

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Л. М. ПЕТРЕНКО, В. Ф. КВАСНИЦЬКИЙ

**ЗБІРНИК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З КУРСУ
«СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ»**

Навчальний посібник

Рекомендовано Вченою радою НУК



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2022

УДК 621.791.052

ПЗ0

Автори:

Л. М. Петренко, асистент кафедри зварювального виробництва НУК;

В. Ф. Квасницький, доктор технічних наук, професор НУК

Рецензенти:

С. В. Драган, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри зварювального виробництва НУК;

О. М. Костін, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри зварювального виробництва НУК;

С. М. Козулін, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона

Рекомендовано Вченою радою НУК

(протокол № 07 від 31.08.22 р.)

Петренко Л. М.

ПЗ0 Збірник лабораторних робіт з курсу «Спеціальні способи зварювання»: навчальний посібник / Л. М. Петренко, В. Ф. Квасницький. – Миколаїв: НУК, 2022. – 76 с.

ISBN 978-966-321-447-4

Посібник укладено відповідно до програми курсу «Спеціальні способи зварювання» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітня програма «Інжиніринг зварювання та споріднених процесів».

Викладено спеціальні способи зварювання у твердому стані, плавлення із використанням висококонцентрованих джерел енергії при зварюванні та споріднених процесах. Роботи проводяться як у лабораторіях НУК, так і в ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».

Призначено для студентів вузів усіх форм навчання.

УДК 621.791.052

© Петренко Л. М., Квасницький В. Ф., 2022

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2022

ISBN 978-966-321-447-4

ВСТУП

Застосування нових конструкційних матеріалів вимагає розробки спеціальних способів зварювання, які дозволяють суттєво підвищити ефективність і ресурс роботи багатьох конструкцій.

Спеціальні способи зварювання змінили уявлення про здатність матеріалів до зварювання: багато з них перейшли з розряду тих, що погано зварюються, до таких, які широко застосовуються в зварних конструкціях.

Розвиток спеціальних способів зварювання було спрямовано на розробку способів зварювання у твердому стані, використання джерел тепла з високою концентрацією енергії (плазма, електронний і лазерний промені), вдосконалення захисту металу при зварюванні як у твердому стані, так і плавленні у вакуумі.

Розвиток та використання багатьох способів зварювання і споріднених технологій відбувалися завдяки роботам українських вчених, зокрема інституту зварювання імені Є.О. Патона НАН України та ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».

Збірник підготували:

Петренко Л. М. – роботи 1, 2, 7, 8;

Квасницький В. Ф. – вступ та роботи 3, 4, 5, 6.

Лабораторна робота № 1

Холодне зварювання металів

Мета роботи – ознайомитися з устаткуванням і основами технології холодного зварювання та провести дослідження зразків холодного зварювання алюмінію на металографічному мікроскопі.

Загальні відомості

Холодне зварювання – спосіб з'єднання деталей без нагрівання зовнішніми джерелами. Зварювання здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв, що викликають одночасну спрямовану деформацію попередньо очищених поверхонь і наростаючий напружений стан, при якому утворюється монолітне високоміцне з'єднання.

Холодним зварюванням з'єднують високопластичні метали, наприклад алюміній, мідь тощо. Перевагою холодного зварювання є з'єднання різнорідних металів, чутливих до нагрівання або утворюючих інтерметалідів.

Зближення поверхонь на міжатомні відстані та їх активізація забезпечується значними пластичними деформаціями, що складають 55...90 %.

Точкове зварювання – найбільш простий і поширений спосіб холодного зварювання. Його застосовують для з'єднання алюмінію, алюмінію з міддю, армування алюмінію міддю.

При холодному точковому зварюванні (рис. 1.1) поверхні деталі 1 встановлюють у напусток між пуансонами 3,

мають робочу частину 2 й опорну поверхню 4. При втисканні пуансонів зусиллям P відбувається деформація заготовок і формування зварного з'єднання. Опорна поверхня пуансонів у кінцевий момент зварювання обмежує глибину занурення пуансонів у метал.

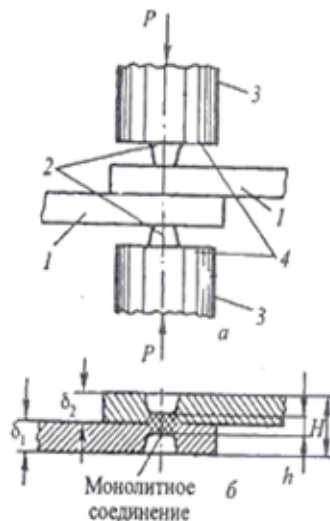


Рис. 1.1 – Схема холодного зварювання
(геометрія зварного з'єднання)

Зварювані деталі 1 можуть попередньо стискатися затискачами 2 або одночасно з втисканням пуансона 3. Наявність зони обтиску навколо втискуючого пуансона зменшує деформації деталі, підвищує напружений стан у зоні зварювання, що розширює зону зварювання за площею пуансона.

Цей спосіб дозволяє зварювати малопластичні матеріали. Міцність точок може бути підвищена на 10...20 % при зварюванні за схемою (рис. 1.2).

З огляду на простоту способу точкового холодного зварювання спеціальні машини для його виконання великого

розвитку не отримали. Зварювання успішно виконують на найрізноманітніших серійних пресах.

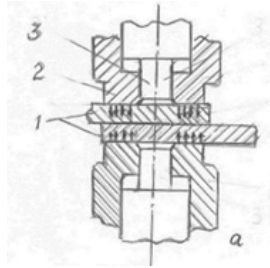


Рис. 1.2 – Схема холодного точкового зварювання з попереднім обтисненням

Одна з перших схем холодного стикового зварювання металів, що не втратила практичного значення до сих пір, наведена на рис. 1.3. Ця схема розроблена К.К. Хреновим і Г.П. Сахацьким.

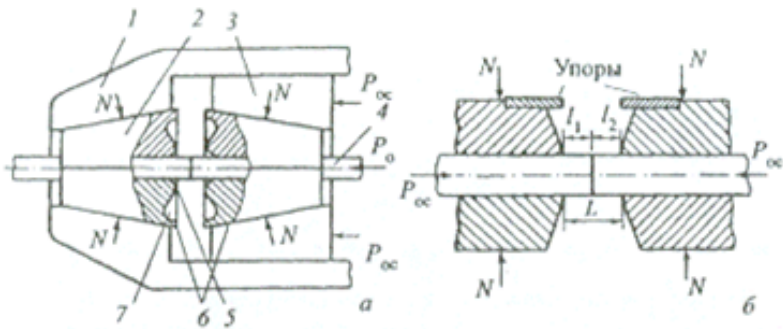


Рис. 1.3 – Схема холодного стикового зварювання

У корпусі 1 є гніздо для нерухомого конусного затискача 2 і напрямні для рухомого корпусу 3, в якому також розташований конусний затискач. Після попередньої зачистки торців деталі 4 встановлюють у затискачі 2,

які мають формуючі частини з різальними крайками 5 і упором 6, осадкові зусилля прикладаються до повзуна 3, при його переміщенні стискаються торці деталей і зати-скаються за допомогою конусів. У процесі осадки по-глиблення 7 заповнюються металом раніше, ніж зустрі-чаються опорні частини 6. У стику відбувається провар, а залишок виплавки металу відрізається крайками 5. За-лежно від розташування різальних крайок з'єднання може бути з посиленням або без посилення.

Устаткування

для холодного зварювання

Устаткування, яке дозволяє зварювати однотипні деталі певного діапазону, називають обладнанням загального при-значення. На відміну від нього спеціальні машини призначені для зварювання єдиної пари деталей (або двох-трьох, близьких за формою і розмірами перетину). Такий поділ машин на дві групи є умовним, але дозволяє дати більш повну характеристику окремих типів обладнання для хо-лодного зварювання.

Машини загального призначення випускають, як прави-ло, серійно. Спеціальні машини частіше бувають одинично-го виконання, але можуть бути і серійними – в залежності від масштабів виробництва зварюваних деталей.

Точкове холодне зварювання здійснюють в основно-му в стаціонарних умовах. Однак у ряді випадків необхід-но проводити точкове зварювання безпосередньо в умовах монтажу, наприклад при з'єднанні струмоведучих шин в електричних розподільних пристроях. Для цієї мети можуть бути використані малогабаритні гідравлічні пре-си, що застосовуються для з'єднання й окінцювання про-водів методом опресування наконечників.

Устаткування, прилади, інструменти і матеріали

1. Відрізний верстат.
2. Металографічний мікроскоп «NEOPHOT-21».
3. Тиски.
4. Гайковий ключ 17×22.
5. З'єднувальна муфта.
6. Дріт алюмінієвий.
7. Алмазні пасти № 10/7; 5/3; 2/1.
8. Розчин для травлення алюмінію (10 мл 3%-ого водного розчину азотної кислоти, 10 мл 10%-ого водного розчину соляної кислоти).
9. Спирт.
10. Серветки.

Методика холодного зварювання алюмінієвого дроту за допомогою з'єднувальної муфти

Зварювання алюмінієвого дроту з $d_3 = 9$ мм проводили за допомогою з'єднувальної муфти, яка має розміри: $l = 92$ мм, $d = 28$ мм, $d_{\text{вн}} = 15$ мм з чотирма отворами на М16, в які вгвинчуються гвинти 25×М16 мм.

Різновидом холодного зварювання алюмінієвих дротів є їх зварювання у спеціальній оправці (муфті), що показано на рис. 1.4,а. Корпус та 4 гвинти муфти виготовляються з алюмінію або його сплаву. Кінець гвинта має форму конуса, діаметр на ділянці різьби в 2 рази більший, ніж за її межами до головки гвинта.

Муфта має перегородку, що ділить її навпіл. Дроти вставляють з обох сторін муфти до перегородки і в них втискаються гвинти шляхом закручування. При цьому відбувається деформація дроту, як показано на рис. 1.4,б. Гвинти закручують до їх зрізання на ділянці переходу від

малого до більшого діаметра. У зоні з'єднання розвиваються деформації зсуву.

За декілька годин до зварювання дрiт, з'єднувальну муфту і гвинт ретельно зачищають від бруду, масла, а потім проводять зачистку металевою щіткою, яка ще не була у користуванні. Дріт встановлюється в муфту до перегородки і затискається гайковим ключем до зрізу гвинта. Після холодного зварювання із з'єднувальної муфти вирізається темплет для приготування мікрошліфа, який готується за допомогою алмазних паст № 10/7; 5/3; 2/1. Після кожного номера шліфування алмазною пастою потрібно ретельно промивати спиртом і промокати серветками.

Якість зварювання оцінюють за допомогою мікроскопу «NEOPHOT-21».

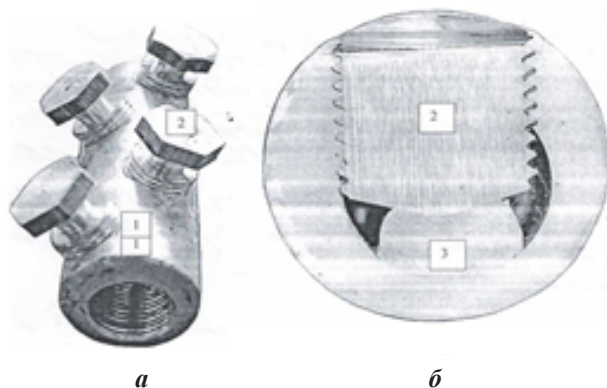


Рис. 1.4 – Загальний вигляд (а) з'єднувальної муфти для ХЗ алюмінієвого дроту та мікрошліф з'єднання (б):
1 – корпус; 2 – гвинти змінного діаметра; 3 – дрiт

Оформлення звіту

Звіт повинен містити: мету роботи; короткий опис сутності способів холодного зварювання; результати дослідження; відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. У чому полягає фізична сутність холодного зварювання?
 2. Як проводиться підготовка деталей під холодне зварювання?
 3. Якої величини досягає пластична деформація при холодному зварюванні?
 4. Різновиди холодного зварювання.
 5. Які метали зварюють у холодному стані?
 6. Який вид пластичної деформації при холодному зварюванні ефективний?
 7. Спосіб активації з'єднаних поверхонь при холодному зварюванні.
 8. Типи зварних з'єднань при холодному зварюванні.
 9. Підготовка з'єднаних поверхонь при холодному зварюванні.
 10. Застосування холодного зварювання.
-

Лабораторна робота № 2

Обладнання для зварювання у вакуумі

Мета роботи – ознайомитися з вакуумною технікою та устаткуванням для дифузійного вакуумного зварювання.

Загальні відомості

Для дифузійного зварювання у вакуумі розроблено і створено велику кількість типів установок. Основними складовими будь-якої установки є вакуумна зварювальна камера, вакуумні насоси, вакуумні засуви і система, джерело енергії для нагрівання та нагрівальні пристрої для стискування, контрольно-вимірювальна апаратура та система управління.

Установки можуть бути з повним вакуумуванням деталей або з місцевим при зварюванні великогабаритних виробів. Залежно від форми і розмірів виробів, а також режимів зварювання, вибирають джерело нагрівання. Найбільш часто використовують індукційне нагрівання, струмами високої частоти.

Для стиснення деталей застосовують гідравлічну, пневматичну та механічну системи. Установки можуть бути універсальними або спеціальними.

Зварювальне устаткування

Основними складовими устаткування для зварювання у вакуумі є робоча вакуумна камера з технологічним оснащенням, вакуумні насоси, системи вакуумного охолодження,

джерело енергії для нагрівання та контрольовано-вимірювальною апаратурою та системою управління.

Основними способами, в яких використовують вакуумний захист, є зварювання дифузійне та електронно-променеве.

Вакуумні насоси

Вакуумні насоси працюють у діапазоні тисків від 10^5 до 10^{-10} Па. При цьому використовується один із двох способів відкачки: 1) переміщення газу за рахунок механічних сил, які діють на нього; 2) зв'язування газу шляхом сорбції хімічних реакцій або конденсації.

