін. Технологія конструкційних матеріалів. — Київ: Вища школа, 2002.
2. Терехов В. К. Металловедение и конструкционные материалы.- М.: Высшая школа, 1981.
3. Кузьмин Б. А., Абраменко Ю.Е., Ефремов В. К. и ф. Технология металлов и конструкционные материалы. — М.: Машиностроение, 1991.
4. Кондратюк С. Є., Кіндрачук М. В., Степаненко В. О., Москаленко Ю.Н. Матеріалознавство та обробка металів. - Київ: Вікторія, 2000.
5. Дальский А. М., Дубинин Н. П., Макаров Э. П., Попов Е. Л. Технология конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1985.
6. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение.- М: Машиностроение, 1990.
7. Алаи С. И., Григорьев П. М., Ростовцев А. Н. Технология конструкционных материалов. — М.: Просвещение, 1980.
8. Кузьмин Б. А., Самохоцкий А. И. Металлургия, материаловедение и конструкционные материалы. — М.: Высшая школа, 1984.