**ЛЕКЦІЯ 5**

**1. Зварювальне виробництво. Зварювання плавленням**

*Зварювання* – технологічний процес одержання нероз'ємних з'єднань у результаті виникненняатомно-молекулярнихзв'язків між, що з'єднуються деталями при їхньому нагріванні й пластичнім деформуванні.

Зварені з'єднання можна одержувати двома принципово різними шляхами: зварюванням плавленням і зварюванням тиском.

При *зварюванні плавленням* молекулярний -молекулярні-атомно-молекулярнізв'язки між деталями створюють, оплавляючи їх крайки, що примикають, так, щоб вийшла змочувальна їх, загальна ванна. Ця ванна затвердевает при охолодженні й з'єднує деталі в одне ціле. Як правило, у рідку ванну вводять додатковий метал, щоб повністю заповнити зазор між деталями, але можливе зварювання й без нього.

При *зварюванні тиском* обов'язковим є спільна пластична деформація деталей стиском зони з'єднання. Цим забезпечується очищення поверхонь, що зварюються, від плівок забруднень, зміна їх рельєфу й утвіратомно-молекулярнихзв'язків. Пластичної деформації звичайно передує нагрівання, тому що з ростом температури зменшується значення деформації, необхідної для зварювання й підвищується пластичність металу.

Нагрівання деталей, що зварюються, здійснюється різними способами: електричною дугою, газокисневим полум'ям, пропущенням струму, лазером і т.д. По-різномузабезпечуються захист зони зварювання від впливу повітря і її примусова деформація.

Існує безліч технологічних процесів зварювання (більш 70).

Зварювання є найбільш важливим способом одержання нероз'ємних з'єднань із різних матеріалів, зварюються метали й сплави, кераміка, скло, пластмаси, різнорідні матеріали. Зварювання застосовується у всіх областях техніки.

**2. Зварювання плавленням**

***Дугове зварювання***

Джерелом теплоти є електрична дуга, яка горить між електродом і заготовкою. Зварювальною дугою називається потужний електричний розряд між електродами, що перебувають у середовищі іонізованих газів і пар.

Залежно від матеріалу й числа електродів, а також способу включення електродів і заготовки в ланцюг електричного струму розрізняють наступні різновиди дугового зварювання (мал. 4.1):

•зварюванн, що неплавящимся (графитовым или вольфрамовым) электродом *1* дугой прямого действия*2* (рис. 4.1.а), при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла*3*, либо с применением присадочного металла

•зварювання електродом, що плавиться (металевим*)* 1 дугою прямої дії з одночасним розплавлюванням основного металу й електрода, який поповнює зварювальну ванну рідким металом (мал. 4.1.б);

•зварюванн непрям дуг *5*, що горі між дв, якК правилоК электродами, що неплавящимися, при этом основной металл нагревается и расплавляется теплотой столба дуги (рис. 4.1.

•зварювання трифазною дугою, при якій дуга горить між кожним електродом і основним металом (мал. 4.1.г). то забезпечується підвищена якість зварених швів. Це дозволяє виконувати мікроплазмове зварювання металу товщиною 0,025…0,8 мм.

Недолік плазмового зварювання – недовговічність пальників.

# 4. Електрошлакове зварювання.

Сутність процесу полягає в тому, що теплову енергію, необхідну для розплавлювання основного й присадочного металу, дає теплота, виділювана в обсязі жужільної ванни при проходженні через неї струму (мал. 4.4).

Мал.4.4. Схема електрошлакового зварювання

заготовки, що *зварюються,* 1 установлюють у вертикальнім положенні. У замкнений простір між водоохлаждаемыми мідними повзунами*4*і вертикально встановленими крайками виробів засинають флюс і подають електродний дріт*7* за допомогою спеціального механізму подачі*6*.

На початку процесу збуджують дугу, флюс плавиться й утворюється електропровідний шлаки *5*. Шлаки шунтирует дугу, вона гасне, вихідний ланцюг джерела живлення замикається через шлаки. Струм, проходячи через шлаки, розігріває його, це приводить до раславлению крайок основного металу й електрода. Розплав стікає вниз і утворює зварювальну ванну*8*, вичавлюючи шлаки нагору, і затвердевает.