Промислові вакуумні насоси, які призначені для одержання тисків нижче 10^{-2} Па, за принципом дії розподіляють на наступні групи:

1) об'ємної дії, в яких газ переміщується шляхом періодичної зміни об'єму робочої камери;

2) ежекторні, в яких газ захоплюється струменем робочої рідини або пари;

3) молекулярні, які надають своїми рухомими поверхнями молекулам газу додаткову швидкість у визначеному напрямку (турбомолекулярні насоси) або використовують постійно діючий струмінь пари (струминні насоси);

4) сорбційні, які видаляють гази сорбцією на поверхні або в об'ємі твердих тіл;

5) кріогенні, які видаляють гази шляхом їх конденсації на поверхнях, охолоджених до наднизьких температур. Різновидами кріогенних насосів є конденсаційні і кріосорбційні насоси.

Сфери використання насосів різних груп наведено на рис. 2.1. Для технологічних процесів у промисловості зазвичай застосовують насоси першої, другої, третьої і четвертої груп.

Основні параметри вакуумних насосів – найбільший тиск запуску, найбільший робочий тиск, найбільший ви-

пускний тиск, граничний залишковий тиск, швидкість дії і продуктивність.

Найбільший тиск запуску – найбільший тиск у вхідному перерізі, при якому насос може почати роботу. Найбільший випускний тиск – найбільший тиск у вихідному перерізі насоса, при якому він може вести відкачку. Найбільший робочий тиск – найбільший тиск у вхідному перерізі насоса, при якому він тривалий час зберігає номінальну швидкість дії.

Граничний залишковий тиск – найменший тиск, який може бути досягнутий при роботі насоса на себе, тобто без навантаження. При цьому розрізняють парціальний тиск залишкових газів і повний залишковий тиск, тобто суму парціальних тисків залишкових газів і парів.



Рис. 2.1 – Области дії вакуумних насосів

Швидкість дії насоса називається об'єм газу, що проходить через впускний переріз насоса в одиницю часу при визначеному тиску. Для кожного типу насосів існує крива залежності швидкості дії насоса S_H від тиску P_H .

Продуктивність насоса Q'_H – кількість газу, що виділяється в одиницю часу при тиску P_H . Продуктивність і швидкість дії насоса пов'язані співвідношенням

$$Q'_H = S_H P_H.$$

Для відкачки повітря від атмосферного тиску і створення вакууму до 1 Па застосовують механічні насоси об'ємної дії з масляним ущільненням. Насоси з малою швидкістю дії (до $6 \cdot 10^{-3}$ м³/с) звичайно виготовляють пластинчасто-роторними (ВН-494) або пластинчасто-статорними (ВН-461М). Середні (від $6 \cdot 10^{-3}$ до 10^{-1} м³/с) і великі (понад 10^{-1} м³/с) насоси роблять плунжерними (золотниковими): ВН-1, ВН-6Г, НВЗ-100, НВЗ-150 та ін. Принцип дії механічних масляних насосів заснований на обертанні ексцентрично розташованого ротора в робочій камері, розділеній за допомогою ковзних лопатей, або самого ротора, розділеного на кілька секторів. При обертанні ротора в одній частині камери створюється розрідження, а в іншій – стискування. Газ із відкачуваного об'єкта втягується в розріджену область робочої камери, а потім при зменшенні об'єму стискується до тисків, необхідних для відкриття випускного клапана і видалення газу в атмосферу. Схему пластинчасто-роторного насоса показано на рис. 2.2.

При обертанні ексцентрично розташованого ротора 2, пластини 4 із пружиною 3 ковзають по внутрішній поверхні циліндра 5. У порожнину всмоктування газ надходить із впускного патрубку 1, з'єднаного з об'ємом, що відкачується. Із порожнини стискування газ виштовхується через випускний клапан 6. У процесі роботи зазори в роторному механізмі ущільнюються вакуумним маслом. Схему плунжерного насоса показано на рис. 2.3. У циліндричній камері корпусу 1 насоса обертається

ексцентрик 2 з надягнутим на нього плунжером 3. Газ із відкачуваного об'єму надходить у порожнину всмоктування через вікно 6 у прямокутній частині плунжера, що ковзає в направлявачі 5. З порожнини стиснутий газ виштовхується через випускний клапан 4.

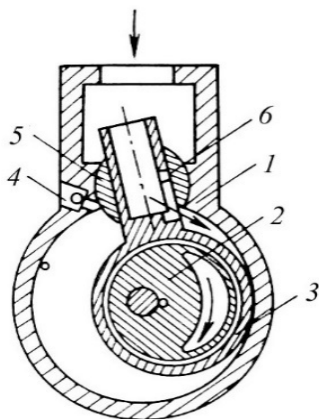


Рис. 2.2 – Схема пластично-роторного насоса:
1 – впускний патрубок; 2 – ротор; 3 – пружина; 4 – пластини;
5 – циліндрична камера; 6 – випускний клапан

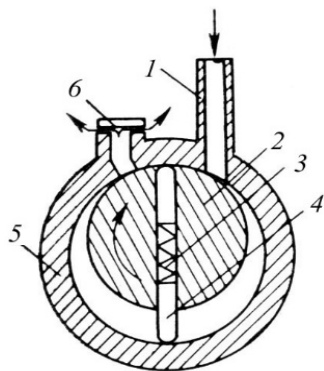


Рис. 2.3 – Схема плунжерного (золотникового) насоса:
1 – циліндрична камера; 2 – ексцентрик; 3 – плунжер;
4 – випускний клапан; 5 – направлявач; 6 – вікно

В одноступінчастих насосах із масляним ущільненням повний залишковий тиск звичайно складає 2,0...6,6 Па. Для одержання більш низьких тисків використовують двоступінчасті насоси з масляним ущільненням. Високовакуумний ступінь двоступінчастого насоса, який з'єднується з відкачуванням об'ємом, створює невеликий перепад тисків (до 0,1 Па), і тому немає потреби в масляному ущільненні, що зменшує натікання продуктів розкладання масла і забезпечує отримання низьких тисків. У кращих зразків двоступінчастих насосів повний залишковий тиск газів складає $6,5 \cdot 10^{-1}$ Па.

Для створення високого і надвисокого вакууму застосовують молекулярні струминні і турбомолекулярні насоси. Робота пароструминних вакуумних насосів заснована на видаляючій ежекційній дії струменя пари робочої рідини, яка, виходячи із сопла, має високу швидкість та захоплює молекули відкачуваного газу. Схему триступінчастого дифузійно-паромасляного насоса показано на рис. 2.4.

Істотний недолік дифузійних насосів – міграція в робочий об'єм масляної пари, що змушує застосовувати спеціальні масловловлюючі елементи – пастки різного типу. Часто поєднують дифузійні насоси з пастками, охолоджуваними киплячим рідким азотом для конденсації пари масла.

Вакуум без масляних парів можна отримати за допомогою турбомолекулярних насосів, застосування яких розширюється в сучасних вакуумних установках. При цьому відпадає необхідність у використанні пасток. Ефективність відкачки збільшується зі зростанням частоти обертання ротора, яка складає 18000 об./хв і більше.

Схему турбомолекулярного насоса показано на рис. 2.5,а. Статорні та роторні диски насоса зображено на рис. 2.5,б.

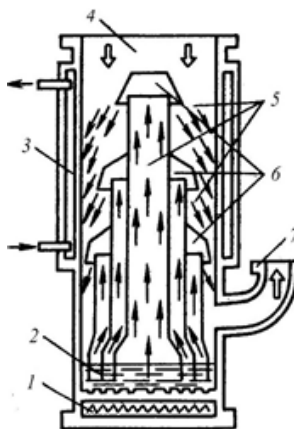


Рис. 2.4 – Схема триступінчастого дифузійно-паромасляного насоса (рух пари показано стрілками):

1 – нагрівач; 2 – кип'ятильник з робочою рідиною (вакуумним маслом);
3 – система охолодження; 4 – відкачуваний газ; 5 – потік пари робочої рідини (вакуумного масла); 6 – зонтичні сопла 1-, 2- та 3-го ступенів;
7 – випускний патрубок

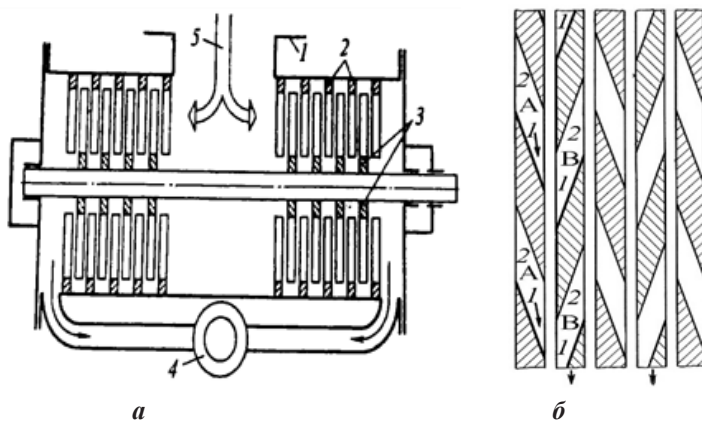


Рис. 2.5 – Принципова схема турбомолекулярного насоса (а) та розміщення статорних і роторних дисків та їх каналів (б):

1 – корпус; 2 – статорні диски; 3 – роторні диски;
4 – випускний патрубок; 5 – впускний патрубок

Насос має статорні 2 і роторні 3 диски з косими радіальними каналами. Канали роторних дисків В розміщені дзеркально відносно каналів статорних дисків А (рис. 2.5,б). Така система забезпечує проходження молекул газу в напрямку відкачки (зліва направо на рис. 2.5,б).

Молекули газу, які проходять через статорний паз, вільно рухаються через роторний паз, оскільки бокова стінка 1 роторного паза відходить з їх шляху, а бокова стінка 2 роторного паза не наздоганяє їх.

Максимальна швидкість дії насосів досягається при кутах нахилу пазів відносно площини дисків близько 30° , але для досить високого стискування газів ці кути не повинні перевищувати 20° .

Тому в сучасних насосах високовакуумні ступені виконуються з кутами нахилу 35° , а решта – $20...15^\circ$. Високий коефіцієнт стискування ($10^2...10^3$ по водню, $10^7...10^9$ по азоту) забезпечується завдяки великій кількості послідовних ступенів (30...40). Оскільки для важких газів коефіцієнт стискування дуже великий, то проникнення важких молекул масел форвакуумних порожнин насоса до відкачуваних об'єктів неможливе.

У системах безмасляної відкачки та для одержання досить низьких тисків широко застосовують сорбційні насоси, зокрема випарні гетерні насоси. У цих насосах поглинання газів здійснюється за рахунок фізичної адсорбції, хемосорбції, хімічних реакцій і розчинення газів у парах та плівці металевого гетера, створюваних методом термічного випаровування. Як гетер звичайно використовують титан, який утворює нелеткі з'єднання або тверді розчини майже з усіма газами, за винятком інертних газів і вуглеводнів.

Найбільш високу швидкість дії мають дугові гетерні насоси. Схему дугового насоса наведено на рис. 2.6.

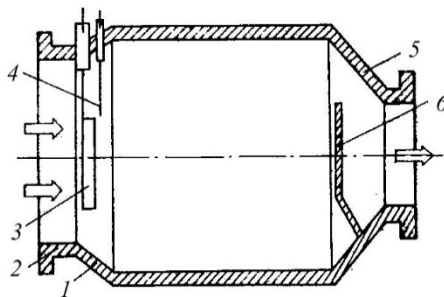


Рис. 2.6 – Схема електродугового гетерогенного насоса:
1 – корпус; 2 – впускний патрубок; 3 – катод (титановий диск);
4 – електрод для збудження дуги; 5 – випускний патрубок; 6 – відбивач

Зварювальні установки

Схему найбільш простої установки типу УДСВ-ДТ для дифузійно-вакуумного зварювання показано на рис. 2.7. Корпус робочої вакуумної камери об'ємом 54 л виготовлено з нержавіючої сталі. Вона має сорочку для водяного охолодження. Відкидна передня стінка з оглядовим вікном зі спеціального скла має діаметр 160 мм і щільно притискається до корпуса камери через гумове ущільнення спеціальними пристроями.

Розглянемо установку для дифузійного зварювання у вакуумі. Вакуумна камера з'єднана з дифузійним насосом 1 через вакуумний затвор 4 типу ДУ-160. Попередній вакуум у робочій камері створюється форвакуумним насосом 13, а високий вакуум – дифузійним паромасляним насосом 1. Вакуум $1,3 \cdot 10^{-2}$ Па створюється в робочій камері за 5 хв. Робота на установці ведеться в такій послідовності.

Перед зварюванням деталі зачищають і знежирюють. Підготовлені до зварювання деталі встановлюють у камеру 9. Відкачування повітря до тиску в 13,3 Па ведеться форвакуумним насосом 13, а потім дифузійним 1. Після досягнення необхідного вакууму, деталі нагрівають до

температури зварювання. В установці передбачене індукційне нагрівання деталей струмами високої частоти.

