

В. І. Савуляк, С. А. Заболотний

ЗВАРЮВАННЯ

ВСТУП ДО ФАХУ



**Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет**

В. І. Савуляк, С. А. Заболотний

ЗВАРЮВАННЯ. ВСТУП ДО ФАХУ

Навчальний посібник

**Вінниця
ВНТУ
2015**

УДК 621.791(075)
ББК 30.616я73
С13

Автори:

В. І. Савуляк, С. А. Заболотний

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Зварювання». Лист № 1/11-19747 від 15.12.2014 р.

Рецензенти:

О. В. Диха, доктор технічних наук, професор

А. П. Поляков, доктор технічних наук, професор

В. А. Матвійчук, доктор технічних наук, професор

Савуляк, В. І.

С13 Зварювання. Вступ до фаху : навчальний посібник / В. І. Савуляк, С. А. Заболотний – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 136 с.

ISBN

В навчальному посібнику розглянуто короткий огляд історії виникнення та розвитку зварювання як окремого самостійного методу створення нероз'ємних з'єднань машин і конструкцій. Описано та зроблено порівняльні характеристики видів зварювання, суміжних з ними технологій відновлення деталей і конструкцій.

Посібник розрахований для студентів технічних спеціальностей.

УДК 621.791(075)
ББК 30.616я73

ISBN

© В. Савуляк, С. Заболотний, 2015

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ТЕМА 1 СУТНІСТЬ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ.....	8
1.1 Утворення міжатомних зв'язків при зварюванні.....	8
1.2 Особливості формування хімічного складу металу шва.....	12
1.3 Кристалічна будова зварного з'єднання.....	13
1.4 Напруження і деформації під час зварювання.....	17
ТЕМА 2 З ІСТОРІЇ РОЗВИТКУ ЗВАРЮВАННЯ.....	19
2.1 Зварювання в давнину.....	19
2.2 Винайдення зварювання та його розвиток	23
2.3 Розробка процесу контактного електрозварювання.....	28
2.4 Розробка процесу газового зварювання.....	31
2.5 Зварювання в роки Другої світової війни.....	35
ТЕМА 3 ОСНОВНІ ВИДИ ЗВАРЮВАННЯ СЬОГОДНІ.....	39
3.1 Класифікація видів зварювання.....	39
3.2 Електричне дугове зварювання.....	40
3.2.1 Електрична дуга та її властивості.....	42
3.2.2 Джерела живлення зварювальної дуги.....	46
3.2.3 Ручне дугове зварювання покритими електродами.....	48
3.2.4 Автоматичне зварювання під флюсом.....	52
3.2.5 Зварювання в середовищі інертних газів.....	55
3.2.6 Зварювання у вуглекислому газі.....	59
3.2.7 Плазмове зварювання.....	61
3.3 Електрошлакове зварювання.....	65
3.4 Зварювання електронним променем.....	68
3.5 Зварювання лазером.....	73
3.6 Контактне зварювання.....	74
3.6.1 Точкове зварювання.....	74
3.6.2 Шовне зварювання.....	77
3.6.3 Рельєфне зварювання.....	79
3.6.4 Стикове зварювання.....	80
3.7 Зварювання струмами високої частоти.....	83
3.8 Холодне зварювання.....	86
3.9 Зварювання вибухом.....	88
3.10 Магнітно-імпульсне зварювання.....	90

3.11 Зварювання тертям.....	92
3.12 Ультразвукове зварювання.....	95
3.13 Зварювання прокатуванням.....	97
3.14 Дифузійне зварювання.....	99
3.15 Паяння.....	103
ТЕМА 4 ЗВАРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН І КОНСТРУКЦІЙ	108
4.1 Наплавлювання функціональних покриттів	110
4.1.1 Технології наплавлювання.....	112
4.1.2 Наплавлювання під шаром флюсу.....	113
4.1.3 Налавлення в середовищі захисних газів.....	114
4.1.4 Вібродугове наплавлювання.....	115
4.1.5 Електрошлакове наплавлювання (ЕШН).....	116
4.1.6 Плазмове наплавлювання.....	117
4.1.7 Індукційне наплавлювання.....	118
4.1.8 Наплавлювання заморожуванням.....	120
4.2 Газополуменеве нанесення порошкових матеріалів.....	120
4.3 Металізація.....	122
4.4 Відновлення деталей наплавлюванням вибухом.....	123
4.5 Детонаційне нанесення порошкових покриттів.....	124
ТЕМА 5 ДЕФЕКТИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ І МЕТОДИ ЇХ ВИЯВЛЕННЯ	125
5.1 Основні види контролю зварних з'єднань	130
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	134

ВСТУП

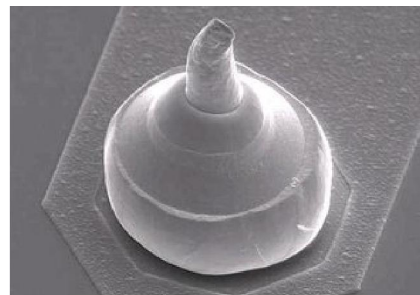
Зварювання належить до числа великих винаходів. Воно докорінно змінило суть багатьох технологічних процесів виробництва машин і механізмів, будівництва суден і споруд, відіграє важливу роль в освоєнні космосу.

