

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра технологій зварювання та будівництва

ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ З'ЄДНАННЯ МАТЕРІАЛІВ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 131 Прикладна механіка, за освітньо-професійною програмою «Технології та устаткування зварювання»

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри технологій
зварювання та будівництва №4 від
13.10.2021 р.

НУ «Чернігівська Політехніка» 2021

Прогресивні технології з'єднання матеріалів. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 131 Прикладна механіка, за освітньо-професійною програмою «Технології та устаткування зварювання» /Укл.: Болотов Г.П., Болотов М.Г., Олексієнко С.В. – Чернігів: НУ (Чернігівська політехніка), 2021. – 28с.

Укладачі: Болотов Геннадій Павлович, доктор технічних наук, професор;
Болотов Максим Геннадійович, кандидат технічних наук, доцент;
Олексієнко Сергій Владиславович, кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за випуск: Прибителько Ірина Олександрівна, завідувач кафедри технологій зварювання та будівництва, кандидат технічних наук, доцент Національного університету «Чернігівська політехніка»

Рецензент: Ющенко Світлана Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва Національного університету «Чернігівська політехніка»

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Лабораторна робота №1 - Дослідження способу нагріву тліючим розрядом ізпорожнистим катодом.....	5
2. Лабораторна робота №2 - Дослідження процесу отримання зварних з'єднань труб зварюванням дугою, що обертається у магнітному полі..	8
3. Лабораторна робота № 3 - Дослідження процесу отримання зварних з'єднань різнорідних металів при дифузійному зварюванні в рідких середовищах.....	14
4. Лабораторна робота № 4 - Технологія контактного паяння.....	19
5. Лабораторна робота № 4 - Технологія ультразвукового паяння.....	23
Рекомендована література.....	29

ВСТУП

Зварювання та паяння є провідними спорідненими технологічними процесами, що здобули широкого поширення в різних галузях виробництва. Ефективність машин, енергетичних установок, багатьох інших виробів значною мірою визначають конструкційні матеріали, що постійно вдосконалюються та створюються їх нові марки і класи. У судно- та машинобудуванні розширюється застосування високоміцних та високолегованих сталей, сплавів алюмінію, титану, міді тощо як в однорідних, так і в різнорідних сполученнях. Успішне використання цих матеріалів забезпечується розвитком цих процесів.

Підвищення ефективності отримання нероз'ємних з'єднань різнорідних матеріалів може бути досягнуте як за рахунок удосконалення існуючих способів зварювання та паяння, так і застосування нових, більш прогресивних методів та технологій.

Так, наприклад, створені для зварювання певних матеріалів або конструкцій, ці новітні способи виявилися більш ефективними, ніж традиційні електродугові та електроконтактні, також при виготовленні деталей, вузлів і конструкцій, що звичайно вироблялися за допомогою традиційних способів. Разом із тим новітні технології отримання з'єднань змінили уявлення про здатність металів до зварювання та паяння: багато з них перейшли з розряду металів, що погано зварюються, у розряд металів із доброю або задовільною зварюваністю.

Таким чином, даний курс лабораторних робіт охоплює всі основні теми навчальної та робочої програм з дисципліни “ Прогресивні технології з'єднання матеріалів”. При її складанні дотримані всі методичні рекомендації для складання подібних вказівок для студентів вищих навчальних закладів.

Лабораторна робота №1

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ НАГРІВУ ТЛІЮЧИМ РОЗРЯДОМ ІЗ ПОРОЖНИСТИМ КАТОДОМ

Мета роботи - ознайомлення з технічними та технологічними особливостями способу нагріву у тліючому розряді з ефектом порожнистого катоду

1.1 Короткі теоретичні відомості

Розряд із порожнистим катодом є одним із різновидів тліючого розряду.

Його можна отримати, застосовуючи систему з двох плоских катодів, розташованих один навпроти іншого на деякій відстані (рис. 1.1а). Анод при цьому може мати різну форму (дріт, кільце, циліндр) і розташовуватись на деякій відстані від катодів.

Процеси, що розвиваються між катодами, в значній мірі залежать від відстані між ними. Коли ця відстань достатньо значна, біля кожного з катодів спостерігається шар негативного тліючого світіння, тобто існують два окремих тліючих розряди із спільним анодом.

При зменшенні відстані між плоскими катодами шари тліючих свічень частково, або повністю перекривають один одного, зливаючись у спільний шар, заштрихований на рис. 1.1б. При цьому спостерігається значне підвищення струму розряду при постійній напрузі на його електродах. Це явище отримало назву ефекту порожнистого катоду. Замість двох плоских катодів можна застосовувати порожнистий циліндричний катод. В цьому випадку зазначеного ефекту досягають зміною тиску в камері до тих пір, поки не здійсниться злиття тліючих свічень всередині циліндру із одночасним підвищенням інтенсивності їх світіння. Зростання інтенсивності свічення на ділянках злиття тліючих свічень пов'язане із підвищенням іонізації на цих ділянках і, відповідно, підсиленням потоку іонів, що бомбардують катод і викликають інтенсивну емісію електронів з його внутрішньої поверхні, що і призводить до зростання струму у розряді. Емітовані електрони вилітають з катоду по нормалі до його поверхні і прискорюються в електричному полі в області катодного падіння потенціалу (рис. 1.2).

Якщо між плоскими катодами або по осі циліндричного катоду розташувати деталь, то емітовані та прискорені електрони, бомбардуючи поверхню деталі віддають їй частину своєї енергії, що призводить до нагрівання деталі.

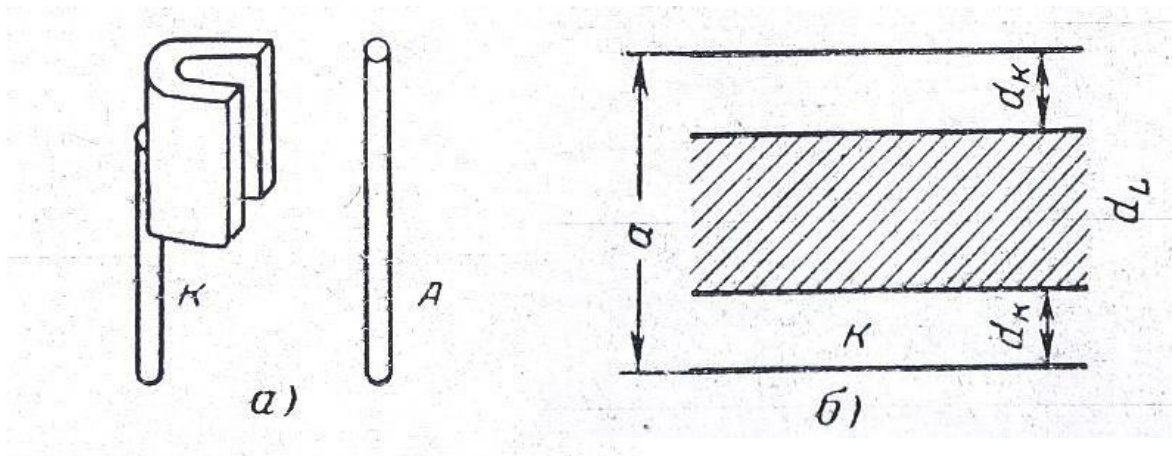


Рис.1.1. Схематичне зображення порожнистого катоду (а) та шар тліючого свічення при двох плоских катодах (б)

Деталі необхідно розміщувати в області негативного тліючого свічення, у якій мається значна кількість позитивних іонів газу. В цьому випадку не виникає проблем із зарядом деталі потоком бомбардуючих її поверхню електронів, що переносять негативний заряд. Це дозволяє здійснювати нагрів як металевих, так і неметалевих виробів.