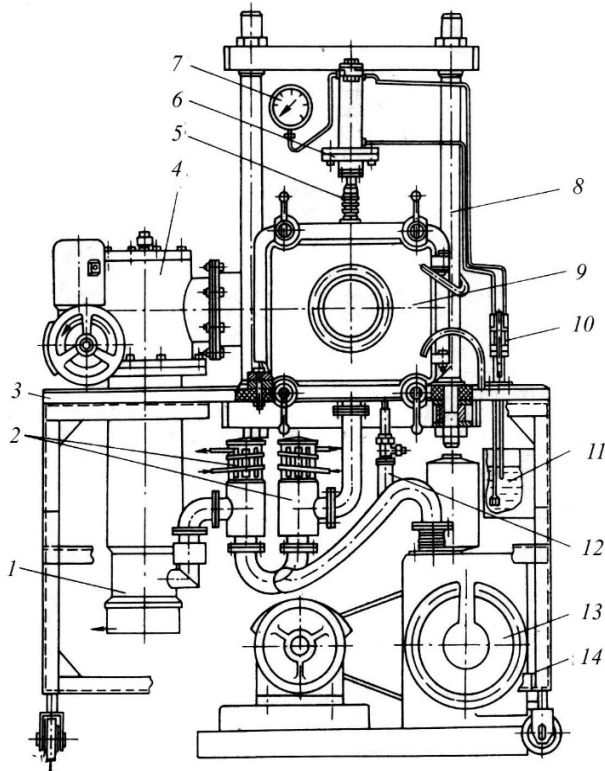


Рис. 2.7 – Схема установки дифузійно-вакуумного зварювання типу УДСВ-ДТ з високочастотним нагрівом і гідравлічною системою стиснення:

- 1 – дифузійний насос; 2, 12 – вакуумні електромагнітні крани;
3 – плита каркасу; 4 – вакуумний затвор; 5 – сильфонний ввід штока;
6 – гідроциліндр; 7 – манометр; 8 – колона гідровузла; 9 – вакуумна камера; 10 – гідравлічний насос; 11 – масляний бак;
13 – форвакуумний насос; 14 – каркас установки

При досягненні необхідної температури зварювання деталі стискають заданим зусиллям і витримують у такому

стані протягом визначеного часу. Час зварювання складає кілька хвилин. Після закінчення зварювання закривають вакуумний затвор 4, відкривають кран 12 напуску повітря в камеру. При цьому форвакуумний насос відкачує повітря з дифузійного насоса. У робочій камері ведеться вивантаження-завантаження деталей.



Рис. 2.8 – Загальний вигляд установки
для дифузійно-вакуумного зварювання типу УДСВ-ДТ
з нагрівом високочастотною гідравлічною системою

Високовакуумна установки ВВУ-1Д

Універсальна установка ВВУ-1Д створена Українським державним морським технічним університетом (УДМТУ). Вона призначена для дифузійного зварювання і паяння складних за конфігурацією та громіздких вузлів із тугоплавлених і активних металів, жароміцних сплавів, композиційних і керамічних матеріалів, нанесення покриттів і припоїв методами іонно-плазмового та термічного напilenня. Об'єм робочої камери складає 3,53 м³, максимальна температура деталей – 1600...1800 °С. В установці передбачено радіаційне нагрівання та нагрівання струмами

високої частоти. Потужність нагрівального пристрою складає 120 кВт.

На рис. 2.9 представлена схема надвисоковакуумної установки ВВУ-1Д.

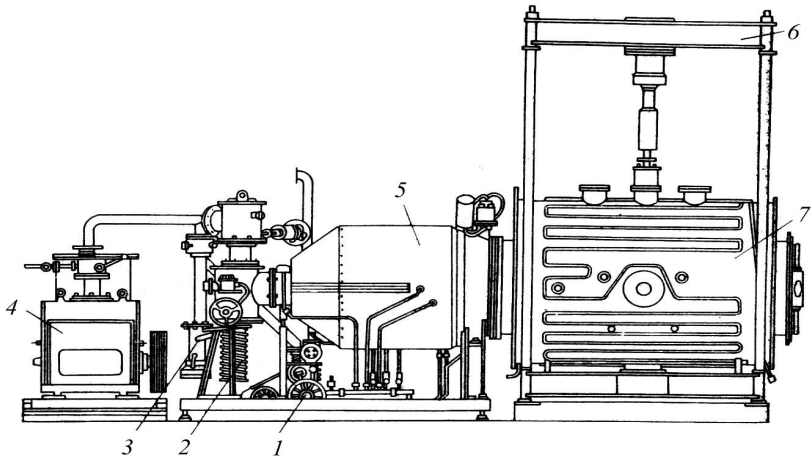


Рис. 2.9 – Схема високовакуумної установки ВВУ-1Д:
 1 – форвакуумний насос НВЗ-20; 2 – вакуумний агрегат АВП-250;
 3 – бустерний насос БН-3; 4 – форвакуумний насос ВН-6ГМ;
 5 – електродуговий вакуумний насос АВЭД-40/80;
 6 – вузол гідравліки; 7 – вакуумна камера

Вакуумна камера оснащена допоміжними механічними маніпуляторами та механізованими пристроями, які забезпечують виконання технологічного циклу виготовлення партії деталей без розгерметизації камери. В установці ВВУ-1Д вакуум $1,3 \cdot 10^{-5}$ Па створюється за допомогою форвакуумних насосів НВЗ-20 і АВЗ-150, бустерного насоса БН-3, вакуумного агрегату АВП-2 та електродугового вакуумного насоса АВЭД-40/80. Форвакуумний насос АВЗ-150 відкачує з камери повітря до 13,3 Па і потім вимикається. Подальша відкачка ведеться насосами НВЗ-20, БН-3, АВП-250 і АВЭД-40/80.



Рис. 2.10 – Загальний вигляд універсальної високовакуумної установки для дифузійного зварювання і паяння

Методика проведення лабораторної роботи

1. З викладачем кафедри розглянути конструкцію, принцип дії механічного насоса НВЗ-20, дифузійного, паромасляного та електродугового АВЕД-40/80 насосів.
2. Розглянути схему та роботу вакуумної установки УДСВ-ДТ для дифузійного зварювання у вакуумі та надвисоковакуумної установки ВВУ-1Д.
3. Розібрати з викладачем область дії вакуумних насосів.
4. Включити установку УДСВ-ДТ для дифузійного зварювання у вакуумі та розглянути методику отримання високого вакууму у камері.

Оформлення звіту

Звіт повинен містити: мету роботи; короткий запис сутності роботи насосів і установок; короткий опис обладнання; відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Область дії вакуумних насосів.
 2. Принцип роботи термопарної та іонізаційної ламп.
 3. Принцип отримання вакууму за допомогою плунжерного насоса.
 4. Принцип отримання вакууму за допомогою триступінчастого паромасляного насоса.
 5. Принцип роботи електродугового гетерного насоса.
 6. Основні складові установок УДСВ-ДТ та ВВУ-1Д.
 7. Застосування установки УДСВ-ДТ.
 8. Застосування установки ВВУ-1Д.
 9. Як визначають натікання в робочу вакуумну камеру?
 10. Чому при дифузійному зварюванні в вакуумі для нагрівання деталей використовують, головним чином, струм високої частоти?
 11. Які способи нагрівання у вакуумі використовують, крім струму високої частоти?
 12. Принцип роботи турбомолекулярних вакуумних насосів.
 13. Яким способом створюють вакуум без парів вакуумного масла?
-

Лабораторна робота № 3

Зварювання струмами високої частоти

Мета роботи – вивчити процеси зварювання, при яких поверхні, що підлягають з'єднанню, нагріваються до зварювальних температур струмами високої частоти.

Загальні відомості

Нагрівання металу струмами високої частоти (СВЧ) ґрунтується на законах електромагнітної індукції і повного струму та ефектів поверхневого, кільцевого, впливу магнітопроводів і мідних екранів на розподіл електричного струму в провіднику.

При протіканні постійного струму через металеву шину прямокутного перерізу розподіл струму по перерізу буде рівномірним, а теплова енергія, що виділяється за законом Ленца–Джоуля, буде рівномірно розподілена в об'ємі шини. Якщо через шину пропустити змінний струм із частотою f , то крім електрорушійної сили (ЕРС) джерела живлення у шині будуть наводитися зустрічні ЕРС, які будуть найбільше сильними в об'ємі шини. У результаті взаємодії електрорушійних сил електричне поле у внутрішніх частинах шини буде послаблено і струм по перерізу буде розподілений нерівномірно. Більша частина струму буде протікати по поверхневому шарі, що і обумовлює поверхневий ефект.

Поверхневий ефект полягає в тому, що щільність струму високої частоти максимальна на поверхні провідника

і мінімальна в центрі тіла. Струм протікає немовби по тонкому приповерхневому шару. Глибину, на якій густина струму знижується в 2,718 рази у порівнянні з її значенням на поверхні, називають глибиною проникнення струму. Збільшення густини струму від центру до поверхні провідника відбувається за експоненціальним законом. Чим вище частота струму, електропровідність і магнітна проникність, тим менше буде глибина проникнення струму.

Приблизно глибину проникнення струму при нагріванні можна обчислити за рівняннями:

– для міді

$$\delta = \frac{70}{\sqrt{f}}, \text{ мм};$$

– для магнітної сталі при температурі магнітних перетворень

$$\delta = \frac{500}{\sqrt{f}}, \text{ мм}.$$

Вплив частоти на глибину проникнення струму для різних металів показано на рис. 3.1.

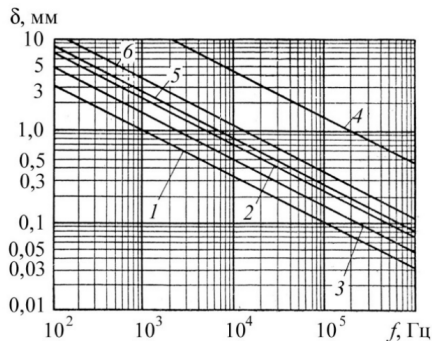


Рис. 3.1 – Вплив частоти на глибину проникнення струму для різних металів:

1 – сталь, 20 °C, $\mu = 40$; 2 – мідь, 15 °C; 3 – сталь, 20 °C, $\mu = 16$;

4 – сталь, 840 °C; 5 – алюміній, 20 °C; 6 – мідь, 400 °C

Поверхневий ефект забезпечує високу густину струму в поверхневих шарах, концентрацією в них виділення енергії, швидке нагрівання.

Магнітна проникність феромагнітних матеріалів вище точки Кюрі збільшується в 15 разів. При збільшенні частоти глибина проникнення струму зменшується. При частотах 400...500 кГц теплота виділяється в надзвичайно тонкому шарі. Завдяки високій концентрації енергії час нагрівання до температури плавлення металу складає частки секунди. Цьому сприяє також ефект близькості.

На рис. 3.2,*a* в паралельних шинах струми спрямовані протилежно один одному. Магнітні потоки від струмів між шинами мають один напрямок і складаються, а на зовнішніх боках провідників спрямовані зустрічно і послаблюються. Тому напруженість магнітного поля між провідниками збільшується, а поза провідниками – зменшується. Індуктовані струми, які взаємно наводять провідники, на внутрішніх сторонах підсилюють струм від джерела. На ділянках із найбільшою напруженістю магнітного поля (магнітний потік проходить не тільки по повітрі, але і по тілу шини) існує найбільша густина струму. Густина струму на внутрішніх, звернених одна до одної поверхнях, більше, ніж на зовнішніх. Струм проходить по внутрішніх сторонах шин. Аналогічний розподіл струмів у шинах існує, якщо по одній шині протікає струм від джерела електроенергії, а по іншій – індукційний струм. Цей ефект використовують при нагріванні зовнішньої поверхні деталі охоплюючим індуктором.

При одному напрямку струмів у Елшинах (див. рис. 3.2,*б*) напруженість магнітного поля між шинами зменшується. Густина струму на внутрішній стороні шини буде меншою, ніж на зовнішній. Струм буде проходити по тонкому шару із зовнішньої сторони кожної шини. Це використовують при нагріванні внутрішньої поверхні деталі індуктором всередині деталі.

На рис. 3.2, *в* показано випадок протікання струмів зустрічного напрямку по коаксіально розташованому циліндру і трубі. Струм проходить по зовнішній поверхні циліндра внутрішньої поверхні труби.

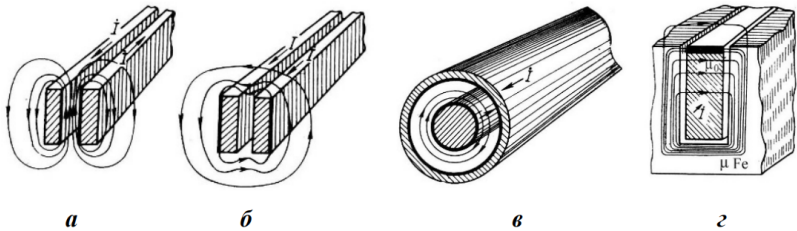


Рис. 3.2 – Ефект близькості в паралельних провідниках і вплив магнітопроводу на розподіл струму в провідниках:

a – протилежно спрямовані струми в плоских шинах;
б – однаково спрямовані струми в плоских шинах; *в* – протилежно спрямовані струми в коаксіальних провідниках; *г* – провідник із магнітопроводом

На розподіл струму в провіднику суттєво впливають магнітопровід та мідний екран. На рис. 3.2, *г* показано мідний провідник прямокутного перерізу зі змінним струмом у пазі магнітопроводу з пластин заліза або фериту. Провідник із трьох сторін оточений феромагнітним матеріалом із великим питомим електричним опором. Магнітна проникність заліза набагато більша, ніж міді або повітря. Тому нижче дна паза весь магнітний потік буде проходити в залізі. При такому розподілі магнітного потоку в нижній частині провідника, яка лежить на дні паза, буде наводитися більша електрорушійна сила (ЕРС) самоіндукції, ніж у верхній, де напруженість магнітного поля менша. В результаті сумарна густина струму буде більшою, ніж у нижній частині провідника. Ця нерівномірність зростає зі збільшенням глибини паза і частоти струму, який проходить по провіднику. Можна вважати, що майже весь струм буде стягнутий до відкритої поверхні провідника.

Цим користуються для концентрації теплоти в потрібних місцях і підвищення ефективності нагрівання, наприклад, листів металу для виправлення деформації листа.

Для регулювання розподілу температури використовують мідні екрани.