У початковому й кінцевому ділянках шва утворюються дефекти: на початку шва – непровар крайок, наприкінці шва – усадочна раковина й неметалічні включення. Тому зварювання починають і закінчують на спеціальних планках *2* і*3*, які потім видаляють газовим різанням.

Переваги: можливе зварювання металу будь-якоїтовщини (з 16 мм). Заготовки з товщиною до 150 мм можна зварювати одним електродом, що роблять поперечне коливання в площині стику, при товщині більш 150 мм використовуються декількох дротів. Є досвід зварювання товщиною до 2 м.

Недолік способу – утвір крупного зерна у шві й околошовной зоні внаслідок уповільненого нагрівання й охолодження. Необхідне проведення термічної обробки: нормалізації або отжига для здрібнювання зерна.

Електрошлакове зварювання широко застосовують у важкім машинобудуванні для виготовлення кованесзварених і литих-зваренихконструкцій; станини й деталі потужних пресів і верстатів, колінчаті вали суднових дизелів, ротори й вали гідротурбін, казани високого тиску й т.п.

**5. Променеві способи зварювання**

*Електронно-променевезварювання.*

Сутність процесу полягає в тому, що деталі, що зварюються, зібрані без зазору, поміщають у вакуумну камеру й подають на них електродний промінь – пучок електронів, що рухаються з великою швидкістю. При зіткненні з виробом електрони гальмуються, їхня кінетична енергія переходить у теплову енергію й розплавляє метал. Температура в місці зіткнення досягає 5000…6000 0С. Переміщаючи електронний промінь уздовж стику, одержують зварений шов.

Схема установка для електронно-променевогозварювання представлена на мал. 4.5.



Рис.4.5. Схема установки для електронно-дуговогозварювання

Електрони, що випускаються катодом *1* електронної гармати, формуються в пучок електродом *2*, розташованим безпосередньо за катодом, прискорюються під дією різниці потенціалів між катодом і анодом*3, що* становить 20…150 КВ і вище, потім фокусируются у вигляді променя й направляються спеціальною відхиляючої магнітною системою*5*на оброблюваний виріб*6*. На формуючий електрод 2 подається негативний або нульовий стосовно катода потенціал. Фокусуванням досягається висока питома потужність променя. Струм електронного променя невеликий – від декількох міліамперів до одиниць амперів.

Процесу електронно-променевогозварювання властиві дві характерні риси:

•зварювання протікає у вакуумі, забезпечується одержання дзеркально чистої поверхні й дегазація розплавленого металу;

•інтенсивність нагрівання дуже велика, що забезпечує швидке плавлення й затвердіння металу. Шов виходить дрібнозернистий з високими механічними властивостями, з мінімальною шириною, що дозволяє зварювати сплави, чутливі до нагрівання.

Електронно-променевимзварюванням виготовляють деталі з тугоплавких, хімічно активних металів і їх сплавів (вольфрамових, танталових, молібденових, ниобиевых, цирконієвих), а також алюмінієвих і титанових сплавів і високолегованих сталей. Метали й сплави можна зварювати в однорідних і різнорідних комбінаціях, зі значною різницею толщин, температур плавлення. Мінімальна товщина заготовок, що зварюються, становить 0,02 мм, максимальна – до 100 мм.

*Лазерне зварювання.*

Лазерне зварювання – спосіб зварювання плавленням, при яких метал нагрівають випромінюванням лазера.

Лазерний промінь являє собою змушене монохроматичне випромінювання, довжина хвилі якого залежить від природи робочого тіла лазера-випромінювача.Воно виникає в результаті змушених стрибкоподібних переходів збуджених атомів робочих тіл на більш низькі енергетичні рівні.

Основними параметрами режимів лазерної обробки є потужність випромінювання, діаметр плями фокусування, швидкість переміщення оброблюваного матеріалу відносно променя.

Перевагою лазерного зварювання є швидке крапкове нагрівання металу до плавлення. Інтенсивне зосереджене нагрівання обумовлює й надзвичайно більшу швидкість охолодження після припинення впливу променя. Це дозволяє звести до мінімуму ширину околошовной зони, зварювальні напруги й деформації.