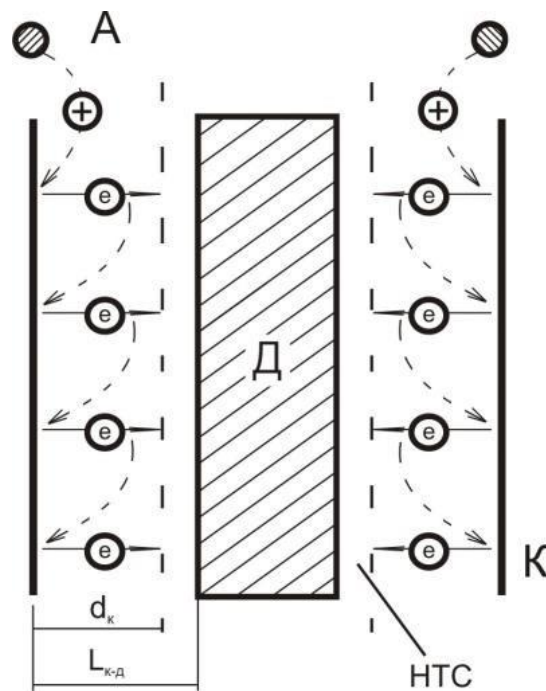


Рис. 1.2. Схема нагріву в тліючому розряді з порожнистим катодом: А–анод; К–катод; Д–деталь; + – позитивні іони робочого газу; e – емітовані з поверхні катоду електрони; НТС – область негативного тліючого свічення; d_к – область катодного падіння потенціалу

1.2. Порядок виконання роботи

1. Встановити у робочій камері порожнистий катод і оброблювану деталь.
2. Відкачати повітря з робочої камери до тиску менше 13,3 Па.
3. Ввімкнути джерело живлення і поступово підвищуючи напругу на його виході запалити тліючий розряд.
4. Підвищити тиск газу в камері до 30...50 Па і встановити зміною напруги джерела заданий струм розряду.
5. Здійснити нагрів деталі, контролюючи її температуру через кожні 30...60 с.
6. Побудувати графік температур за експериментальними даними.

1.3. Зміст звіту

1. Назва та мета роботи.
2. Теоретичні відомості.
3. Результати вимірювань.
4. Висновки.

1.4. Контрольні питання

1. Умови існування тліючого розряду з порожнистим катодом.
2. Структура розряду з порожнистим катодом.
3. Механізм нагріву тліючим розрядом з порожнистим катодом.
4. Де необхідно розміщувати деталі, що нагріваються.

Лабораторна робота №2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБ ЗВАРЮВАННЯМ ДУГОЮ, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ

Мета роботи - ознайомитися з технікою та технологією зварювання магнітокерованою дугою.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Метод, що також називають «зварювання дугою у магнітному полі» (ЗДМП), дугоконтактне або дугопресове зварювання отримав широкого застосування для з'єднання сталевих труб та труб із деталями циліндричної форми.

Зварювання здійснюється шляхом нагрівання торців труб до оплавлення теплотою, що виділяється при горінні електричної дуги, що рухається у зазорі між торцями труб (рис. 2.1) під дією сил магнітного поля, створеного електромагнітами, що встановлюються поблизу зварюваних торців. Після розігрівання здійснюється осаджування, тобто стискання деталей із значними питомими зусиллями. Зварне з'єднання утворюється в результаті пластичного деформування нагрітого до високих температур металу, тобто механізм утворення з'єднання такий же, як і при стиковому контактному зварюванні оплавленням

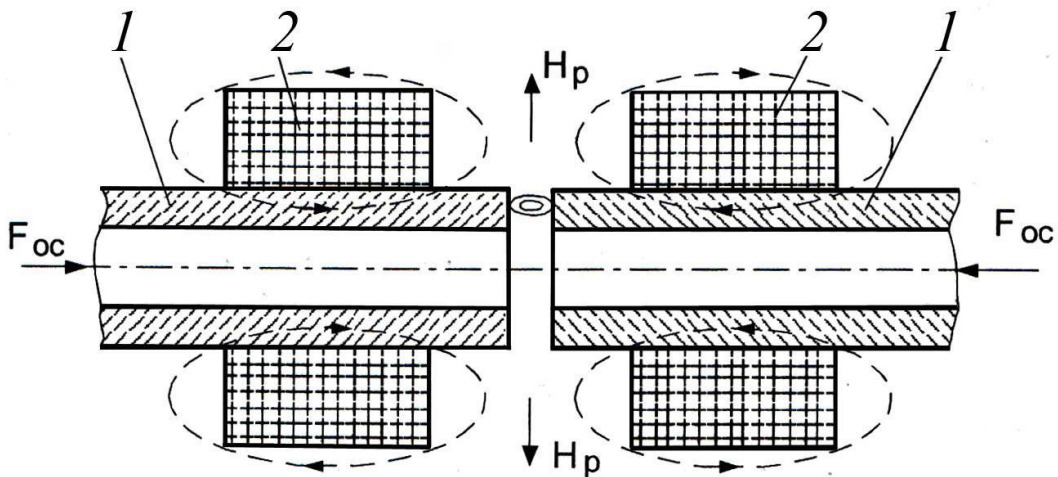


Рис. 2.1. Схема дугоконтактного зварювання: 1 – зварювані деталі; 2 – котушки електромагнітів; $F_{ос}$ – зусилля осадження.

Рух електричної дуги у зазорі між торцями труб виникає внаслідок наступних причин. При протіканні струму через обмотки електромагнітів, розташованих біля торців труб, у зазорі між торцями створюється магнітний

потік (рис. 2.2), силові лінії якого спрямовані радіально (напрямок індукції магнітного поля B_p). В результаті взаємодії струму дуги та радіальної складової магнітного потоку виникає дотичне зусилля, напрямком якого визначається за правилом лівої руки, яке і викликає рух дуги вздовж периметру торців труб. Дуга, рухаючись по торцях труб, багатократно проходить по одних і тих же ділянках, поступово розігрівуючи і оплавляючи їх.

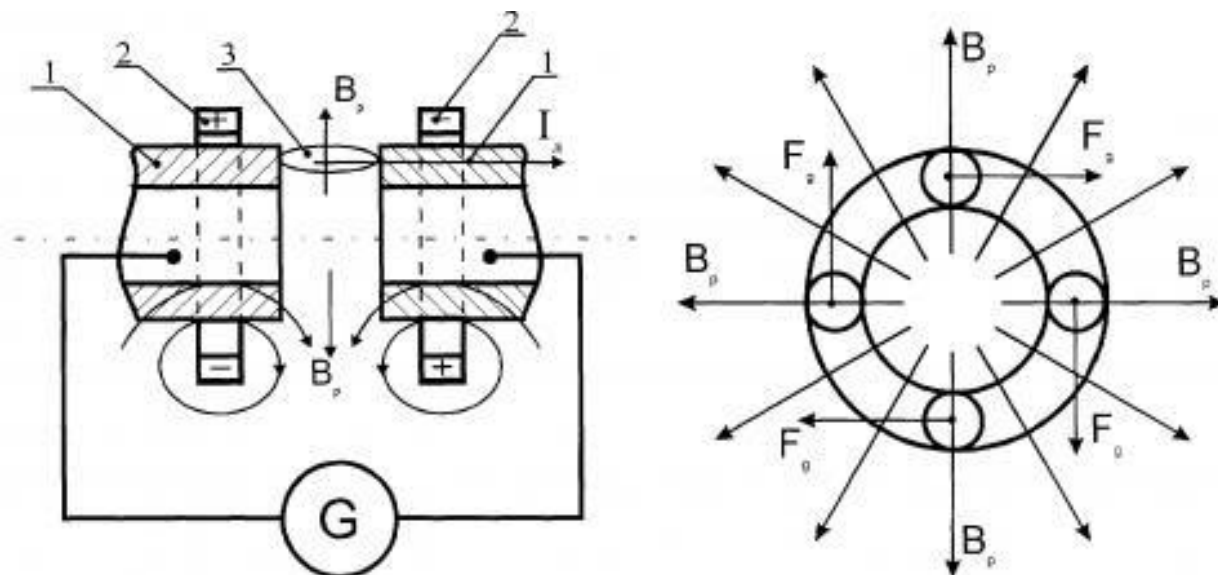


Рис. 2.2. Схема руху дуги в магнітному полі: 1 – зварювані деталі; 2 – електромагніти; B_p – напрямком вектору магнітної індукції; F_0 – вектор швидкості дуги