При високочастотному зварюванні теплова енергія виділяється безпосередньо в масі металу. Нагрівання протікає як на повітрі, так і у вакуумі. Тому його широко застосовують у вакуумних технологіях.

Для зварювання СВЧ застосовують два способи передачі енергії: контактний (кондуктивний) та індуктивний.

При контактному способі на відстані 30...200 мм від місця зварювання поверхні на них накладають контакти, до яких від високочастотного генератора підводиться струм високої частоти, зазвичай радіочастоти (більше 60 кГц). Схему радіочастотного зварювання труб показано на рис. 3.3.

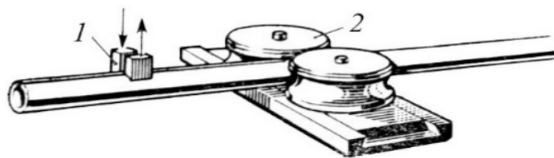


Рис. 3.3 – Схема радіочастотного зварювання труб із контактним підведенням і автоконцентрацією струму в зоні сходження кромки:

1 – струмопровід; 2 – механізм стискування

Для підведення струму використовують ковзні контакти або контактні ролики. Найбільша частина струму тече вздовж поверхонь і замикається в місті їх сходження.

Індукційне нагрівання здійснюють за допомогою індуктора (див. рис. 3.4). При протіканні змінного струму через індуктор навколо нього виникає магнітне поле. Усередині кільця напруженість магнітного поля збільшується і струм концентрується на внутрішній поверхні провідника. Якщо

помістити всередині індуктора металеву деталь, то перемінний магнітний потік індуктора викличе в ній індукований струм. Внаслідок поверхневого ефекту й ефекту близькості цей струм буде сконцентровано на зовнішній поверхні деталі і забезпечить її нагрівання. Чим меншим є зазор між індуктором і деталлю, тим більший коефіцієнт корисної дії.

Процеси високочастотного зварювання можна розділити на три групи:

- 1) зварювання плавленням (без тиску);
- 2) зварювання тиском з оплавленням;
- 3) зварювання тиском без оплавлення.

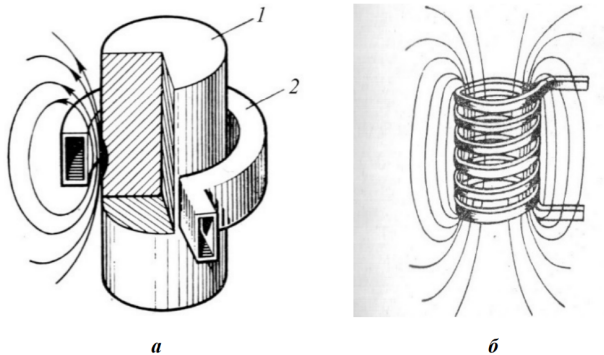


Рис. 3.4 – Кільцевий або котушковий ефект одновиткового (*а*) та багатовиткового (*б*) індуктора:
1 – деталь; *2* – індуктор

Зварювання СВЧ широко застосовують при виробництві труб на спеціальних станах з різними схемами нагрівання. Зварюють труби різного діаметра: труби малого (10...219 мм), середнього (220...530 мм) та великого (більше 530 мм) діаметрів.

На рис. 3.5 показано схему радіочастотного зварювання котельних труб зі спіральним ребром для колектора суднового котла.

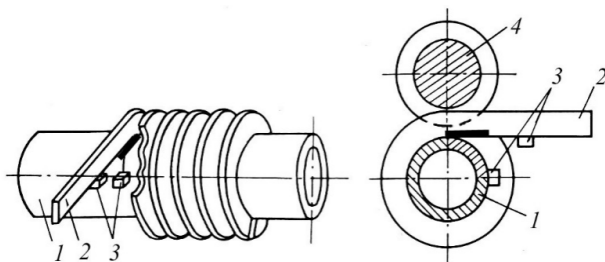


Рис. 3.5 – Схема радіочастотного зварювання котельних труб зі спіральним ребром:

1 – труба; 2 – стрічка ребра; 3 – ковзний струмопровід; 4 – притискний ролик

Для зварювання використовують частоту 440 кГц. Розігрітий у місці сходження метал труби і стрічки при стишканні зварюється. Струм підводять за допомогою ковзних контактів, розташованих на відстані 40...50 мм від точки сходження ребра і труби. При зварюванні трубі надається рух уздовж і обертальний навколо осі труби. Під прямим кутом до утворюючої труби подається стрічка 2, яка роликом 4 притискається до труби.

Найбільш широко застосовується зварювання труб з оплавленням. Розплавлений метал видаляється із зони з'єднання при осадці. З'єднання утворюється між поверхнями, які знаходяться в твердому стані. Температура нагрівання досягає $150 \cdot 10^3$ °C, осадка складає 2,5...6,0 мм, швидкість осадки 2000 мм/с. Зварювання відбувається без газового захисту.

Устаткування, прилади, інструменти і матеріали

1. Установка УДСВ-ДТ для дифузійного зварювання з високочастотним генератором ЛПЗ-2-67.
2. Термопари хромель-алюмель та прилади контролю температури.

3. Циліндричні зразки СтЗ діаметром і висотою по 25 мм з глухим отвором діаметром 2 мм по осі на глибину 12 мм для термопари.

4. Комп'ютер для запису температури на поверхні і по осі зразка.

5. Підготовлений зразок для дослідження мікроструктури з'єднання котельної труби зі спіральним ребром після радіочастотного зварювання, як показано на рис. 3.5.

6. Інструмент слюсарний, абразивний папір, полірувальна паста, ацетон, серветка.

7. Реактиви для травлення мікрошліфа і виявлення якості зварного з'єднання.

8. Мікроскоп «NEOPHOT-21».

Порядок виконання роботи

1. Вивчити суть і особливості нагрівання циліндричного зразка.

2. Установити термопари на поверхні і по осі зразка.

3. Встановити циліндричний зразок в індуктор.

4. Забезпечити вакуум $1 \cdot 10^{-2}$ Па в робочій камері.

5. Після нагрівання зразок охолоджувати у вакуумній камері із записом температур як при нагріванні, так і при охолодженні.

6. Проаналізувати криві зміни температур.

7. Виготовити мікрошліфи з'єднання котельної труби зі спіральним ребром і визначити якість радіочастотного зварювання по мікроструктурі.

8. Аналізувати результати досліджень.

9. Оформити звіт по роботі.

Контрольні питання

1. На яких законах ґрунтується нагрівання металу струмами високої частоти?

2. Як впливає частота струму на глибину проникнення струмів?

3. Як впливає частота струму на глибину проникнення для різних матеріалів і температур?

4. Запишіть температури нагрівання й охолодження зразка Ст3 при температурах 20 і 840 С. Чи суттєво відрізняються термоцикли і чому?

5. Як ви оцінюєте по мікроструктурі якість радіочастотного зварювання котельних труб з ребром?

6. Чи вважаєте Ви необхідним змінити параметри радіочастотного зварювання котельних труб?

7. Назвіть три групи способів зварювання струмами високої частоти та необхідність захисту з'єднань при зварюванні.

8. Чому нагрівання струмами високої частоти широко застосовують при дифузійному зварюванні у вакуумі?

9. Основні вузли установки УДСВ-ДТ.

10. Сучасні генератори струмів високої частоти.

11. Який спосіб зварювання труб струмом високої частоти застосовують без газового захисту?

12. Які способи зварювання струмом високої частоти вимагають газового захисту?

13. Як ви оцінюєте якість радіочастотного зварювання котельних труб зі спіральним ребром за мікроструктурою з'єднання?



Лабораторна робота № 4

Зварювання тертям

Мета роботи – ознайомитись з технологією зварювання. Провести металографічні дослідження зварних зразків на мікроскопі «NEORHOT-21» та ознайомитись з обладнанням для зварювання тертям.

Загальні відомості

Зварювання тертям – спосіб зварювання тиском, при якому механічна енергія, що підводиться до однієї із зварюваних деталей, перетворюється в теплову внаслідок тертя з'єднуваних поверхонь під час обертання або зворотньо-поступального руху однієї поверхні відносно іншої.

Зварювання тертям зазвичай застосовується при виготовленні деталей, які мають форму тіл обертання. Можливі варіанти зварювання показані на рис. 4.1.

Таким чином у стику діє внутрішнє джерело теплової енергії, що викликає швидкий локальний нагрів невеликих об'ємів металу. Метал, ставши пластичним, у процесі тертя витискується із стику в радіальних напрямках під дією осьового зусилля. Втиснений метал має форму правильного здвоєного кільця, симетрично розташованого по дві сторони плоского стику. Оксидні плівки на поверхнях з'єднуємих деталей, руйнуються і видаляються з витисненим металом. Після нагрівання до пластичного стану відносно переміщення деталі миттєво припиняють і стискають їх зусиллям

осадки. Чисті (ювенільні) поверхні деталей зближують на міжатомні відстані.

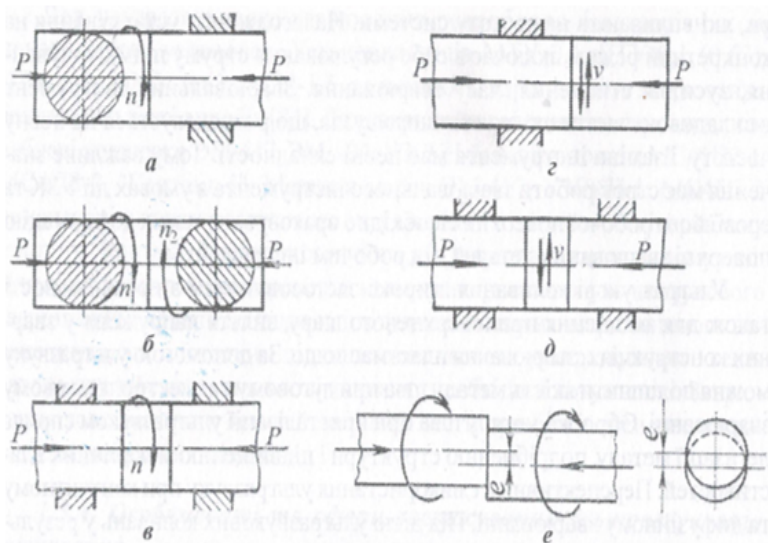


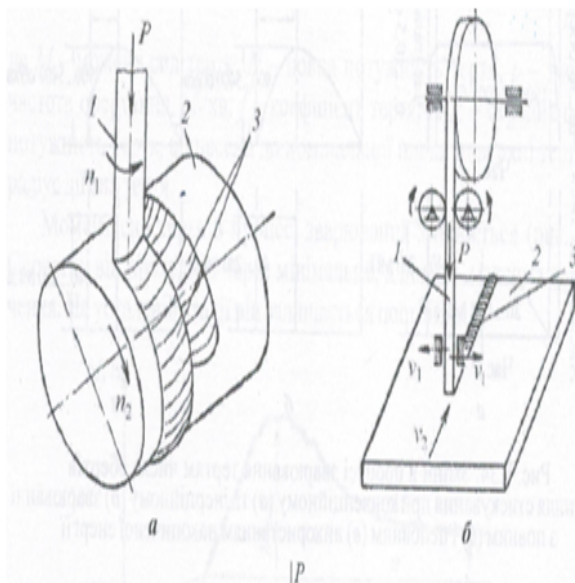
Рис. 4.1 – Схеми процесів зварювання тертям:

- а** – з обертанням однієї з деталей; **б** – з обертанням двох деталей у різні сторони; **в** – з обертанням вставки; **г** – з вібрацією однієї з деталей; **д** – з вібрацією вставки; **е** – із синхронним обертанням в одну сторону двох деталей, осі яких зміщені на відстань e .

Частота відносного перемішування деталей, величина осьового зусилля при нагріванні і проковуванні, величина осаджування і тривалість прикладеного зусилля проковування є основними параметрами режиму зварювання.

Розроблено також інший різновид зварювання тертям, який має назву інерційного зварювання. Його суть полягає в тому, що механічна енергія спочатку передається електродвигуном маховику для накопичення, а потім віддається маховиком у стик зварювання деталей, де перетворюється в теплову.

Розроблено також спосіб зварювання тертям з перемішуванням металу. Схему процесу зварювання металів показано на рис. 4.2. При цьому використовується зварювальний інструмент зі штирем 5 спеціальної форми довжиною на всю товщину листа. Інструмент обертається зі швидкістю до 15000 об./хв і переміщується вздовж стику. Штир 5 проникає в метал до торкання заплічниками інструмента поверхні зварюваних деталей і подрібнює метал крайок листів. Унаслідок тертя штиря і заплічників з металом виділяється теплота, яка доводить подрібнений метал навколо інструмента до пластичного стану. Знаходячись між основним металом, підкладкою і заплічниками, під тиском метал спікається. Під час руху інструмента вздовж стику він утворює зварне з'єднання. Цей спосіб знайшов використання для зварювання алюмінію та його сплавів.



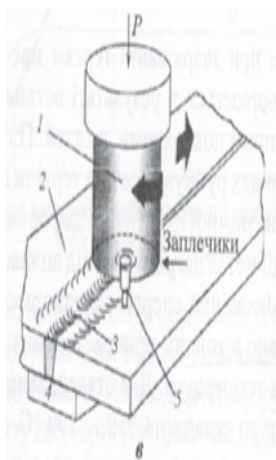


Рис. 4.2 – Схема процесу зварювання тертям з перемішуванням:

- 1 – зварювальний інструмент; 2 – лист металу; 3 – зварний шов;
4 – масивна підкладка; 5 – штир спеціальної форми

Зварювальне устаткування

Основні конструктивні схеми машин звичайного виконання та інерційних подібні. Спільними конструктивними вузлами і системами в них є передня бабка з обертовим затискачем, супорт з затискачем, що не обертається, привід зусиль нагріву і проковки, привід обертання шпинделя, система керування.