Механізм процесів при лазернім зварюванні схожий з електронно-променевимзварюванням, але не обов'язково вакуумировать виріб.

Лазером зварюють переважно товщини до 1 мм, тому що коефіцієнт корисної дії перетворення енергії в лазерне випромінювання досить низький.

**6. Газове зварювання**

При газовім зварюванні заготовки *1* і присадочный матеріал*2* у вигляді прутка або дроту розплавляють високотемпературним полум'ям*4* газового пальника*3* (мал. 4.6).

Мал. 4.6. Схема газового зварювання

Газове полум'я одержують при згорянні горючого газу в атмосфері технічно чистого кисню. Потужність полум'я регулюють зміною наконечників пальника.

Нагрівання заготовки здійснюється більш плавно, ніж при дуговім зварюванні, тому газове зварювання застосовують для зварювання металу малої товщини (0,2…3 мм), легкоплавких кольорових металів і сплавів; металів і сплавів, що вимагають поступового нагрівання й охолодження (інструментальні сталі, латуні); для подварки дефектів у чавунних і бронзових виливках. При збільшенні товщини металу знижується продуктивність і збільшується деформація.

**ЛЕКЦІЯ 5**

**Зварювання тиском. Спеціальні термічні процеси у зварювальнім виробництві. Пайка**

**1. Зварювання тиском**

Сутність одержання нероз'ємного звареного з'єднання двох заготовок у твердому стані полягає в зближенні ідеально чистих поверхонь, що з'єднуються, на відстані (2…4) 10 – 10див, при яких виникають міжатомні сили притягання.

Необхідною умовою одержання якісного з'єднання у твердому стані є гарне очищення й підготовка поверхонь і наявність сдвиговых пластичних деформацій у зоні з'єднання в момент зварювання.

**2. Контактне зварювання**

Зварені з'єднання виходять у результаті нагрівання деталей минаючим через них струмом і наступної пластичної деформації зони з'єднання.

Зварювання здійснюється на машинах, що полягають із джерела струму, переривника струму й механізмів затиснення заготовок і тиску.

До деталей за допомогою електродів підводять струм невеликої напруги (3…8 В) і великої сили (до декількох десятків КА). Більша частина тепла виділяється в зоні контакту деталей.

По виду одержуваного з'єднання контактне зварювання підрозділяють на крапкову, шовну, стикову. Схеми контактного зварювання представлені на мал. 5.1.

Мал. 5.1. Схеми контактного зварювання: а – стиковий; б – крапкової; в – шовної

*Стикове контактне зварювання*(мал.5.1.а)***–***спосіб з'єднання деталей по всій площині їх торкання.

заготовки, що *зварюються,* 1 щільно затискають у*нерухливому* 2 і *рухливому* 3 токоподводах, підключених до вторинної обмотки зварювального *трансформатора* 4. Для забезпечення щільного електричного контакту поверхні, що зварюються, приводять у зіткнення й стискають. Потім включається струм. Поверхня контакту заготовок розігрівається до необхідної температури, струм відключається, проводиться здавлювання заготовок – осаду.

Стикове зварювання з розігрівом стику до пластичного стану й наступним осіданням називають *зварюванням опором,*а при розігріві торців до оплавлення з наступним осіданням –*зварюванням оплавленням*. У результаті пластичної деформації й швидкої рекристалізації в зоні утворюються рекристаллизованные зерна з матеріалу обох деталей.

Зварювання застосовується для з'єднання встык деталей типу стрижнів, товстостінних труб, рейок і т.п.

*Точкове зварювання* (мал. 5.1.б) ***–*** спосіб виготовлення листових або стрижневих конструкцій, що дозволяє одержати міцні з'єднання в окремих крапках.

заготовки, що зварюються, 1, зібрані внахлест, затискають між *нерухливим* 2 і рухливим 3 електродами, приєднаними до обмотки*трансформатора 4.*

Електроди зсередини прохолоджуються водою, нагрівши локалізується на ділянках зіткнення деталей між електродами. Одержують лінзу розплаву необхідного розміру, струм виключають, розплав затвердевает, утворюється зварена крапка. Електроди стискають деталі, пластично деформуючи їх.