На даний час застосовують дві принципові схеми ЗДМП (рис.2.3) на постійному струмі дуги, за однією з яких зварювання здійснюється із прикладанням зусилля стискання зварюваних елементів, а за другою зварювання відбувається при вільному деформуванні шва. Перша схема характеризується тим, що дуга горить між кромками зварюваних деталей замкненої трубчастої форми (рис. 2.3,а), а за другою схемою дуга горить між деталями, що зварюються та допоміжним електродом, який також має замкнену форму (рис. 3,б). В останньому випадку зазор між деталями може бути відсутнім, а зварний шов буде утворюватися без стискання деталей за рахунок перемішування розплавленого металу кромки.

За першою схемою взаємодія аксіального струму дуги I_d із радіальною складовою B_p магнітного поля напруженістю H_p створює зусилля P_1 , що переміщує дугу:

$$P_1 = K_1 I_d H_p, \quad (2.1)$$

де K_1 – коефіцієнт, що залежить від багатьох факторів, зокрема від величини зазору між трубами.

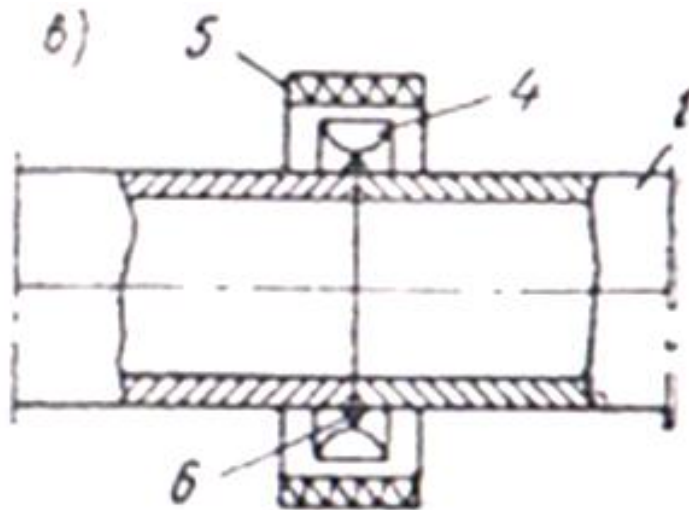


Рис. 2.3. Схема ЗДМП із кільцевим електродом: 1 – зварювані деталі; 4 – допоміжний кільцевий електрод; 5 – котушки електромагнітів; 6 – дуга

За другою схемою зварювані труби, мідне кільце, що охолоджується водою (допоміжний електрод), та котушка електромагніта розташовуються співвісно. Дуга збуджується між внутрішньою поверхнею допоміжного електрода та кромками труб. Можливий варіант, коли допоміжний електрод знаходиться всередині труби. Магнітне поле у зазорі між трубами і кільцем спрямовано аксіально. Зусилля, що викликає переміщення дуги, створюється внаслідок взаємодії радіального струму дуги I_d із аксіальною складовою магнітного поля напруженістю H_p :

$$P_2 = K_2 I_d H_p, \quad (2.2)$$

де K_2 – коефіцієнт, що залежить від величини зазору між трубами, а також, між трубами та допоміжним електродом.

Дуга, що переміщується, рівномірно розігріває кромки труб до необхідної температури, після чого здійснюється осаджування. При зварюванні тонкостінних труб ($\delta < 1,5$ мм) кромки розігріваються без зазору, що дозволяє отримувати зварне з'єднання без осаджування.

Максимальний діаметр труб, що можна успішно зварювати ЗДМП без допоміжного електрода обмежується 200 мм при товщині стінки до 5 мм.

Основні труднощі при зварюванні товстостінних труб пов'язані із нерівномірним розподілом температури по товщині труби в процесі нагріву. Це призводить до нестабільності процесу зварювання і погіршенню якості з'єднання.

При ЗДМП метал нагрівається електричною дугою, яка під дією зовнішнього магнітного поля переміщується із значною швидкістю (до 150...200 м/с) по кромках зварюваних деталей і забезпечує при цьому їх рівномірне нагрівання до температури плавлення. Збільшення діаметра труб

обмежується, в першу чергу, швидкістю переміщення дуги. Із ростом діаметра труб при одній і тій же швидкості збільшується час повного обертання дуги, в ході якого за рахунок тепловідводу і випромінювання здійснюється охолодження кромки.

Величину зазору між трубами слід обирати в залежності від товщини зварюваних труб, складу основного металу, струму запалювання дуги. Із підвищенням струму запалювання величину зазору можна збільшувати.

На якість з'єднання значний вплив чинять величина струму дуги і тривалість її горіння. Це пов'язано з тим, що для отримання якісного з'єднання крім рівномірного оплавлення необхідний нагрів деталей на глибину, достатню для того, щоб при осаджуванні за рахунок пластичної деформації зім'яти нерівності, що виникають в процесі оплавлення. Короткочасний нагрів при значному значенні струму дуги (жорсткий режим) не забезпечує такої глибини нагріву і при стисканні деформуються тільки поверхневі шари металу. Нерівномірності на торцях зім'яти не вдається. У поглибленнях залишається частково окислений розплавлений метал, який сприяє крихкості металу і зниженню його пластичності. Відповідно, жорсткий режим придатний для зварювання тонкостінних труб.

При горінні дуги більше 5 с і відповідному зниженні струму дуги (м'який режим) пластичність з'єднання поліпшується, нерівномірності на поверхнях кромки при осаджуванні зминаються. Однак тривале горіння дуги призводить до насичення рідкого металу киснем і до стікання рідкого металу, що погіршує стійкість дуги.

Застосування модуляції зварювального струму по амплітуді (імпульсно-дугове зварювання) дозволяє значно збільшити швидкість обертання дуги з інтенсивним оплавленням торців і тим самим забезпечити підвищення якості з'єднань при швидкому осаджуванні.

Питомий тиск осаджування при зварюванні труб коливається в межах 50...80 Н/м², а швидкість осаджування досягає 630 мм/с, що також запобігає окисненню металу.

Застосування газу для захисту рідкого металу від окиснення доцільно у тих випадках, коли інші заходи, наприклад, інтенсифікація осаджування, недостатні.

У якості захисного газу застосовують CO₂, аргон та суміші, наприклад, CO₂ + H₂. Захисний газ не тільки запобігає окисненню зварюваних деталей, а й впливає на стійкість дуги, утворення газових пор, на величину зусилля осаджування.

При ЗДМП деталей з нелегованих сталей у якості захисного газу застосовують активний газ CO₂. Аргон у якості захисного газу застосовують при зварюванні міді, алюмінію, високолегованих сталей. Захисний газ подається у зону зварювання через зварювані деталі, наприклад, труби.

Обладнання для ЗДМП (рис. 2.4) має багато спільного із машинами для контактної стикового зварювання. Основними елементами установок для ЗДМП є: станина, рухома плита, привід для затискання деталей з метою

утримування їх від проковзування при осаджуванні і підведення зварювального струму, приводу осаджування деталей.