У машинах для інерційного зварювання тертям у ролі приводу обертання шпинделя застосовують маховик (або сукупність маховиків), який розганяють до заданої частоти обертання, і накопичена в маховику енергія в процесі його гальмування в формі тепла розсіюється в стику зварюваних деталей. Машини для інерційного зварювання характеризуються високою продуктивністю при малій енергоємності.

Конвенційний процес зварювання тертям забезпечує високоякісне і стабільне з'єднання при простій схемі керування. Машини для інерційної зварювання широко розповсюджені в США і, в деякій мірі, в Японії.

За ступенем механізації і автоматизації машини для зварювання тертям можна розділити на автомати і напівавтомати. Власне процес зварювання (нагрів, проковка) у всіх машинах для зварювання тертям здійснюється автоматично.

За призначенням машини для зварювання тертям діляться на машини загального застосування і спеціалізовані. Машини загального застосування (універсальні) мають можливість регулювання параметрів режиму в широкому діапазоні частоти обертання.

Спеціалізовані машини призначені для зварювання заготовок одного найменування (наприклад, клапанів двигунів внутрішнього згоряння, автомобільних карданных валів, заготовок різальних інструментів) або груп однотипних заготовок, близьких за розмірами. Такі машини можуть бути як напівавтоматами, так і автоматами.

До основних вузлів і систем сучасних конвенційних машин для зварювання тертям відносяться: привід осьового зусилля; привід обертання шпинделя; передня бабка зі шпинделем і затискачем для обертання заготовки; задня бабка з затискачем для необертаючої заготовки; гальмівна система шпинделя; станина машини; система керування процесом зварювання машиною.

У машинах для інерційного зварювання тертям, крім того, є маховик, основним призначенням якого є акумулювання кінетичної енергії.

Привід осьового зусилля. Привід зусилля призначений для зближення заготовок перед зварюванням і забезпечення змін осьового зусилля за заданою програмою «нагрів-проковка». За допомогою приводу осьового зусилля забезпечується зміна зусилля від зусилля «нагріву» до «проковки» і підтримується стабільною кожна з цих величин протягом заданого часу.

У машинах для зварювання тертям знаходять застосування пневматичні, пневмогідравлічні та електромагнітні приводи зусилля.

У місті Миколаєві в даний час устаткування для зварювання тертям відсутнє, а цей спосіб використовується і для зварювання пластмас, тому моделювання процесу проводиться на циліндричних зразках з пластмаси з використанням токарного верстата. На металічних зразках зварювання тертям не припустимо, оскільки токарні верстати не мають упорного підшипника і при зусиллі виходять із ладу. При нагріванні тертям пластмаси зусилля малі.

Для миттєвої зупинки відносного переміщення зразків їх установлюють у нерухомому затискачі на шпонці, видалення якої дозволяє продовжувати рух зразка разом з рухо- мим затискачем.

Устаткування, прилади, інструменти і матеріали

1. Токарний верстат.
2. Циліндричний зразок діаметром 10 мм з пластмаси.
3. Штанген-циркуль для контролю розмірів зразків до і після зварювання.
4. Металічні циліндричні зразки з'єднань після зварювання тертям (однорідні і різнорідні).
5. Мікроскоп «NEOPHOT-21».
6. Мікротвердометр ПМТ-3.
7. Реактиви для травлення мікрошліфів.

Порядок виконання роботи

1. Вибрати режим зварювання тертям пластмасових зразків.
2. Зварити зразки діаметром 10 мм.
3. Виготовити мікрошліфи та сфотографувати на мікроскопі «NEOPHOT-21».
4. Провести дослідження мікрошліфів.

Контрольні питання

1. Суть зварювання тертям деталей циліндричної форми (канонічний спосіб).
2. Суть інерційного зварювання тертям.
3. Зварювання тертям з перемішуванням.
4. Для яких металів використовується зварювання тертям з перемішуванням?
5. Чим відрізняються макрошліфи зварних з'єднань при зварюванні тертям однорідних і різнорідних металів?
6. Суть зварювання тертям із синхроним обертанням в одному напрямку двох деталей, осі яких зміщені на невелику величину.
7. Яким чином можна підвищити міцність і пластичність з'єднань при зварюванні тертям?
8. Основні складові установки для зварювання тертям з перемішуванням.
9. Основні складові установки для інерційного зварювання тертям.
10. Застосування зварювання тертям з перемішуванням.
11. Для яких металів застосовують зварювання тертям з перемішуванням і можливість зварювання сталей?
12. Параметри режиму зварювання тертям канонічного способу.
13. Які умовні стадії зварювання тертям циліндричних деталей реалізовано при зварюванні тиском?
14. Яким чином можна забезпечити міцність і пластичність з'єднань при зварюванні тертям за канонічною схемою?

Лабораторна робота № 5

Дифузійне зварювання у вакуумі

Мета роботи – вивчити суть, можливості і переваги дифузійного зварювання у вакуумі та сфери застосування.

Загальні відомості

Дифузійне зварювання – це зварювання у твердому стані, здійснюване за рахунок взаємної дифузії атомів контактуючих деталей при дії підвищеної температури і незначній пластичній деформації.

З'єднання утворюється в результаті спільної дії температури T і тиску P протягом певного часу t .

Дифузійне зварювання застосовують для з'єднання як однорідних, так і різнорідних матеріалів. Температура зварювання в більшості випадків складає 0,6...0,8 температури плавлення (за шкалою Кельвіна).

Зближення поверхонь на міжатомні відстані відбувається за рахунок деформації повзучості. Зварювання більшості матеріалів ведуть у вакуумі 10^{-2} Па.

При з'єднанні однорідних матеріалів параметри режиму зварювання можуть бути розраховані, виходячи з умов утворення фізичного контакту при повзучості та об'ємній взаємодії. Тривалість утворення фізичного контакту визначається залежно від тиску і температури зварювання. У випадку зварювання різнорідних матеріалів необхідно враховувати тривалість процесу активації більш твердого

матеріалу, а також можливість утворення крихких проміжних фаз, що вимагає жорсткого контролю дифузійних процесів. Дифузійну взаємодію матеріалів, які з'єднуються, можна розрахувати за рівняннями для дифузії в напівнескінченне тіло або з обмеженого джерела дифузії при ДЗВ з прошарком.

Дифузійне зварювання виконують за двома схемами: без проміжних прокладок і з проміжними прокладками. При зварюванні різнорідних матеріалів, які значно відрізняються за своїми властивостями, наприклад, температурними коефіцієнтами лінійного розширення (ТКЛР), застосування високопластичних прокладок із нікелю, міді, алюмінію дозволяє знизити рівень напружень у з'єднанні. Прокладки дозволяють отримати зварні з'єднання без утворення крихких інтерметалідних фаз між різнорідними матеріалами, знизити температуру зварювання однорідних матеріалів тощо.

Товщина проміжного шару може бути різною. При цьому прошарок може цілком змінювати свій склад за рахунок дифузії або зберігатися в стику, що необхідно при зварюванні матеріалів з різними властивостями або металів, що утворюють крихкі з'єднання. Склад металу в зоні зварювання за рахунок дифузійних процесів наближається до складу основного металу. Цей процес широко застосовується при з'єднанні жароміцних ливарних нікелевих сплавів та інших матеріалів, які не зварюються плавленням і призначені для роботи при високих температурах та значних навантаженнях.

В НУК ім. адмірала Макарова розроблено технологію з'єднання жароміцних нікелевих сплавів із застосуванням проміжних прокладок, які розплавляються і витісняються після змочування поверхонь. Використання таких прокладок (прошарків) дозволяє зменшити тиск і пластичні

деформації, полегшує видалення оксидних плівок, підвищує надійність з'єднань. Мікроструктуру таких з'єднань показано на рис. 5.1.

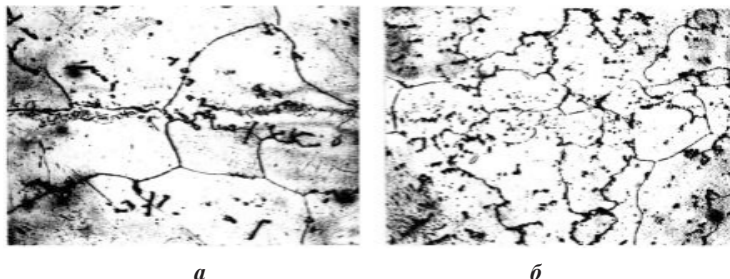


Рис. 5.1 – Мікроструктура дифузійнозварного з'єднання сплаву ЭП539МЛУ (проміжний прошарок – фольга цирконію, тиск – 15 МПа, температура – 1185 °С) залежно від тривалості процесу:
a – витримка – 3 хв; $\times 300$; *б* – 6 хв; $\times 200$ (зменшено при друкуванні в 1,5 рази)

При використанні фольги цирконію вона розплавляється внаслідок контактно-реактивної взаємодії з жароміцним сплавом та утворення евтектики.

Підвищена концентрація елементів у прошарку може бути знайдена за допомогою локального рентгеноспектрального мікроаналізу, а при мікроструктурному аналізі звичайно не виявляється. При перерахуванні на початковий склад прошарку його товщина складає частки мікрометра.

Іншим варіантом є використання прокладок, які не розплавляються, але забезпечують у контакті деформації зсуву за рахунок зміни об'єму при структурних перетвореннях.

Дослідження показали, що при дифузійному зварюванні з прокладками, які знаходяться в різному з основним металом структурному стані, можна зменшити тиск зварювання в 1,5...2 рази при однакових температурах. Інтенсифікація процесів з'єднання відбувається за рахунок розвитку

в стику деформацій зсуву, що забезпечують як утворення фізичного контакту, так і активацію поверхонь.

Параметри режимів дифузійного зварювання у вакуумі деяких матеріалів наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Параметри режимів дифузійного зварювання у вакуумі деяких матеріалів

№ п/п	З'єднувані матеріали	Температура $T, ^\circ\text{C}$	Тиск $p, \text{МПа}$	Час $t, \text{хв}$	Вакуум, Па
1	Сталь 45 + 45	1000...1050	20...15	5	10^{-1}
2	Чавун СЧ15 + СЧ15	800	30	20	10^{-2}
3	Чавун СЧ10 + Ст3	850	10	10	$10^{-1} \dots 10^{-2}$
4	Чавун СЧ15 + 14Х17Н2	900	15	15	$10^{-1} \dots 10^{-2}$
5	12Х2Н4А + 12Х2Н4А 30ХГСА + 30ХГСА	1150...1180	10	12	10^{-3}
6	20Х13 + 20Х13	900...950	15	10	10^{-2}
7	Сталь Р18 + Р18	1100	10	5	10^{-1}
8	Сталь 45 + Р18	1000	20	5	$6,5 \cdot 10^{-2}$
9	45Х14Н14В2М + 45Х14Н14В2М	1080	17	10	10^{-3}
10	12Х18Н10Т + 12Х18Н10Т	1000	20	10	10^{-3}
11	12Х18Н9Т + 12Х13	1050	15	20	10^{-1}
12	Твердісплави(ВК8, ВК20, ТС30ХН тощо) + мартенситні сталі(5ХНВ, 18Х2Н4ВА, 5ХГСВ тощо)	1050...1120	15...12	12...10	10^{-1}
13	Сталь Э10 + Х18Н10Т	1100	15	15	10^{-1}
14	Сталь Э10 + Бр.Х0,8	1000	10	30	10^{-1}
15	Жароміцні сплави: ХН80ТБЮА + ХН65ВМТЮ	1200	20	20	10^{-1}
	ХН80ТБЮА + ХН80ТБЮА	1200	20	6	10^{-1}
	ЖС6У + ЖС6У	1140...1200	40...7	30...10	10^{-2}
16	Мідь + Мідь	850...880	8...5	20	10^{-2}
17	Мідь + Нікель	900	13...15	20...30	10^{-2}
		400	10	20	10^{-1}
18	Мідь + Zn + Алюміній	540...510	5...7	15...20	10^{-1}
19	Титанові сплави: ВТ5-1 + ВТ5-1	1000	5	5	10^{-1}
	ОТ4 + ОТ4	900	5	30	10^{-2}
		960	2	30	10^{-2}
20	Молибден + Молибден	1700	10	5	10^{-2}
21	Вольфрам + Вольфрам	2200	20	15	10^{-2}
22	Ніобій + Ni + Ніобій	1000	20	30	10^{-1}
23	Титан + Графіт	950	7	20	10^{-1}
24	Титановий сплав, пористий + компактний	850	5	20	10^{-1}
		950	2,65...5	40	10^{-1}

Устаткування, прилади, інструменти і матеріали

1. Установка УДСВ-ДТ для дифузійного зварювання з високочастотним ламповим генератором ЛПН-2-67.
2. Термопары хромель-алюміній.
3. Циліндричні зразки з низьковуглецевих, високолегових сталей, жароміцних нікелевих сплавів діаметром 12...15 мм і висотою 30 мм.
4. Прилади контролю температури, вакууму, деформації.
5. Комп'ютер для запису всіх перерахованих параметрів.
6. Джерело енергії для точкового приварення термопар до зразків.
7. Слюсарний інструмент, абразивний папір, полірувальна паста, ацетон, серветка.
8. Реактиви для хімічного травлення мікрошліфів.
9. Мікроскоп «NEOPHOT-21».

Порядок виконання роботи

1. Вивчити суть і особливості дифузійного зварювання у вакуумі.
2. Вивчити правила роботи на установці УДСВ-ДТ із генератором струму високої частоти.
3. Робота на установці із приладами виконується під контролем завідувача лабораторії.
4. Підготувати установку УДСВ-ДТ і генератор до роботи.
5. Підготувати зразки для установки термопар у робочу вакуумну камеру.
6. Вибрати параметри режиму зварювання обраних матеріалів.
7. Після зварювання й охолодження зразки вийняти з робочої камери.
8. Виготовити мікрошліфи з'єднання і за мікроструктурою визначити якість зварювання.