зварене з'єднання, Що утворюється, має велику міцність і його можна застосовувати для виготовлення несучих конструкцій. Цей спосіб широко застосовують в авто- і вагонобудуванні, будівництві, а також при складанні електричних схем.

*Шовне зварювання* (мал. 5.1, в) ***–*** спосіб з'єднання деталей швом, що полягають із окремих зварених крапок.

заготовки, що *зварюються,* 1 поміщають між двома роликамиеелектродами, один з*електродів* 2 може мати обертовий рух, а*інший* 3 – обертовий рух і переміщення у вертикальному напрямку. Електроди підключаються до вторинної обмотки трансформатора *4*. ЕлектродиоРолики затискають і пересувають деталь.

Шовне зварювання забезпечує одержання міцних і герметичних з'єднань їх листового матеріалу товщиною до 5 мм.

**3. Дифузійне зварювання**

*Дифузійне зварювання* ***–*** спосіб зварювання тиском у вакуумі додатком сил, що здавлюють, при підвищеній температурі.

Що зварюються деталі ретельно зачищають, стискають, нагрівають у вакуумі спеціальним джерелом тепла до температури рекристалізації (0,4 Тпл), і довгостроково витримують. У початковій стадії процесу створюються умови для утвору металевих зв'язків між поверхнями, що з'єднуються. Низький тиск сприяє видаленню поверхневих плівок, а висока температура й тиск приводять до зменшення нерівностей поверхонь і зближенню їх до потрібної відстані. Потім протікають процеси дифузії в металі, утворюються проміжні шари, що збільшують міцність з'єднання. З'єднання одержують при невеликій пластичній деформації. Зміна розмірів мало.

Зварювання може здійснюватися в середовищі інертних і захисних газів: гелій, аргон, водень.

Спосіб застосовується для з'єднання металів, металів і напівпровідників, а також інших неметалічних матеріалів.

Дифузійне зварювання широко застосовується в космічній техніці, в електротехнічній, радіотехнічній і інших галузях промисловості.

**4. Зварювання тертям**

*Зварювання тертям****–***спосіб зварювання тиском при впливі теплоти, що виникає при терті поверхонь, що зварюються.

заготовки, що зварюються, установлюють соосно, у затискачах машини, один з яких нерухливий, а іншої може робити обертальне й поступальне рухи. Заготовки стискуються



осьовим зусиллям, і включається механізм обертання. При досягненні температури 980…1300 0С обертання заготовок припиняють при продовженні стиску.

Іноді зварювання тертям роблять через проміжний елемент, що обертається, або заміняють обертовий рух вібрацією.

Зварюванням тертям можна зварювати заготовки діаметром 0,75…140 мм.

Переваги способу: простота, висока продуктивність, мала енергоємність, стабільність якості з'єднання, можливість зварювання заготовок з різнорідних матеріалів.

Здійснюється зварювання на спеціальних машинах.

**5.5. Зварювання вибухом**

Більшість технологічних схем зварювання вибухом засноване на використанні спрямованого вибуху.

поверхні, що з'єднуються, заготовок, одна з яких нерухлива й служить підставою, розташовують під кутом друг до друга на певній відстані. На другу заготовку укладають вибухову речовину й установлюють детонатор. Зварювання здійснюють на твердій опорі. При зіткненні двох деталей під дією ударної хвилі, що рухаються з великою швидкістю, між ними утворюється кумулятивний струмінь, який руйнує й несе оксидні поверхневі плівки й інші забруднення. Поверхні зближаються до відстані дії міжатомних сил, і відбувається схоплювання по всій площі з'єднання. Тривалість зварювання кілька мікросекунд.

Міцність з'єднань, виконаних зварюванням вибухом, вище міцності матеріалів, що з'єднуються.

Зварювання вибухом використовують при виготовленні заготовок для прокату біметалу, плакуванню поверхонь конструкційних сталей металами й сплавами зі спеціальними властивостями, при зварюванні заготовок з різнорідних матеріалів. Доцільна комбінація зварювання вибухом зі штампуванням і куванням.

**6. Тип звареного з'єднання**

Основними перевагами зварених з'єднань є: економія металу; зниження трудомісткості виготовлення корпусних деталей; можливість виготовлення конструкцій складної форми з окремих деталей, отриманих куванням, прокаткою, штампуванням.