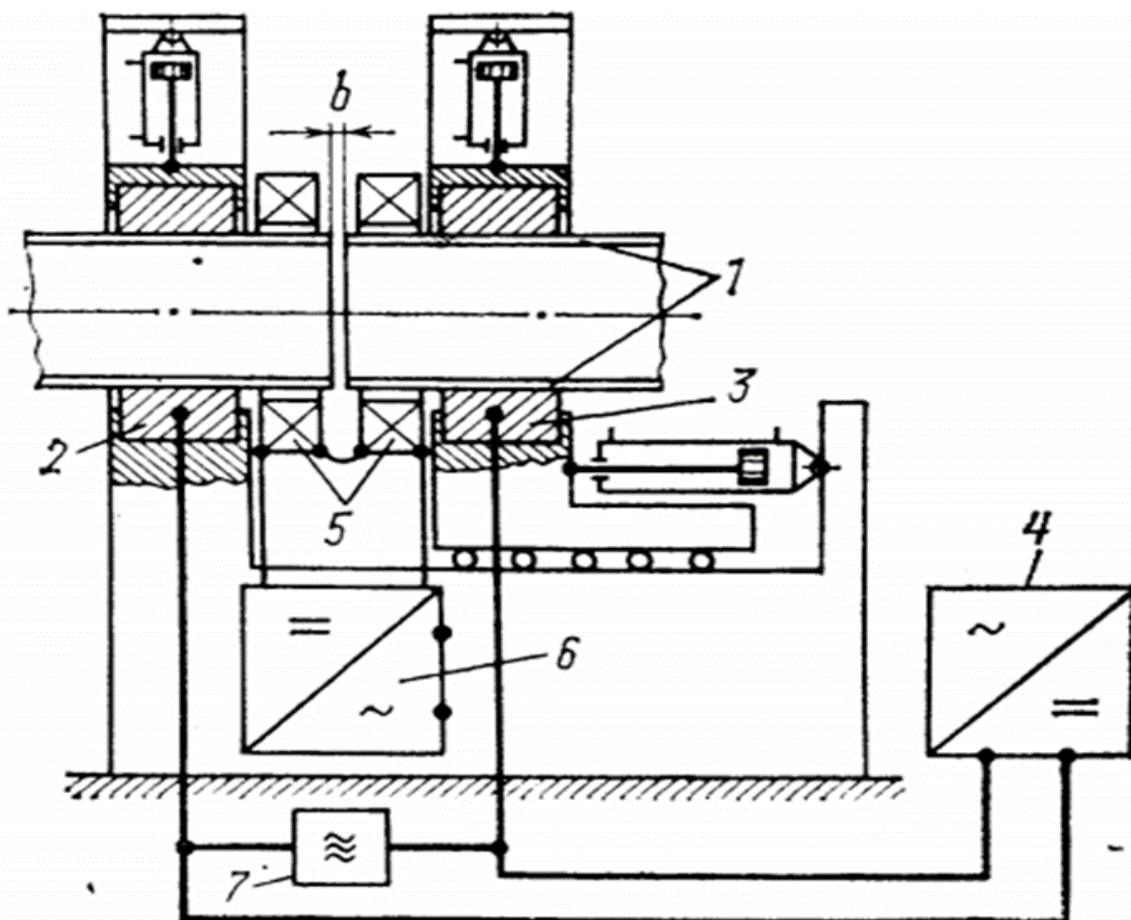


Рис. 2.4. Схема установки ЗДМП: 1– зварювані труби 2, 3– затискні пристрої (струмопідводи); 4– джерело живлення дуги; 5– електромагніти; 6– джерело живлення електромагнітів; 7– джерело запалювання дуги

В установках ЗДМП для збудження дуги може використовуватись короткочасне замикання дугового проміжку. Попередньо деталі встановлюють із заданим зазором, а далі приводять їх до касання і знов розводять на величину встановленого зазору. Найбільш простим є спосіб збудження дуги за допомогою плавкої перемички. Однак він вимагає значних витрат допоміжного часу при зварюванні.

Спосіб ЗДМП дозволяє отримувати задовільні з'єднання не тільки низьковуглецевих, низьколегованих та аустенітних сталей, а й високолегованих сталей та сплавів із значним вмістом хрому та нікелю, а також міді та алюмінію.

2.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки.
2. Ознайомитись з будовою та роботою обладнання.
3. Вивчити методика роботи, отримати конкретне завдання, розробити план досліджень.
4. Підготувати зразки до зварювання: провести механічну обробку поверхні зразків, що підлягають зварюванню.
5. Встановити зразки в затискні пристрої установки для зварювання.
6. Обрати параметри режиму зварювання і провести стикове зварювання труб.
7. Провести механічні випробування зварних з'єднань на розтяг.
8. Провести аналіз отриманих результатів та зробити висновки.

2.3. Зміст звіту

1. Назва та мета роботи.
2. Теоретичні відомості.
3. Результати вимірювань.
4. Висновки.

2.4. Контрольні питання

1. Особливості існування електричної дуги в магнітному полі.
2. Основні схеми магнітокерovanого зварювання.
3. Основні параметри режиму зварювання та їх значення.
4. Характеристика зварюваних установок.
5. Способи підвищення продуктивності магнітокерovanого зварювання.
6. Захист зони зварювання від окислення.

Лабораторна робота №3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ РІЗНОРІДНИХ МЕТАЛІВ ПРИ ДИФУЗІЙНОМУ ЗВАРЮВАННІ В РІДКИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Мета роботи – ознайомитися з технікою та технологією дифузійного зварювання в соляних розчинах.

3.1. Короткі теоретичні відомості

Дифузійне зварювання в рідких середовищах (рис. 3.1) - різновид зварювання тиском. Навколишнє рідке середовище може бути хімічно активним чи нейтральним по відношенню до матеріалів, що з'єднуються, мати різну температуру плавлення та випаровування. Залежно від цих властивостей рідке середовище при зварюванні може служити джерелом нагрівання деталей, що зварюються, перешкоджати проникненню повітря в зону з'єднання, взаємодіяти з поверхнями, що з'єднуються і змінювати їх хімічний склад, а отже, і фізико-механічні властивості. Тому технологічні схеми здійснення дифузійного зварювання в рідких середовищах можуть бути різними.

Найбільш дослідженою схемою є наступна. Деталі, що зварюються після відповідної механічної обробки контактуючих поверхонь (чистове точіння, фрезерування або шліфування) щільно притискають одну до одної і занурюють у ванну з рідким середовищем, нагрітої до температури зварювання. Після певної витримки, необхідної для отримання бажаної міцності, деталі витягують з ванни і охолоджують на повітрі.

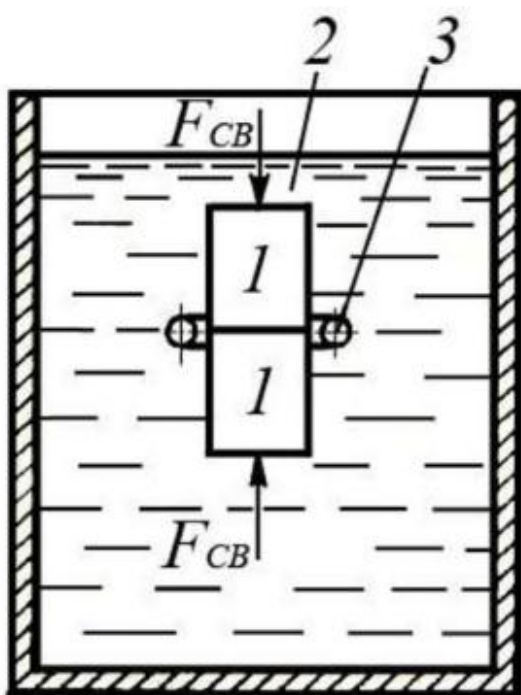


Рис. 3.1. Схема дифузійного зварювання в рідкому середовищі: 1- деталі, що зварюються; 2 – рідке середовище; 3 - індуктор

В якості рідкого середовища, що нагріває деталі, що з'єднуються може використовуватися розплавлені солі, оксиди, луги, а також розплави металів і сплавів температура плавлення яких нижча, а температура випаровування вище температури зварювання.