9. Проаналізувати записи результатів і параметрів режимів зварювання.

10. Оформити звіт по роботі.

Контрольні питання

1. Підготовка поверхонь зразків до ДЗВ.
 2. Основні параметри режимів ДЗВ.
 3. Як вимірюється вакуум у робочій камері?
 4. Як вимірюється температура при нагріванні зразків?
 5. Який діаметр індуктора і скільки витків?
 6. Як була розподілена температура подовженого зразка?
 7. Яка величина деформації по діаметру і довжині зразка при ДЗВ?
 8. Як підтримувались параметри режиму ДЗВ?
 9. Чи задоволені Ви результатами ДЗВ і вибраними параметрами режиму?
 10. Яка роль проміжних прокладок при ДЗВ?
 11. Прокладки високопластичні в твердому стані.
 12. Проміжні прокладки, які розплавляються при ДЗВ.
 13. Які прокладки, що розплавляються, використовуються при ДЗВ жароміцних нікелевих сплавів.
 14. Назвіть три умови стадії дифузійного зварювання у вакуумі.
 15. У міжнародній літературі поширений термін TLP-Bonding жароміцних нікелевих сплавів. Що він означає?
-

Лабораторна робота № 6

Плазмове зварювання і різання металів

Мета роботи – вивчити суть плазмового зварювання і різання, характеристики якості різання; ознайомитися з машинами «Кристалл-ПЛ-2.5» (ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект») та «NUMOREX» і «TELEREX» для різання під водою (суднобудівне підприємство «Океан»).

Загальні відомості

Плазмове зварювання і різання здійснюється стиснутою дугою (струменем) шляхом використання вузького каналу, який обмежує дугу, та інтенсивного охолодження газового потоку стовпа дуги.

Плазма – високоіонізований газ із високою концентрацією заряджених частинок, що мають практично однакові кількості позитивних та негативних зарядів. Хаотичний рух частинок переважає їх упорядкований рух в електричному полі. Температура плазми досягає 15 000...30 000 °С.

Розрізняють зварювання плазмової та плазмово-дугової дії. У першому випадку (рис. 6.1,*a*) активні плями дуги знаходяться на електроді і внутрішній або бічний поверхні сопла плазмотрона – це стиснута дуга непрямої дії. У цьому випадку теплота передається до деталі, що зварюється, за рахунок теплопровідності матеріалу, конвекції або випромінювання стисненої дуги, ККД у середньому становить 10...30 %.

При нагріванні стиснутою дугою прямої дії (рис. 6.1,б) до перерахованих механізмів теплопередачі додається передача енергії зарядженими частинками, що рухаються в електричному полі. Процес зварювання за цією схемою прийнято називати плазмово-дуговим, оскільки плазмовий струмінь поєднаний зі стовпом дугового розряду. Ефективний ККД такої стиснутої дуги становить 65...75 % і більше. Максимальна щільність теплового потоку на деталі на порядок вища порівняно зі стиснутою дугою непрямої дії. Допустима електрична та теплова потужності за інших рівних умов вище, що зумовлено відсутністю активної плями в каналі сопла плазмотрона. Стійкість сопла та стабільність горіння стиснутої дуги прямої дії так само вищі.

Основною перевагою стиснутої дуги є її підвищена просторова стійкість. Знижено можливість блукання активної плями по поверхні деталі через стабілізуючу дію плазмоутворюючого газу, що сприяє поліпшенню формування шва.

Як плазмоутворюючі гази використовують аргон, гелій, вуглекислий газ, повітря, кисень, азот, водень. При зварюванні в більшості випадків застосовують аргон, який має надійні захисні властивості та забезпечує високу стійкість електрода. Теплоємність і теплопровідність аргону менші, ніж в інших газів, тому дуга в ньому має нижчу напругу, що особливо важливо при ручному зварюванні.

Цінною властивістю стиснутої дуги є мала чутливість глибини проплавлення і ширини шва до зміни відстані між соплом і деталлю, що зварюється (в межах 4...8 мм) при зносі вольфрамового електрода. Енергетичні можливості стислих дуг обмежені можливістю виникнення аварійного режиму роботи плазмотрона – подвійного дугоутворення. Збільшення сили струму стиснутої дуги

до певного значення стовп дуги розпадається, утворюючи каскад дуг (рис. 6.2). Зовнішнє подвійне дугоутворення проявляється в тому, що замість однієї дуги, яка горить між електродом, що не плавиться, і деталлю, горять дві дуги: між неплавким електродом і соплом, а також між соплом і деталлю. Для боротьби з подвійним дугоутворенням застосовують конструктивні прийоми.

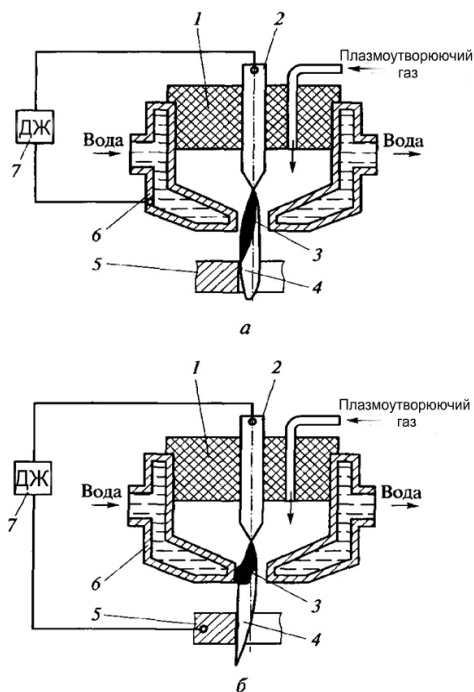


Рис. 6.1 – Схеми зварювання незалежним плазмовим струменем (а) та плазмово-дугового зварювання (б):

1 – ізолятор; 2 – електрод, що не плавиться; 3 – дуга; 4 – плазмовий струмінь; 5 – деталь; 6 – сопло; 7 – джерело живлення дуги

Наприклад, на деякій відстані від каналу в сопло встановлюють вставку з вольфраму, що трохи виступає

з торцової площини сопла. Дуга фіксується на вставці через меншу приелектродну напругу на вольфрамі, ніж на міді, з якої виготовлено сопло. В результаті сопло не руйнується.

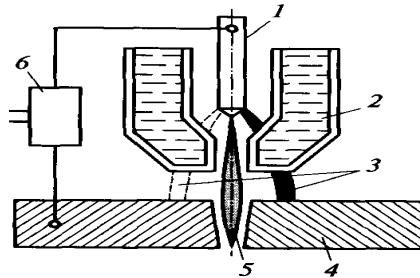


Рис. 6.2 – Схема подвійної дуги при плазово-дуговому зварюванні:
1 – електрод, що не плавиться; 2 – сопло;
3 – другі «вільні» дуги; 4 – деталь; 5 – перша плазмова стиснута дуга; 6 – джерело живлення дуг

Плазмове зварювання застосовують для виготовлення деталей з нержавіючих сталей, титану, нікелевих сплавів та інших металів. Найбільш поширене зварювання стиснутою дугою прямої дії. Плазмова дуга забезпечує зварювання з глибокою і вузькою зоною проплавлення. Як плазмоутворюючі гази використовують суміші аргону з 5...8 % водню, а при зварюванні активних металів – аргон або його суміші з гелієм. Найбільш ефективно застосовують плазмове зварювання при стиковому з'єднанні товстих листів без обробки кромek і без присадного дроту. Для малих товщин (до 2 мм) застосовують мікроплазмове зварювання в безперервному або імпульсному режимі дугою прямої полярності.

Особливість джерел живлення плазмової дуги – високі напруги холостого ходу. Для плазмового різання не до-

пускається більше 500 В для автоматичного, 300 В для механізованого та 180 В для ручного різання.

При плазмовому різанні використовують стислу електричну дугу, яку обдуває газ. Дуга виникає між двома електродами, а метал, що розрізається, в електричний ланцюг не підключений. Обдуваючи дугу, газ нагрівається та іонізується. Заряджені частинки формуються у щільний потік плазми з температурою до 15000. Вплив висококонцентрованого потоку плазми на метал призводить до його локального розплавлення та видування рідкого металу цим потоком. Пристрій для формування плазмового струменя – плазмотрон – має два основні вузли: електродний та сопловий. Стиснення дуги проводиться соплом, потоком газу, інколи і зовнішнім магнітним полем.

Різання ведуть при мінімальному зазорі між соплом і металом, у деяких випадках навіть торкаючись торцем сопла поверхні металу. Різ виходить дуже вузький, рівний у верхній частині каналу сопла. У нижній частині ширина різку менша, ніж у верхній. Дугу збуджують короткочасним дотиком кінцем електрода кромки сопла, для чого в головці передбачено пристрій для осевого переміщення електрода вниз. Спочатку в сопло пускають газ, потім опусканням електрода збуджують дугу. У початкове положення електрод повертається дією пружини.

На відміну від газокисневого різання, заснованого на згорянні (інтенсивному окиснюванні) металів у струмені кисню і примусовому видаленні цим струменем утворених оксидів, *суть плазмового різання полягає у виплавленні високотемпературною плазмою металу по лінії різки та видаленні газовим струменем розплавленого або перегрітого до випаровування матеріалу.* Завдяки високій температурі плазми можна здійснювати плазмове

різання кольорових металів та їхніх сплавів, жаростійких і жароміцних сталей та сплавів, а також інших матеріалів, що погано піддаються газокисневому різанню. Плазмовий струмінь забезпечує різання також неметалічних матеріалів. Висока концентрація енергії в плазмі дозволяє вести різання з мінімальними деформаціями металу, у тому числі тонколистового.

Для різання неелектропровідних матеріалів і тонких металів застосовують незалежний плазмовий струмінь, а для кольорових металів і сплавів – плазмову дугу прямої дії. Плазмоутворюючими середовищами служать азот, його суміші з воднем, повітря, суміш азоту з киснем, вода, аміак тощо. Газові середовища повинні забезпечувати ефективне перетворення та передачу матеріалові теплової енергії дуги, одержання якісного металу в зоні різа, стійкість проти руйнування неплавкого електрода плазмотрона, економічність процесу тощо. Для різання алюмінію і його сплавів найбільше підходять нейтральні гази, наприклад аргон. При різанні інших металів використання газових середовищ на основі аргону недоцільне.

Для різання суднокорпусних сталей застосовують повітряно-плазмове різання, тобто плазмоутворюючим газом є повітря. Повітряно-плазмове різання низьковуглецевих сталей доцільне при силах струму до 300 А. При цьому воно має переваги перед газокисневим різанням сталей до товщин не більше 60 мм.

Досвід упровадження повітряно-плазмового різання показав, що при ньому відбувається насичення крайок азотом (рис. 6.3,*а*), яке при наступному зварюванні під флюсом сталей товщиною 8...14 мм призводить до утворення у швах пор. При додаванні до повітряної плазми води азотування крайок відсутнє (рис. 6.3,*б*).

Як видно з рис. 6.3, при додаванні до повітряної плазми води азотування практично відсутнє.

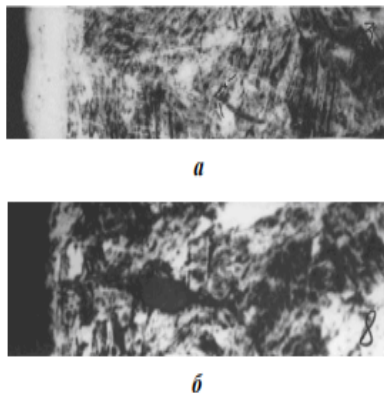


Рис. 6.3 – Мікроструктура металу після повітряно-плазмового різання з азотованою крайкою (а) і після різання з додаванням до повітряної плазми води (б)

На рис. 6.4 показано схему плазмового різання під поверхнею води.

Плазмове різання під поверхнею води на заводі «Океан» використовується на машинах NUMOREX і TELEREX. Остання забезпечує підвищення продуктивності обробки металу. Вона має два басейни, в одному з яких по чергову відбувається різання, а в другому – підготовка до різання.

На ДВ НВКГ «Зоря»-«Машпроект» використовують машину «Кристалл-ПЛ-2.5» для плазмового різання нержавіючих сталей і жароміцних сплавів.

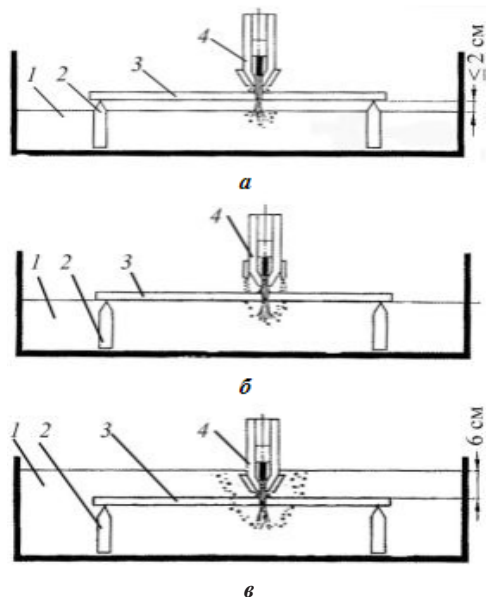


Рис. 6.4 – Схема плазмового різання під поверхню води:

1 – вода; 2 – стіл; 3 – лист металу; 4 – плазмотрон

Устаткування, інструменти, прилади і матеріали

1. Плазморізальні машини NUMOREX і TELEREX і «Кристалл-ПЛ-2.5».
2. Штангель-циркуль.
3. Профілометр цифровий.
4. Мікротвердометр ПМТ-3.
5. Мікроскоп «NEOPHOT-21».
6. Відрізний станок.
7. Шліфувальний станок.
8. Алмазні пасти № 10/7, 5/3, 2/1.
9. Реактиви для хімічного травлення мікрошліфів.
10. Спирт.
11. Серветки.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з машинами для плазмового різання.
2. Записати матеріали для різання деталей підприємства та параметри режимів різання.
3. Підготувати зразки для дослідження якості різання.
4. Підготувати зразки для визначення точності, шероховатості, перпендикулярності (клиновидності), глибини зони термічного впливу, ширини різі, кількості грату (напливи на нижній кромці металу), радіуса оплавлення верхньої кромки металу.
5. Підготувати зразки і мікрошліфи для визначення показників пункту 4.
6. Визначити структуру металу в зоні різання.
7. Записати результати аналізу.
8. Оформити звіт по роботі.