Звареним конструкціям властиві й деякі недоліки: поява залишкових напруг; жолоблення в процесі зварювання; погане сприйняття знакозмінних напруг, особливо вібрацій; складність і трудомісткість контролю.

Тип звареного з'єднання визначають взаємним розташуванням елементів, що зварюються, і формою підготовки (оброблення) їх крайок під зварювання.

У залежності розташування деталей, що з'єднуються, розрізняють чотири основні типи зварених з'єднань: стикові, нахлесточные, кутові й таврові (мал. 5.2).

Мал.5.2. Основні типи зварених з'єднань а – стикове; б – нахлесточное; в – таврове; г – кутове

Крайки обробляють із метою повного провару заготовок по перетину, що є однією з умов рівноміцності звареного з'єднання з основним металом.

Форми підготовки крайок під зварювання показані на мал. 5.3. розрізняють V, K, X – образні

По характеру виконання зварені шви можуть бути однобічні й двосторонні.



Мал. 5.3. Форми підготовки крайок під зварювання:

А – V-образна;б – U-образна; в – X образна; г – двостороння Х образна

**7. Спеціальні термічні процеси у зварювальнім виробництві**

*Наплавлення* – процес нанесення шару металу або сплаву на поверхню виробу. Наплавлення дозволяє одержувати деталі з поверхнею, що відрізняється від основного металу, наприклад жаростійкістю й жароміцністю, високою зносостійкістю при нормальних і підвищених температурах, корозійною стійкістю й т.п. Наплавлення може проводитися як при виготовленні нових деталей, так і в ремонтно-відбудовчихроботах, суттєво подовжуючи строк експлуатації деталей і вузлів, забезпечуючи цим високий економічний ефект.

Існують різноманітні способи наплавлення.

1. Ручна дугова електродами зі стрижнями й покриттями спеціальних составів.

2. Автоматичне наплавлення під флюсом. Електроди можуть бути суцільного перетину й порошкові. Состав флюсу, метал електрода й состав наповнювача визначають властивості наплавленого шару.

3. Наплавленн электродами, що неплавящимися, що плави\_ и, Властивості наплавленого шару залежать від матеріалу присадки або електрода.

4. Плазмове наплавлення. Дуга може бути як прямої, так і непрямої дії. Можна плазмовим струменем оплавляти шар легованого порошку, попередньо нанесений на поверхню деталі.

5.Електрошлакове, електронно-променеве,лазерне наплавлення, а також наплавлення газокисневим полум'ям.

Істотним показником ефективності того або іншого способу наплавлення є ступінь перемішування при наплавленні основного металу й присадочного: чому вона менше, тем ближче будуть властивості наплавленого шару до заданих.

**8. Напилювання**

При напилюванні розплавлені по всім обсягу або по поверхні частки матеріалу майбутнього покриття направляються на поверхню нагрітої заготовки. При зіткненні з поверхнею частка деформується, забезпечуючи гарний фізичний контакт із деталлю.

Характер взаємодії частки з матеріалом подложки, наступна кристалізація часток визначає якість адгезії покриття з подложкой. Наступні шари формуються вже за рахунок зв'язків часток один з одним, мають луската будова й істотна неоднорідні.

У міру підвищення вартості об'ємного легування й прагнення одержати необхідні експлуатаційні властивості більш економічним способом (легуванням поверхні) напилювання стає усе більш кращим.

Для напилювання використовують джерела тепла: газове полум'я, плазму, іонне нагрівання, нагрівши в печах, лазер і ін.

Найбільше поширення одержали процеси газопламенного й плазмового напилювання. Матеріал для напилювання подається в полум'я пальника або плазмову дугу у вигляді дроту або порошку, де відбувається нагрівання й розпилення часток, які тепловим потоком джерела нагрівання розганяють і попадають на поверхню напыляемой деталі. Інший спосіб формування покриттів при нагріванні в печах. У цьому випадку нагріта деталь контактує з матеріалом покриття, що перебувають у вигляді порошку або газової фази. Одержуване таким методом покриття має високу адгезію до поверхні деталі за рахунок активних дифузійних процесів, що відбуваються в період тривалої витримки в печі при високій температурі.