Перспективним є і такий варіант технологічного процесу, в якому рідке середовище, попередньо нагріте до температури зварювання, одночасно служить для насичення поверхонь, що з'єднуються вуглецем, азотом, бором або одночасно вуглецем і азотом.

Дифузійне зварювання в розплавлених солях можна поєднувати з нанесенням на деталі, що з'єднуються різних металів. Наприклад, при поєднанні зварювання з алітуванням процес ведеться в ванні з розплавом галогенів, над яким знаходиться шар розплавленого алюмінію. Після вилучення зварених деталей з ванни через шар розплавленого алюмінію на їх поверхні утворюється тонке покриття; суміш розплавлених солей є джерелом нагрівання і одночасно флюсом, що сприяє утворенню тронного алюмінієвого покриття.

Таким чином, дифузійне зварювання в рідких середовищах можна поєднати з хіміко-термічною обробкою з метою зміцнення поверхні деталей, що з'єднуються і покращення експлуатаційних властивостей зварного виробу.

Навоколишнє рідке середовище не обов'язково повинно виконувати роль джерела нагріву. Випробувана технологічна схема процесу дифузійного зварювання (рис. 3.1), коли деталі, що з'єднуються нагріваються струмом, що проходить або струмами високої частоти, як при стиковому зварюванні тиском. В цьому випадку доцільне застосування рідких середовищ, температура випаровування яких нижча за температуру зварювання. Здійснення дифузійного зварювання в воді забезпечує більш високу якість зварного з'єднання, ніж при дифузійному зварюванні на повітрі або в розплаві солей.

Певний інтерес представляє можливість дифузійного зварювання в рідких органічних середовищах: гасі, бензині, ацетоні або в їх суміші з водою, а також в суміші спиртів (метилового спирту) і водного розчину аміаку.

При дифузійному зварюванні в рідких органічних середовищах можна поєднати операцію зварювання з цементацією і ціануванням, так як виникає, своєрідна, парова сорочка.

Використання рідких середовищ для нагріву різних деталей під пресове зварювання було відомо й раніше. Зокрема, відомий спосіб електролітного зварювання, в якому нагрів деталей, які є катодами, здійснюється постійним струмом напругою 200 - 300 В в електроліті (водних розчинах солей).

Тейлор запропонував проводити пресове зварювання в інертній рідині (розплавлених солях): деталі з зазором між поверхнями, що з'єднуються занурюють в розплав, нагрітий до температури зварювання. Струменем розплаву з поверхонь, що з'єднуються видаляються окисні плівки. Після чого здійснюють зварювання.

Перераховані способи нагріву і очищення поверхонь, що з'єднуються можна використовувати і при дифузійному зварюванні.

До рідких середовищах висувають наступні вимоги: висока рідкотекучість, добра теплопровідність, мала летучість, стійкість при нагріванні і проходженні електричного струму, інертність по відношенню до матеріалу, що нагрівається, не токсичність. Крім того, в стані ці середовища повинні мати малу гігроскопічність і не розкладатися при тривалому зберіганні на відкритому повітрі.

Склад рідких середовищ, використовуваних для нагрівання деталей, дуже різноманітний: різні солі, оксиди металів та лугів. В якості добавок використовують феросплави, вугілля, графіт, карбіди кременю та ін.

Широке розповсюдження для нагріву виробів отримали хлористі солі барію, натрію і калію, що найбільшою мірою задовольняють зазначеним вимогам. Також використовують стійкі фтористі солі кальцію, барію, натрію (найчастіше у вигляді добавок до хлористих солей з метою підвищення рідкотекучості).

Для кращого очищення поверхонь зменшення температури плавлення і корозійного впливу розплаву з хлористих солей на матеріали використовують вуглекислі солі натрію і калію, котрі також вводять у вигляді добавок.

Для нагріву кольорових металів і сплавів в розплавах зазвичай використовують азотно-натрієві і азотно-калієві солі або їх суміші, а також хлористі і фтористі солі. Порівняно низька температура плавлення калієвої і натрієвої селітр і висока рідкотекучість дозволяє використовувати їх для нагріву алюмінієвих сплавів під загартування, відпал та відпуск.

Нікель і його сплави нагрівають зазвичай в суміші хлористих і фтористих солей.

Розплави солей і окислів застосовують для нагріву до 150 – 1350 °С, склад солі вибирають для кожного окремого випадку в залежності від необхідної температури процесу. Зазвичай застосовують суміші солей і лугів евтектичного складу.

Деякі склади розплавів, котрі можуть бути використані при дифузійному зварюванні кольорових і чорних металів наведено в табл. 3.1.

Нагрівання в рідких середовищах має ряд переваг, що визначили широке застосування ванн з рідким теплоносієм в промисловості: негайна і повна ізоляція виробів, що нагріваються від контакту з відкритим середовищем; більш швидке нагрівання виробів переважно тепловіддачею а не радіацією або конвекцією; завдяки більш високому значенню коефіцієнта тепловіддачі від рідини до металу швидкість нагріву деталей в 5-8 разів вище, ніж в електричних, муфельних та полумєневих печах; рівномірність нагріву виробів складної форми; відсутність термічних ударів (розплав застигає на холодному металі в момент занурення, ізолює його до тих пір, поки температура металу не перевищить температуру плавлення розплаву).

Таблиця 3.1.

Розплави для нагріву деталей в рідких середовищах

Склад розплаву	$T_{пл}$ °C	Температурний інтервал застосування розплаву (t_1-t_2) , °C	Застосування
100 % $BaCl_2$	962	1020...1320	Розкислювач: 2...3 % $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$; 0,5 % FeSi; 5 % MgF_2
90 % $BaCl_2$ + 10 % NaCl	–	950...1300	Розкислювач: <0,5 % Si; <1 % SiO_2
100 % B_2O_3	577	1200...1400	–
100 % NaCl	800	850...920	Розкислювач: 0,5 % C (древесный уголь), $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, FeSi; $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$
100 % KCl	776	820...920	
78 % $BaCl_2$ + 22 % NaCl	–	700...950	Розкислювач: 0,5 % SiC; $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
80 % $BaCl_2$ + 20 % KCl	640	680...1060	
70 % $BaCl_2$ + 30 % KCl	–	680...900	
53 % $BaCl_2$ – 20 % NaCl + 27 % KCl	550	600...900	
80 % Na_2CO_3 + 10 % NaCl + 10 % SiC	–	870...900	
56 % KCl + 44 % NaCl	660	700...815	Для нагрівання нікелю і його сплавів
83 % $BaCl_2$ + 17 % BaF_2	844	900...1000	
100 % KN_3	338	350...600	Для нагріву алюмінію і його сплавів
100 % NaN_3	317	330...600	
100 % NaOH	318	350...580	

3.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки.
2. Ознайомитись з будовою та роботою обладнання.
3. Вивчити методику роботи, отримати завдання, розробити план досліджень.
4. Підготувати зразки до зварювання: провести механічну обробку поверхні зразків, що підлягають зварюванню.
5. Зібрати зразки, притиснувши їх один до одного струбциною.
6. Визначити параметри режиму зварювання.
7. Розігріти піч разом із контейнером з реактивом необхідного складу до визначеної за п.6 температури.
8. Провести зварювання зразків.
9. Дослідити міцність отриманих з'єднань.