Контрольні питання

1. Що таке плазма?
2. Плазмоутворюючі гази.
3. Плазмове і мікроплазмове зварювання.
4. Суть плазмового різання матеріалів.
5. Способи плазмового різання матеріалів.
6. Формування плазмової дуги і плазмового струменя.
7. Основні показники якості різання.
8. Основні параметри режимів плазмового зварювання і різання.
9. Особливості джерел живлення для плазмових технологій.
10. Які переваги має плазмове різання на машині NUMOREX?
11. Які переваги має плазмове різання на машині TELEREX?

12. Плазмоутворюючі гази при плазмовому різанні в суднобудуванні.

13. Особливості мікроплазмового зварювання та його застосування.

14. Повітряно-плазмові різання з додаванням води в плазму та його переваги перед різанням під поверхнею води.



Лабораторна робота № 7

Електронно-променеве зварювання металів

Мета роботи – вивчити суть електронно-променевого зварювання; вивчити конструкцію установки для електронно-променевого зварювання та дослідити зварні зразки.

Загальні відомості

Сучасна техніка тісно пов'язана з використанням тугоплавких металів, високоміцних і жароміцних сталей і сплавів, кольорових металів і сплавів, а також створенням конструкцій до зварних швів, до яких пред'являються підвищені вимоги щодо щільності, міцності, пластичності, корозійної стійкості тощо.

При зварюванні тугоплавких металів зварюваний шов і зона термічного впливу можуть окрихчуватися. Крім цього низька концентрація енергії відомих джерел нагрівання не дозволяє отримувати зварні з'єднання з вузькою шириною зони термічного впливу і незначними залишковими деформаціями. Перелічені недоліки слугують причиною використання зварювання тугоплавких і активних металів на електроннопроменевих установках, що забезпечують високу питому потужність у плямі нагрівання, вакуумний захист металу шва.

Електронно-променеве зварювання (ЕПЗ) використовується не тільки для з'єднання тугоплавких і хімічно активних металів, також воно широко застосовується в енергетиці, машинобудуванні та інших галузях промисловості.

При порівнянні з відомими зварювальними процесами ЕПЗ відрізняється багатьма особливостями і перевагами. Висока концентрація енергії у промені дає можливість отримання зварних з'єднань з мінімальними розмірами зони термічного впливу, великим відношенням глибини проплавлення до ширини шва (до 20 і більше), малою питомою енергією (15...20 %) від кількості енергії, що використовується під час дугового зварювання під шаром флюсу металу однакової товщини.

Робоча відстань променевої гармати дозволяє зварювати шви різних параметрів. Взагалі робоча відстань вибирається в межах 50...120 мм для низьковольтних і 50...500 мм для високовольтних гармат. Коливання робочої відстані в процесі зварювання на декілька міліметрів не впливає на якість зварювання.

ЕПЗ виконується у вакуумі 10^{-2} Па. Склад атмосфери за кількістю шкідливих домішок в одиниці об'єму показує, що при вакуумі 10^{-2} Па парціальний тиск кисню у вакуумній камері нижчий у 10^{-7} разів, ніж у чистому аргоні. Вакуум виконує функції захисного середовища, він забезпечує більш повну дегазацію розплавленого металу, вилучення оксидів, шкідливих домішок забруднень як з поверхні зварювального металу, так і з внутрішніх шарів металу шва. Завдяки зазначеним перевагам процесу ЕПЗ стало можливим з'єднувати матеріали, зварювання яких звичайними способами не давало задовільних результатів. Загальний вигляд установки для ЕПЗ показано на рис. 7.1.

Для ЕПЗ розроблена велика кількість різноманітних за призначенням і конструкцією установок. Під назвою «установка» розуміють повний комплект апаратури, пристроїв і приладів, необхідних для виконання усіх зварювальних і допоміжних операцій під час ЕПЗ.

Основними складовими установок ЕПЗ є робоча вакуумна камера з джерелом живлення, електронно-проме-

невою гарматою, з технологічним обладнанням, приладами тощо. Установка має системи вакуумну, охолодження, контрольних приладів, керування процесом зварювання. Сучасні установки мають удосконалені гармати, які складаються із двох вузлів – катодного й анодного блоків.

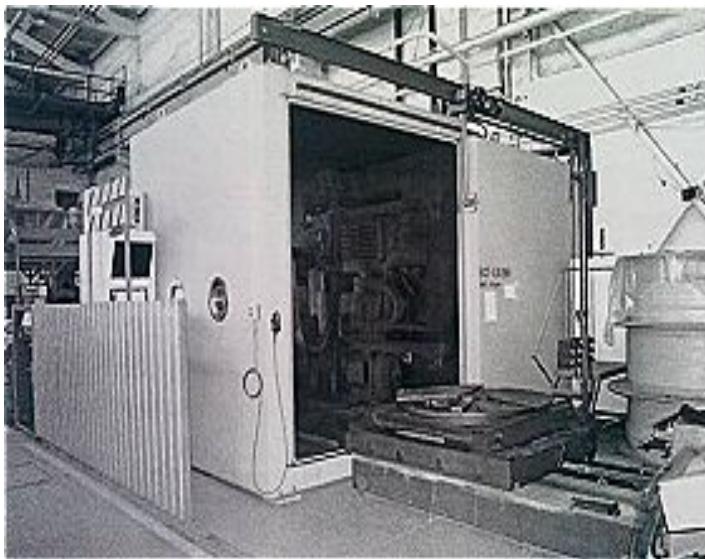


Рис. 7.1 – Установка ЕПЗ БСГ-КЛ-190
в ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект»

Гармата виконана без юстирування. Тому катодний і анодний блоки мають загальні центрувальні поверхні. Роз'єм низьковольтного живлення у вигляді малогабаритного штепсельного з'єднання встановлено на камері. Катодний блок складається із корпусу з високовольтним ізолятором. На ізоляторі змонтовані деталі протектора гармати, фокусувальний електрод, емітер, підігрівач. На кришці корпусу знаходяться введення високовольтного кабелю і монтажний отвір. Шланги подають воду в охолоджувальну оболонку.

Весь внутрішній об'єм корпусу заповнений касторовим маслом (без повітряного зазору). З метою швидкої заміни емітер-таблетка LaB6 устновлюється в тримачі. Підігрів виконаний у вигляді окремого змінного вузла (рис. 7.2).

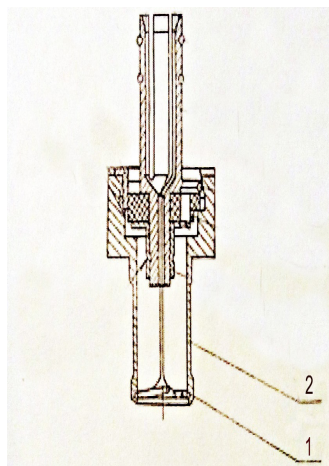


Рис. 7.2 – Нагрівач зварювальної електронної гармати у зборці:

1 – нагрівач; 2 – ізолятор; 3 – неметалева частина; 4 – корпус

Під час установки підігрівача необхідно, щоб фіксатор підігрівача співпадав з одним із прорізів на втулці ізолятора.

Гармата комплектується дев'ятьма запасними підігрівачами.

Анодний блок складається із корпусу, у середині якого розташована фокубуюча і відхиляюча котушки. Охолодження відбувається за рахунок теплопередачі через мідний корпус і корпус катодної частини. Живлення фокусувальної і відхилюючої котушок відбувається від кабеля низьковольтного живлення через герметичний роз'єм на фланці стаціонарної установки.

Корпус анодного блоку має місце для установлення змінних анодів, отвір для відкачування, а також екрани в нижній частині для захисту корпусу від розігрітої зварювальної ванни.

Під час роботи гармати з приладом «Приціл-1» нижній екран повинен бути електрично ізолюваним. Корпус гармати із зовні закривається ковпаком блокування високої напруги, при зніманні якого розмикаються усі з'єднання високої напруги.

Загальний вигляд електронної гармати показано на рис. 7.3.

Електронна гармата має катод 6, який нагрівається до високих температур і емітує електрони. Навколо катода розміщено прикатодний електрод.

В основі електронно-променевого зварювання металів лежить використання енергії, отриманої внаслідок потоку прискорених електронів на поверхні зварюваного матеріалу.

Електронно-променева гармата є джерелом потоку електронів. Для забезпечення формування інтенсивного електронного променя з високою густиною енергії використовується комбіноване електростатичне та електромагнітне фокусування, схема якого показана на рис. 7.4.

Лантаноборідна таблетка емітує потік електронів, який формується і прискорюється електростатичним полем у проміжку катод-анод, проходячи анодний отвір, попадає в поле електромагнітної лінзи 6, за допомогою якої електронний промінь фокусується на виріб. Відхилювальна котушка 7 переміщує промінь по виробу в двох взаємно перпендикулярних напрямках для спрямування його по стику зварюваного виробу.

Фокусувальна лінза 3 формує промінь в електростатичному полі шляхом подачі на електрод негативного потенціалу по відношенню до катода.

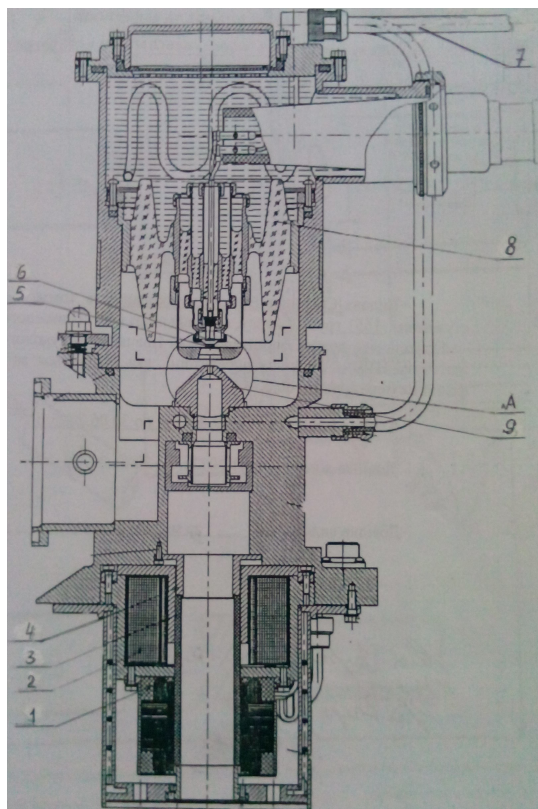


Рис. 7.3 – Загальний вигляд зварювальної електронної гармати ЕПГ-15:

1 – відхиляючі котушки; 2 – фокусуючі лінзи; 3 – неметалева частина променопровода; 4 – металева частина променопровода;

5 – катод; 6 – підігрівач катода; 7 – охолодження;
8 – високовольний ізолятор; 9 – анод; А – електрод

Фокусувальний електрод змінює густину променя аж до повного запирання гармати.

Струм потоку електронів складає до 10 А. В гарматі використовується підігрівання емітера електронної гармати (рис. 7.3). Між підігрівачем і емітером 2 прикладається прискорювальна напруга бомбардування (до 800 В).

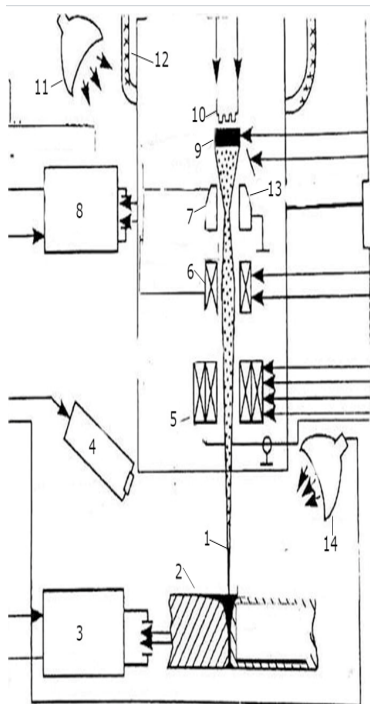


Рис. 7.4 – Схема електронно-променевої гармати:

- 1 – електронний промінь; 2 – зварювальний виріб; 3 – маніпулятор виробу;
 4 – телекамера; 5 – відхиляючі котушки; 6 – фокусуючі лінзи; 7 – анод;
 8 – маніпулятор гармати; 9 – катод; 10 – підігрівач катода; 11 – підсвічуюча
 лампа гармати; 12 – високовольтний кабель; 13 – управляючий електрод;
 14 – підсвічуюча лампа виробу.

Електронний емітований підігрівач прискорюється цією напругою і потрапляє на катод, розігріваючи його (рис. 7.6).

При вмиканні напруги бомбардування і вмиканні струму розжарювання спочатку може піднятися до 8...9 А, а потім з поступовим розігріванням катода струму розжарювання потрібно зменшити за допомогою регулятора цього струму.

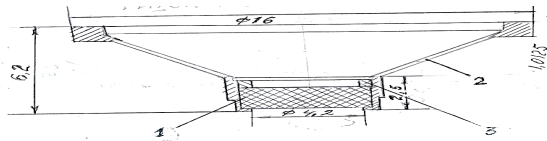


Рис. 7.5 – Катод гармати:

1 – катод; 2 – катодоутримувач; 3 – гальмує кільце

Стабілізація й обмеження струму бомбардування катода у процесі зварювання джерелом живлення ланцюга підігрівання катода.