Усе більше поширення одержують іонно-плазмовіметоди напилювання зносостійких і декоративних покриттів.

# 9. Пайка

*Пайка* – процес одержання нероз'ємного з'єднання заготовок без їхнього розплавлювання шляхом змочування поверхонь рідким припоєм з наступною його кристалізацією. Розплавлений припій затікає в спеціально створювані зазори між деталями й дифундує в метал цих деталей. Протікає процес взаємного розчинення металу деталей і припою, у результаті чого утворюється сплав, більш міцний, чому припій.

Утвір з'єднання без розплавлювання основного металу забезпечує можливість распая з'єднання.

Якість паяних з'єднань (міцність, герметичність, надійність і ін.) залежать від правильного вибору основного металу, припою, флюсу, способу нагрівання, типу з'єднання.

*Припій*повинен добре розчиняти основний метал, мати змочувальну здатність, бути дешевим і недефіцитним. Припої являють собою сплавы кольорових металів складного состава. По температурі плавлення припої підрозділяють на особливо легкоплавкі (температура плавлення нижче 1450С), легкоплавкі (145…4500С), среднеплавкие (450…11000С) і тугоплавкі (вище 10500С). До особливо легкоплавких і легкоплавких припоїв ставлятьсясвинцевий -свинцеві-олов'яно-свинцеві,на основі вісмуту, індію, олова, цинку, свинцю. До среднеплавким і тугоплавким ставляться припої мідні, цинковий - цинкові-мідно-цинкові, мідно-нікелеві, із благородними металами (сріблом, золотом, платиною). Припої виготовляють у вигляді прутків, листів, дротів, смуг, спіралей, дисків, кілець, зерен, які укладають у місце з'єднання.

При пайку застосовуються *флюси* для захисту місця спаю від окиснення при нагріванні складальної одиниці, забезпечення кращої смачиваемости місця спаю розплавленим металом і розчинення металевих окислів. Температура плавлення флюсу повинна бути нижче температури плавлення припою. Флюси можуть бути тверді, пастообразные й рідкі. Для пайки найбільш застосовні флюси: бура, плавиковий шпат, борна кислота, каніфоль, хлористий цинк, фтористий калій.

Пайку точних з'єднань роблять без флюсів у захисній атмосфері або у вакуумі.

Залежно від способу нагрівання розрізняють пайку газову, зануренням (у металеву або соляну ванну), електричну (дугова, індукційна, контактна), ультразвукову.

В одиничнім і дрібносерійнім виробництві застосовують пайку з місцевим нагріванням за допомогою паяльника або газового пальника.

У крупносерийном і масовім виробництві застосовують нагрівання у ваннах і газових печах, електронагрів, імпульсні паяльники, індукційне нагрівання, нагрівши струмами високої частоти.

Перспективним напрямком розвитку технології пайки металевих і неметалічних матеріалів є використання ультразвуку. Генератор ультразвукової частоти й паяльник з ультразвуковим магнитострикционным вібратором застосовуються для безфлюсової пайки на повітрі й пайку алюмінію. Оксидна плівка руйнується за рахунок коливань ультразвукової частоти.

Процес пайки включає: підготовку поверхонь, що сполучаються, деталей під пайку, складання, нанесення флюсу й припою, нагрівши місця спаю, промивання й зачищення шва.

Деталі для пайки ретельно підготовляються: їх зачищають, промивають, знежирюють. Зазор між поверхнями, що сполучаються, забезпечує дифузійний обмін припою з металом деталі й міцність з'єднання. Зазор повинен бути однаковий по всім перетину. Припій повинен бути зафіксований щодо місця спаю. Припій закладають у місці спаю

у вигляді фольгових прокладок, дротових контурів, стрічок, дроби, паст разом із флюсом або наносять у розплавленому виді. При автоматизованій пайці – у вигляді пасти за допомогою шприць-установок.

При можливості передбачаються засоби механізації – напівавтомати й автомати для газової, електричної пайки.

Паяні з'єднання контролюють по параметрах режимів пайки, зовнішнім оглядом, перевіркою на міцність або герметичність, методами дефекто- і рентгеноскопії.