3.3 Зміст звіту

1. Назва та мета роботи.
2. Теоретичні відомості.
3. Результати вимірювань.
4. Висновки.

3.4 Контрольні питання

1. Сутність дифузійного зварювання в розплавлених солях.
2. Середовища для дифузійного зварювання в розплавлених солях.
3. Сутність поверхневої обробки в розплавлених солях.
4. Вимоги, що висуваються до рідких середовищ.
5. Переваги зварювання в рідких середовищах.

Лабораторна робота №4

ТЕХНОЛОГІЯ КОНТАКТНОГО ПАЯННЯ

Мета роботи – вивчити техніку та технологію контактного паяння

4.1. Короткі теоретичні відомості

Контактне паяння здійснюється нагріванням деталей у місці їхнього з'єднання до плавлення припою за рахунок тепла, яке виділяється при проходженні електричного струму через деталі, що паяються.

Процес контактного паяння аналогічний контактному зварюванню й супроводжується дією зусиль, стискаючих деталі, що паяються, у місцях їх з'єднання.

На практиці зустрічаються два способи контактного паяння:

1) електричний струм проходить через одну з деталей, минаючи ділянку, що паяється, а паяння здійснюється за рахунок тепла, яке передається до місця спаю від нагрітої деталі (рисунок 4.1, б).

2) електроди притискають деталі одну до одної і ділянка, що паяється, нагрівається безпосередньо струмом, який проходить від однієї деталі до іншої через поверхні їхнього контакту (рисунок 4.1, а);

Перший спосіб прийнято називати контактним паянням з непрямим нагрівом, другий – з безпосереднім (прямим) нагрівом.

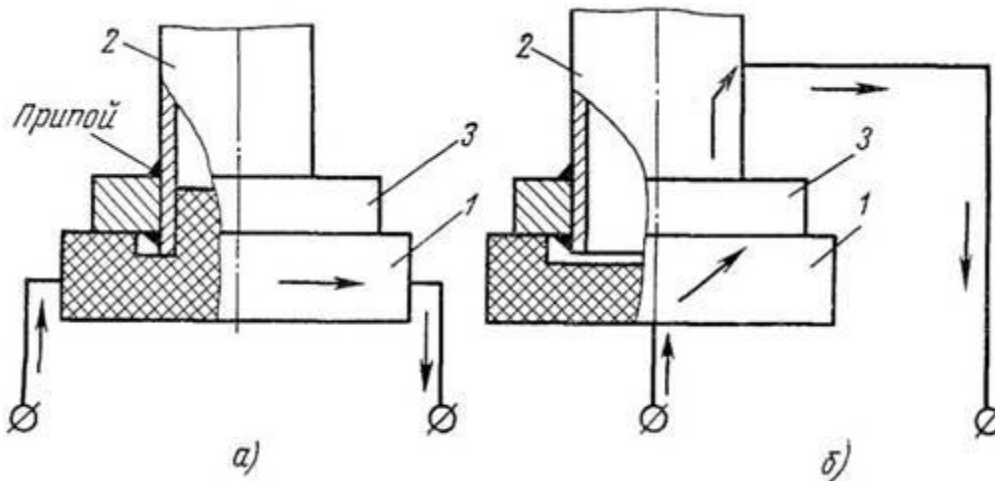


Рис. 4.1. Схеми контактної паяння металів: а) з непрямим нагрівом; б) з прямим нагрівом: 1- електрод; 2, 3 – деталі, що паяються

При складанні деталей під контактне паяння прихвачування їх електричною дугою, газовим полум'ям і т.д. не рекомендується, тому що при цьому відбувається окислення контактних поверхонь, внаслідок чого паяння може не відбутися. Фіксація деталей здійснюється шляхом притиснення їх електродами або в спеціальному пристосуванні.

Контактне паяння міді при безпосередньому нагріванні ділянок, що з'єднуються, виконується мідно-фосфористими припоями без застосування флюсу. Паяння сталей, твердих сплавів і інших матеріалів можна здійснити за рахунок тепла, переданого від однієї з деталей, що паяється, через яку проходить електричний струм. У цьому випадку для паяння залежно від основного матеріалу можуть бути використані відповідні припої й флюси.

Припой при контактному паянні закладають між деталями, що паяються. Флюс засипають на поверхню, що паяється, при складанні. Соляні флюси, що використовуються при паянні тугоплавкими припоями, в твердому вигляді є діелектриками. Тому при контактному паянні флюс наносять у вигляді водного чи спиртового розчину, пропускаючого струм. Розчин флюсу необхідно наносити безпосередньо перед паянням, щоб розчинник не встиг випаруватись до початку проходження струму.

Вибір струму, тривалості нагрівання при контактному паянні здійснюють залежно від матеріалу виробу, що паяється.

Кількість тепла, необхідного для здійснення паяння, залежить від температури плавлення припою й визначається за формулою:

$$Q = 0,24RI^2t \quad (4.1)$$

де R – електричний опір; I – струм; t – час нагрівання виробу, що паяється.

Опір R при паянні залежить від матеріалу й розмірів виробу, його розташування відносно електродів, марки припою, а також матеріалу електродів, але все-таки є величиною порівняно невеликою.

Час проходження струму t через деталь повинен бути невеликим (2–3 с). При нетривалому нагріванні менше втрати тепла в навколишнє середовище й вище продуктивність паяння.

Нетривале нагрівання мало впливає на структурні зміни матеріалу деталі. Звідси випливає, що головним фактором, який забезпечує одержання необхідної кількості тепла, є струм. Величина струму при контактному паянні виражається тисячами амперів (але вона при паянні значно менше, ніж при зварюванні, що пояснюється відносно низькою температурою паяння). Звичайно вона становить 1000–3000 А.

Необхідний струм при паянні встановлюється зміною числа витків первинної обмотки трансформатора. Зміна числа витків первинної обмотки трансформатора призводить також до зміни напруги на затискачах електродів (у робочому ланцюзі).

Перед паянням виріб встановлюється на нижній електрод і притискається верхнім електродом за допомогою педалі, пневматичного циліндра або іншого пристосування, передбаченого конструкцією машини. Торкання електродів у більшості контактних машин призводить до замикання вторинного ланцюга й появи в ньому електричного струму. У деяких випадках після затиснення виробу електродом струм може бути включений за допомогою кнопки.

При включенні електричного ланцюга залежно від способу паяння струм може проходити або через поверхні торкання виробів, що паяються, (поверхні контакту) від одного електрода до іншого, або через одну з деталей, міняючи ділянку, що паяється. В останньому випадку, як відзначалося вище, деталі, що паяються, притискаються одна до одної за допомогою спеціального пристосування. Тиск електродів при паянні з безпосереднім нагрівом становить від 5 до 50 кг/см². При паянні іншим способом тиск електродів повинен бути достатнім, щоб одержати їхній гарний контакт з матеріалом виробу (близько 2 кг/см²).

Припой для контактної паяння в залежності від металів, що з'єднуються, можна підібрати, використовуючи рекомендації таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Рекомендації по вибору припою для контактної паяння

Основний метал	Припої						
	на олов'яній та свинцевій основах	мідь	мідно-цинкові	мідно-фосфористі	на основі срібла	нікелеві	алюмінієві та магнієві
Мідь	Р	Н	Р	Р	Р	Н	Н
Сплави на основі міді	Р	Н	Д	Р	Р	Н	Н
Вуглецеві та низьколеговані сталі	Р	Р	Р	Д	Р	Н	Н
Нержавіючі та жароміцні сталі	Н	Н	Д	Н	Д	Д	Н
Інструментальні та тверді сплави	Н	Н	Р	Н	Н	Д	Н
Сірий та ковкий чавуни	Н	Н	Н	Н	Д	Н	Н
Нікель та його сплави	Н	Н	Н	Н	Д	Д	Н
Срібло та його сплави	Д	Н	Р	Д	Р	Н	Н

П о з н а ч е н н я : Р – рекомендується; Н – не рекомендується; Д – допускається

Контактне паяння використовують для паяння твердосплавного інструмента, годинникових пружин, стрічкових пилок та при виготовленні вузлів електродвигунів.