Точні значення струму бомбардування необхідно визначити таким чином: спочатку струм бомбардування (25...40 мА; 1000...800 В) і дають підігріватися катода протягом 3–5 хв. На рис. 7.5 представлено катод гармати.

Після розігрівання катода вмикають прискорювальну напругу 20...25 кВ, повністю відпирають гармату і значно зменшують струм.

Якщо при цьому струм променя буде зменшуватися, то необхідно збільшувати струм бомбардування до тих пір, поки струм променя перестане збільшуватися.

Отримані таким чином показники струму бомбардування необхідно вважати номінальними для даного діапазону потужності.

Устаткування, прилади, інструменти і матеріали

1. Установка електронно-променевого зварювання БСГ-КЛ-190 на ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».
2. Відрізний верстат.
3. Шліфувальний верстат.
4. Металічна лінійка.
5. Металографічний мікроскоп «NEOPHOT-21».
6. Мікротвердомір ПМТ-3.

7. Алмазна паста № 7/5, 5/3, 2/1.
8. Розчин Васильєва для хімічного травлення зразків.
9. Спирт, серветки.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з роботою електронної гармати по даному матеріалу.
2. Ознайомитися з установкою для електронно-променевого зварювання на ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».
3. Записати матеріал деталей підприємства для зварювання і параметри його режиму.
4. Підготувати зразки для зварювання, структуру якого потрібно дослідити (записати матеріал і параметри режиму зварювання).
5. Підготувати зразки для дослідження макро- і мікроструктури експериментальних зразків.
6. Визначити розмір металу зварного шва, зони термічного впливу, величину зерна, наявність дефектів. Визначити мікротвердість зварного з'єднання.
7. Записати результати аналізу.
8. Оформити звіт по роботі.

Контрольні питання

1. Суть електронно-променевого зварювання.
2. Яким чином отримують електронний промінь?
3. Основні параметри режиму ЕПЗ деталей і експериментальних зразків.
4. Яка підготовка проводиться до зварювання деталі підприємства?
5. Які деталі зварюються на підприємстві ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» і марки деталей?
6. Способи контролю якості зварювання промислових деталей.

7. Принцип формування електронно-променевого променя.

8. Зварювання промислових деталей виконують вертикальним чи горизонтальним променем залежно від чого?

9. Основні складові установки для ЕПЗ.

10. Типи з'єднань при ЕПЗ.

11. В яких галузях широко застосовується ЕПЗ?

12. Спосіб підготовки деталей до ЕПЗ та їх складання.

13. Назвіть деталі ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект», які зварюють ЕПЗ.

14. Назвіть матеріали, які зварюють ЕПЗ на ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».

15. Яким чином фокусують електронний промінь?

16. Яким чином переміщується електронний промінь і відстежується по стику?



Лабораторна робота № 8

Лазерне різання металів

Мета роботи – вивчити принцип роботи лазера; ознайомитися з газолазерним комплексом «Bystar-3015-3» на ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» і дослідити якість різання.

Загальні відомості

Найбільше застосування у технологічних установках отримали електророзрядні лазери на діоксиді вуглецю CO_2 , що генерують інфрачервоне випромінювання довжиною хвилі 10,6 мкм. Для збільшення потужності до робочого газу CO_2 додають молекулярний азот (N_2) і гелій (He), тобто ці лазери використовують як активне середовище газову суміш $\text{CO}_2\text{--N}_2\text{--He}$. Молекули збуджуються поштовхами з електронами газового розряду. При цьому збудження молекул CO_2 посилюється внаслідок передачі енергії від збуджених молекул N_2 . Гелій сприяє створенню інверсної заселеності, забезпечує хороше тепловідведення від робочої суміші та стабілізує розряд. CO_2 -лазери характеризуються високим ККД (до 40 %).

Газовий розряд у робочій суміші призводить до дисоціації частини молекул діоксиду вуглецю за схемою $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$. Ефективність генерації випромінювання знижується внаслідок дисоціації, що призводить до зниження потужності випромінювання. У сучасних конструкціях CO_2 -лазерів усунення шкідливих наслідків

«псування» молекул діоксиду вуглецю часто передбачається охолодження і подача свіжої суміші газів у процесі роботи лазерної установки.

Під дією лазерного променя можливі два механізми руйнування металу – плавлення та випаровування (лазерне різання). Поверхня руйнування існує по всій товщині металу і рухається за напрямком різання.

Різання з випаровуванням металу вимагає високих енергозатрат і потужних лазерів, оскільки необхідне нагрівання матеріалів до температур кипіння, які значно перевищують температуру плавлення, плюс ентальпія кипіння. Механізм випаровування застосовують при необхідності пробивання в матеріалах отворів малого діаметра стаціонарним променем, наприклад, для виготовлення пористого матеріалу. Енергетично більш вигідним є механізм плавлення металів у зоні різання та видалення з каналу різання продуктів руйнування за допомогою динамічної дії газів. Таке різання називають *газолазерним* (ГЛР).

При ГЛР сталей та ряду сплавів як допоміжний газ застосовують кисень, який виконує три функції:

- утворюючи оксиди, сприяє зменшенню відбивання світла від поверхні металу;
- теплота екзотермічної реакції горіння металу підсилює термічну дію променя;
- струмінь кисню виносить із зони ГЛР розплавлений метал та продукти згоряння, забезпечуючи приток кисню безпосередньо до фронту реакції горіння.

Остання функція сприяє утворенню чистого, якісного різу значно більшої глибини, ніж при відсутності кисню. Принципову схему ГЛР показано на рис. 8.1.

При ГЛР залежно від кількості теплоти екзотермічної реакції окиснювання виділяють два механізми. Перший механізм характерний для металів, які загоряються нижче

температури плавлення та інтенсивно згоряють (низько- і середньовуглецеві сталі, титан, його сплави) з великим тепловим ефектом. При цьому внесок теплоти реакції горіння металу в загальний тепловий баланс значний. У такому процесі можливі два режими: керованого та некерованого (автогенного) різання. В останньому випадку метал горить за рахунок теплоти реакції металу з киснем по всій поверхні контакту зі струменем кисню. Збільшивши швидкість різання, автогенний режим можна зробити керованим.

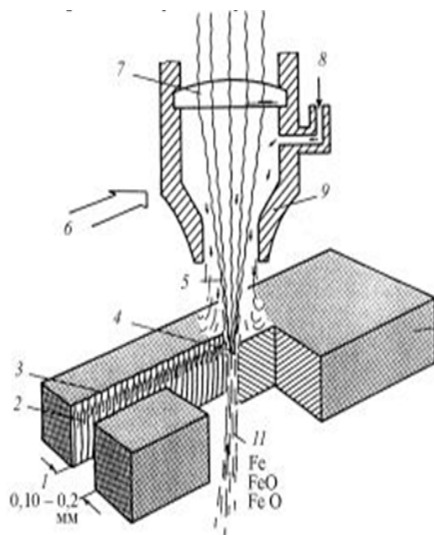


Рис. 8.1 – Принципова схема ГЛР:

- 1 – ширина різ; 2 – оксидна плівка; 3 – плівка закристалізованого металу;
- 4 – фокус лазерного променя; 5 – струмінь кисню для різання;
- 6 – напрям різання; 7 – фокусуюча лінза; 8 – подача кисню;
- 9 – сопло; 10 – основний метал; 11 – шлаковий струмінь

Другий механізм полягає в тому, що матеріал не горить, а плавиться; газовий струмінь видаляє розплав із зони різання. Цей механізм характерний для високовуглецевих та легованих сталей, міді тощо, у яких тепловий ефект горіння

малий. При цьому механізмі можна використовувати струмінь повітря, аргону тощо.

Конструкцію газолазерного різака показано на рис. 8.2.

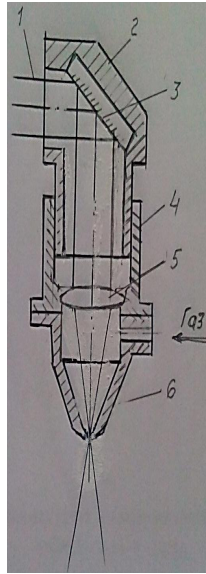


Рис. 8.2 – Конструкція газолазерного різака:

1 – лазерний пучок; 2 – корпус; 3 – дзеркало;
4 – тубус; 5 – лінза; 6 – сопло

Газодинамічні параметри газового струменя визначаються тиском p газу всередині сопла, родом газу, конструкцією сопла, умовами витікання газу з сопла.

ГЛР може виконуватись при безперервному або імпульсно-періодичному випромінюванні. Використання того або іншого випромінювання при різанні має ті ж особливості, що і при зварюванні. Імпульсно-періодичне випромінювання дозволяє зменшити необхідні потужності лазера, але його продуктивність значно нижча, ніж при безперервному випромінюванні. Цим зумовлене широке

впровадження у виробництво ГЛР з безперервним випромінюванням. Імпульсні лазери доцільно використовувати для різання кольорових металів з високими теплопровідністю та коефіцієнтом відбивання світла, металів малих товщин з високими вимогами до точності різання.

Основні параметри режимів різання пов'язані з характеристиками випромінювання та аналогічні параметрам режимів зварювання. *Серед основних факторів, які визначають продуктивність і якість різання, слід відзначити потужність і щільність потужності випромінювання, швидкість різання, тиск і склад допоміжного газу, відстань від зрізу сопла до поверхні матеріалу та здатність поверхні поглинати випромінювання, вид, склад і властивості матеріалу.*

Якість різання визначають наступні показники: *точність, шорсткість R_z , неперпендикулярність (клиновидність) j , глибина зони термічного впливу (ЗТВ) $b_{ЗТВ}$, ширина різку b , відставання лінії різку, кількість грата (напливи на нижній кромці металу), радіус оплавлення верхньої кромки R* (рис. 8.3).

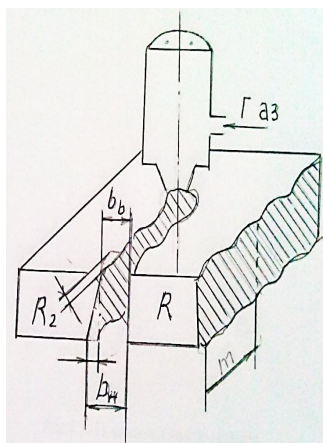


Рис. 8.3 – Показники якості різання

Найважливішими параметрами, які визначають розмірні характеристики різку, є потужність P , щільність потужності P/F та швидкість різання V_r . Зручними для користування є параметри P/V_r та P/h (h – глибина прорізання металу; V_r – швидкість різання).

Ширина різку зменшується зі зменшенням діаметра сфокусованого променя. Висока якість поверхні різку різних металів забезпечується при певних співвідношеннях між швидкістю різання і щільністю потужності випромінювання. Висота шорсткості теж залежить від швидкості різання.

Устаткування, прилади, інструменти і матеріали

1. Установка лазерного різання «Bystar-3015-3» на ДПН ВКГ «Зоря»-«Машпроект».
2. Відрізний станок.
3. Профілометр цифровий.
4. Шліфувальний станок.
5. Металографічний мікроскоп «NEOPHOT-21».
6. Алмазні паста № 10/7; 5/3; 2/1.
7. Реактиви для хімічного травління зразків.
8. Спирт.
9. Серветки.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з лазерним комплексом «Bystar-3015-3».
2. Записати матеріал для різання деталей підприємства і параметри режиму.
3. Записати матеріали для різання експериментальних зразків і режим різання.
4. Підготувати зразки для дослідження якості різання.

5. Зробити фото мікроструктури зони термічного впливу.

6. Визначити величину шорохуватості та вплив на неї швидкості різання.

7. Записати результати аналізів.

8. Оформити звіт по роботі.

Контрольні питання

1. Чим відрізняється лазерний промінь від сонячного?

2. Що означає поняття «когерентний промінь»?

3. Що значить «монохроматичний промінь»?

4. У чому полягають переваги лазерного різання порівняно з іншими способами термічного різання?

5. Суть способів лазерного різання (лазерне і газо-лазерне).

6. Як впливає швидкість різання на величину шорсткості?

7. Як зменшити ширину різання?

8. Гази, які використовують при лазерному різанні.

9. Типи з'єднань при лазерному зварюванні.

10. Коефіцієнт корисної дії (ККД) газових лазерів.

11. Роль азоту, гелію, CO_2 в газовій суміші газових лазерів.

12. Роль тліючого розряду в газовому лазері.

13. Роль охолодження газової суміші в газовому лазері.

14. Перспективи розвитку лазерної техніки, напівпровідникові лазери.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
<i>Лабораторна робота № 1. Холодне зварювання металів.....</i>	<i>5</i>
<i>Лабораторна робота № 2. Обладнання для зварювання у вакуумі</i>	<i>11</i>
<i>Лабораторна робота № 3. Зварювання струмами високої частоти.....</i>	<i>25</i>
<i>Лабораторна робота № 4. Зварювання тертям.....</i>	<i>34</i>
<i>Лабораторна робота № 5. Дифузійне зварювання у вакуумі.....</i>	<i>41</i>
<i>Лабораторна робота № 6. Плазмове зварювання і різання металів.....</i>	<i>47</i>
<i>Лабораторна робота № 7. Електронно-променеве зварювання металів</i>	<i>57</i>
<i>Лабораторна робота № 8. Лазерне різання металів.....</i>	<i>67</i>



ДЛЯ ЗАДАТОК

Навчальне видання

ПЕТРЕНКО Леонід Михайлович
КВАСНИЦЬКИЙ Вячеслав Федорович

**ЗБІРНИК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З КУРСУ
«СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ»**

Навчальний посібник

Комп'ютерне верстання *В. В. Москаленко*
Коректор *О. Є. Вакула*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 4,4. Тираж 100 прим. Вид. № 26. Зам. № 2309-30.
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail : publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.