4.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки.
2. Ознайомитись з будовою та роботою обладнання.
3. Вивчити методику роботи, отримати конкретне завдання, розробити план досліджень.
4. Підготувати зразки до паяння: провести механічну обробку поверхні зразків, що підлягають паянню; протерти (3-4 рази) серветкою, змоченою ацетоном; просушити на повітрі при кімнатній температурі.

5. Встановити зразки, зібрані в напустку з попередньо внесеними припоєм та флюсом, між електродами машини для контактного зварювання та провести паяння на режимах відповідно до розробленого плану досліджень.

6. Після паяння зразків розрізати їх навпіл перпендикулярно до поверхні шва, виготовити макрошліфи та дослідити їх на наявність дефектів паяння.

7. Провести механічні випробування паяних з'єднань на розтяг.

8. Провести аналіз отриманих результатів та зробити висновки.

4.3 Зміст звіту

1. Назва роботи і її мета.
2. Необхідні теоретичні дані.
3. Обладнання та матеріали.
4. Порядок виконання роботи.
5. Експериментальні результати.
6. Аналіз результатів і висновки по роботі.

4.4 Питання для самоконтролю

1. Сутність процесу контактної паяння.
2. Особливості паяння конструкційних матеріалів.
3. Склад обладнання для контактної паяння.
4. Переваги та недоліки контактної паяння.

Лабораторна робота №5

ТЕХНОЛОГІЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПАЯННЯ

Мета роботи – вивчити техніку та технологію ультразвукового паяння металів

5.1 Короткі теоретичні відомості

Ультразвук і його одержання. Механічні коливання в газах, рідинах і твердих тілах із частотами більше 20 000 Гц називаються ультразвуковими. На відміну від чутних звуків ультразвукові коливання можуть мати більшу інтенсивність, що доходить до сотень Вт/см^2 . Особливістю ультразвукових коливань є також досить високий звуковий тиск, тобто вплив звукової хвилі на середовище, коли відбувається стиснення або розрідження хвилі.

Для чутних звуків цей тиск дуже малий: наприклад, для звуків середньої гучності він становить $0,001 \text{ г/см}^2$. При ультразвукових коливаннях інтенсивністю 3–5 Вт/см^2 у воді звуковий тиск досягає більше 2 атм. При цьому варто мати на увазі, що звуковий тиск має змінний знак, тобто тиск змінюється розрідженням залежно від фази коливання. Цей процес відбувається багато разів у секунду.

Як відомо, при стисненні рідини яких-небудь істотних явищ не відбувається. Разом з тим незначне розтягуюче зусилля викликає в рідині розрив, у результаті чого в ній утвориться велика кількість дрібних бульбашок. Порушення щільності рідини при розрідженні називається кавітацією. Бульбашки, утворені в рідині при кавітації, після короткочасного існування закриваються. Це відбувається тоді, коли тиск у рідині підвищується внаслідок стиснення хвиль.

Незалежно від розмірів і тривалості існування кавітаційних бульбашок при їх закриванні відбувається миттєве місцеве підвищення тиску, що досягає сотень атмосфер. Таке різке підвищення тиску називається гідравлічним ударом. При гідравлічному ударі поверхня твердого тіла, яка перебуває поблизу місць закривання бульбашок, піддається механічному впливу. Кавітація, що виникає при дії ультразвукових хвиль, відрізняється від інших видів кавітації тим, що вона є керованою: її можна створювати в необхідних місцях і в необхідних дозах. Зокрема, кавітація, що викликається ультразвуком, використовується для руйнування окисної плівки при паянні металів.

Для одержання ультразвукових коливань існують різні способи. Прилади, які служать для штучного одержання ультразвуків, називаються ультразвуковими випромінювачами. У техніці звичайно застосовуються випромінювачі двох типів: магніострикційний і електрострикційний (п'єзоелектричний).

Перший тип дає випромінювання із частотами від 5 000 до 150 000 Гц, а другий від 100 000 Гц і вище. Явище магніострикції полягає в тому, що деякі

матеріали можуть змінювати свої розміри під дією магнітного поля. Так, наприклад, довжина нікелевої трубки зменшується, якщо її помістити в сильне магнітне поле. При зміні величини магнітного поля з певною частотою з такою ж частотою змінюються розміри тіла, яке перебуває в цьому полі. Змінюючи магнітне поле із частотою чутних звуків (приблизно від 20 до 16 000 Гц), можна змусити тіло коливатися із частотою чутних звуків і, отже, випромінювати чутні звуки. Якщо ж поле змінюється із частотою більше 20 000 Гц (приблизно), то можна одержати ультразвукові випромінювання.

При електрострикційному способі ультразвукові коливання утворюються внаслідок зміни електричного поля.

Кращими матеріалами для магнітострикційних випромінювачів є нікель, нержавіюча сталь, залізоплатиновий сплав (46 % заліза, 54 % платини), кобальтові сплави й т.д.

Для електрострикційних випромінювачів використовується найчастіше кварц й іноді – фосфат амонію.

Слід зазначити, що кварцові випромінювачі на відміну від магнітострикційних вимагають більших напруг при малих струмах. У потужних електрострикційних випромінювачах напруга досягає тисяч і навіть десятків тисяч вольт. На практиці паяння металів застосовуються переважно магнітострикційні випромінювачі ультразвукових коливань. Магнітострикційний випромінювач складається зі стержнів (суцільних або порожніх) з обмоткою, по якій проходить електричний струм необхідної частоти. Часто для зменшення втрат тіло стержня набирається з окремих пластин, ізольованих одна від одної (аналогічно звичайним трансформаторам). При включенні високочастотного генератора в обмотці магнітостриктора виникає змінне магнітне поле, що й приводить до виникнення ультразвукових коливань.

Величина магнітострикції не залежить від напрямку поля, тому для одержання магнітострикційного ефекту недостатньо простої зміни напрямку поля, а потрібна також зміна його потужності. Для одержання змінного по величині потоку випромінювач підмагнічується постійним струмом, що проходить через додаткову обмотку. Результуючий магнітний потік пульсує від максимального значення сумарного поля, коли струми в обох обмотках спрямовані в одну сторону, до мінімального, коли поля мають протилежний напрямок.

Максимальна амплітуда коливань випромінювача утворюється при рівності частоти пульсації магнітного потоку і його власних коливань.

Ультразвукові паяльники. Ультразвукове паяння засноване на явищі кавітації рідини при виникненні в ній ультразвукових коливань. Ультразвуковий паяльник (рисунок 5.1) принципово відрізняється від звичайного електричного паяльника наявністю магнітострикційного випромінювача ультразвукових коливань 1, прикріпленого до накієчника паяльника 9. Випромінювач являє собою пакет нікелевих пластин з обмоткою 2, що живиться від генератора ультразвукової частоти. Головка паяльника нагрівається від джерела струму через обмотку 3. При включенні генератора в

магніострикторі виникають ультразвукові коливання із частотою 20–30 кГц, які передаються голівці паяльника, робоча частина якого занурена в розплавленій припой 5. Під дією ультразвукових коливань у розплавленому припої виникають кавітаційні бульбашки 6, які розташовуються звичайно на границі між припоєм і твердим металом. При закриванні кавітаційних бульбашок виникають імпульсні тиски, що руйнують окисну плівку металу. Міцність основного металу при температурах паяння м'якими припоями 250–300 °С значно вище міцності окисної плівки. Тому при частотах коливання, що застосовуються в ультразвукових паяльниках, основний метал не перетерплює яких-небудь змін.

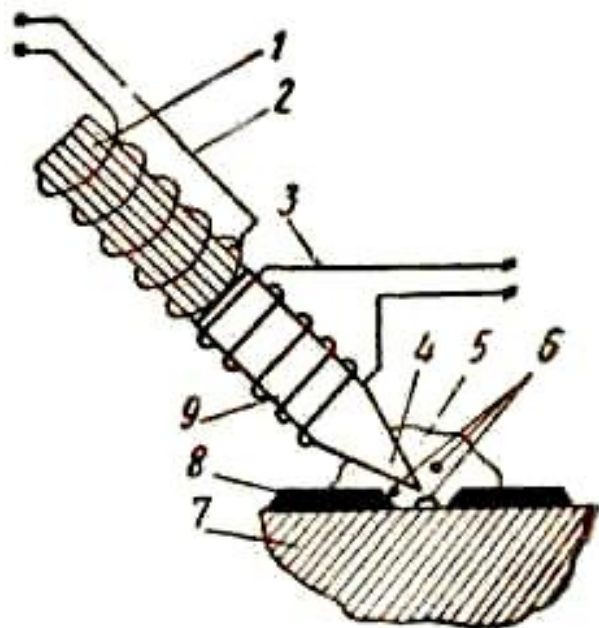


Рис. 5.1. Схема ультразвукового паяльника: 1 – випромінювач ультразвукових коливань; 2 – обмотка випромінювача; 3 – обмотка для нагрівання паяльника; 4 – стержень; 5 – рідкий припой; 6 – кавітаційні бульбашки; 7 – виріб, що паяється; 8 – окисна плівка; 9 – накінецьник паяльника

Однак при підвищенні температури в тих ділянках, де руйнується окисна плівка, відбувається швидке розчинення основного металу в припої.

Слід зазначити, що ефективність магніостриктора повільно зменшується в міру підвищення його температури. Внаслідок цього максимальна температура їх застосування не перевищує 400 °С.

Відмінна особливість ультразвукового паяння – можливість паяння без застосування флюсів. Ця особливість ультразвукового паяння робить його досить вигідним у випадках, коли використовувати флюс по тим чи іншим причинам неможливо (наприклад, при низькотемпературному паянні алюмінію і його сплавів).

Технологія ультразвукового паяння. Для одержання якісного шва при ультразвуковому паянні алюмінію і його сплавів, необхідно враховувати, що всякі сторонні включення знижують корозійну стійкість шва, тому потрібна ретельна підготовка виробу під паяння. Так як кавітаційні бульбашки

виникають тільки в рідкому середовищі, при ультразвуковому паянні до вступу в дію перетворювача потрібно забезпечити наявність розплавленого припою навколо робочої частини паяльника.

Якщо застосовується паяльник без власного підігрівача, то для плавлення припою використовується стороннє джерело тепла. При паянні паяльником з підігрівачем нагрівання здійснюється самим паяльником. Однак варто мати на увазі, що алюміній має велику теплопровідність, внаслідок чого масивні вироби важко розігріти за допомогою паяльника. Тому в таких випадках потрібно підігрівати деталь до температури паяння (200–300 °C) стороннім джерелом тепла. Руйнування окисної плівки при ультразвуковому паянні відбувається майже миттєво. Якщо поверхня деталі має температуру, при якій припой перебуває в розплавленому стані, то процес паяння або лудіння триває менш ніж $\frac{1}{20}$ с. Ультразвукове паяння принципово відрізняється від звичайного паяння тим, що при ультразвуковому паянні не використовуються капілярні властивості припою. Лудіння й паяння в цьому випадку відбуваються тільки в тій ділянці, де безпосередньо утворюються кавітаційні бульбашки. Внаслідок цього активною зоною є невелика площа, яка перебуває безпосередньо під паяльником. Якщо потрібно лудити більшу площу виробу, то необхідно пересувати паяльник по всій його поверхні разом з розплавленим припоєм. При цьому немає необхідності торкатися паяльником поверхні металу. Кавітаційні бульбашки виникають на границі припою й основного металу незалежно від відстані між ними й поверхнею металу. Однак інтенсивність кавітації зростає зі зменшенням відстані між перетворювачем і металом, що паяється.

Окисна плівка при ультразвуковому паянні руйнується до дисперсних часток, які спливають на поверхню розплавленого припою. Однак деяка частина окислів змішується із припоєм і збільшує крихкість шва. Часто трохи підвищена крихкість паяного з'єднання особливого значення не має. У тих випадках, коли не допускається підвищена крихкість шва, треба припой, який містить окисли, видалити і нанести новий, чистий припой.

Після лудіння поверхонь, що паяються, рекомендується притиснути їх одну до одної й притерти. У цьому випадку руйнуються окисні плівки, які можуть з'явитися на полудженій поверхні в процесі нагрівання й заважати з'єднанню деталей. Притерті поверхні необхідно притискати до остигання припою. Найменше зрушення деталей у момент застигання припою може порушити цілісність шва й дати неміцне паяння.

Як і при звичайному паянні, робоча частина ультразвукового паяльника повинна бути полуджена. Для цього необхідно запиляти її дрібним напилком і занурити в розплавлений припой, після чого ввімкнути перетворювач.

Розміри паяльника впливають на частоту його коливань, тому варто уникати зайвого зняття напилком матеріалу накінецьника. Для очищення робочої частини паяльника достатньо протерти її чистою ганчіркою.

Щоб уникнути псування паяльника останній у неробочому стані повинен бути поставлений у спеціальний штатив.

При застосуванні припоїв, схильних до сильної дифузії з основним металом, паяння варто вести при можливо більш низькій температурі і якнайшвидше, щоб припой не встиг глибоко проникнути в основний метал.

При паянні припоями, менш схильними до дифузії, необхідно підвищити температуру й збільшити тривалість процесу паяння.

5.2 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією з техніки безпеки.
2. Ознайомитись з будовою та роботою обладнання.
3. Вивчити методику роботи, отримати конкретне завдання.
4. Виконати підготовку зразків та провести паяння.
5. Провести аналіз результатів проведеної роботи та зробити висновки.

5.3 Зміст звіту

1. Назва роботи і її мета.
2. Необхідні теоретичні дані.
3. Обладнання та матеріали.
4. Порядок виконання роботи.
5. Експериментальні результати.
6. Аналіз результатів і висновки по роботі.

5.4 Питання для самоконтролю

1. Сутність процесу ультразвукового паяння.
2. Склад обладнання для ультразвукового паяння.
3. Характеристики перетворювачів.
4. Конструкції ультразвукових паяльників.
5. Технологія ультразвукового лудіння та паяння.

Рекомендована література

1. Лужин О. В. и др. Обследования и испытания сооружений. Учебник для вузов. – М.: Стройиздат. 1997.-264 с.
2. Злочевский А. Б. Экспериментальные методы в строительной механике. – М.: Стройиздат,1993. – 192 с..
3. Лужин О. В. и др. Неразрушающие методы испытания бетона. Учебник для вузов. – М.: Стройиздат. 2003.-236 с.
4. Мальчанов А. И., Плевков В. С., Полищук А. И. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий. – Томск, Изд-во Том. ун-та, 1992. – 456 с.
5. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1989. – 104 с.
6. Справочник проектировщика «Внутренние санитарно-технические устройства», под редакцией И.Г. Староверова, Ю.И. Шиллера, М., Стройиздат, ч. 1, 1990, ч.3 книги 1,2, 1992