Зварювання зіграло важливу роль на усіх етапах розвитку виробництва у світі, індустріалізації нашої країни. В даний час зварювання перетворилось на великий самостійний вид виробництва. Воно застосовується для створення і зведення принципово нових конструкцій і споруд, для ремонту машин і апаратів, для отримання виробів зі спеціальними властивостями. Зварні конструкції працюють при надвисоких і наднизьких температурах, з тисками, що значно перевищують атмосферний, і в умовах космічного вакууму. Сучасні досягнення в галузі зварювання дозволяють з'єднувати не тільки метали, а й пластмаси, скло, кераміку та інші матеріали. При цьому елементи, що зварюються, можуть мати розміри від декількох мікрон (у радіоелектроніці) до десятків метрів (у машинобудуванні і будівництві) (рис. 1, 2).

Зварювання використовують і для створення художніх виробів (рис. 3).



а)



б)

Рисунок 1 – Приклади зварних конструкцій: а) – автомобіль для перевезення пального; б) – контакт мікропроцесора (Ø 50 мкм)

Зварювання виконують на повітрі, під водою, у вакуумі. Льотчики-космонавти Г. Шонін і В. Кубасов на борту космічної станції "Союз-6" вперше в світі здійснили зварювання в умовах космічного вакууму і невагомості. Космонавтами В. Джанібековим і С. Савицькою під час польоту станції "Союз-7" у відкритому космосі протягом трьох годин

проводилося зварювання, різання та паяння металів, що показало можливість виконання різних ремонтних робіт космічних апаратів.



Рисунок 2 – Приклади зварних елементів



Рисунок 3 – Художні вироби, виготовлені методами зварювання

До сфери зварювальних технологій відносять також різання металів; наплавлення одного металу на інший; напилювання і металізацію (рис. 4, 5). Паяння, хоча і відрізняється за своєю природою від зварювання, також традиційно належить до зварювальних технологій.



Рисунок 4 – Зварювальний робот



Рисунок 5 – Напилювання покриттів

Коло проблем, які охоплюються нині зварюванням, вимагає великих знань в таких галузях знань, як матеріалознавство, фізична хімія, фізика високих енергій, квантова механіка, обчислювальна техніка та ін. Можна стверджувати, що зварювання в ланцюзі незупинного технічного прогресу є його істотною ланкою. Видалення з технологій сучасного виробництва зварювання та генерованих ним суміжних процесів призведе до зупинки усього сучасного виробництва без винятків. Створення і застосування все нових і нових матеріалів, які необхідні для розробки та вдосконалення

машин і механізмів, вимагає відповідних нових технологій виготовлення з них деталей та складання вузлів. І тут без зварювання зовсім не обійтися.

Надзвичайно широкі можливості зварювання та народжених ним суміжних технологій забезпечують широке ефективне застосування цих методів на всіх етапах життєвого циклу машин та інших конструкцій: виготовлення, сервіс (з ремонтом включно), утилізація. Зварювання металів і неметалів, живих тканин, кісток, безсумнівно, має необмежені перспективи, вважає академік Б. Є. Патон, український вчений зі світовим ім'ям.

1 СУТНІСТЬ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ

Протягом усього періоду існування людини на Землі – в тому числі, в кам'яній, бронзовій і залізній добі – їй доводилося вирішувати завдання з'єднання між собою двох або більше окремих частин в єдиний монолітний виріб, тобто отримувати нероз'ємні з'єднання. З розвитком суспільства і створенням нових конструкційних матеріалів зі спеціальними властивостями проблема отримання зварних з'єднань з властивостями, близькими до властивостей цих матеріалів, ставала все більш складною та актуальною.

Конструкційні матеріали складаються з атомів (іонів), що знаходяться у взаємодії. Фізико-механічні характеристики твердих тіл визначаються розташуванням атомів (іонів) і зв'язками, що діють між ними.

Всі тверді тіла чинять опір як деформації розтягу, так і деформації стиску. Отже, між частинками твердого тіла діють як сили притягування, так і сили відштовхування. На певній відстані між частинками ці сили врівноважують одна одну, що і відповідає рівноважному стану кристала. Теорія і досвід показують, що сили притягування між частинками твердого тіла проявляються вже на таких відстанях, при яких сили відштовхування ще дуже малі. Ті й інші сили зростають зі зменшенням відстані між частинками, але сили притягування зростають значно повільніше, ніж сили відштовхування.

При затвердінні металів атоми зближуються на відстань 0,0002...0,0003 мкм. Валентні електрони отримують можливість переходити від одного атома до іншого, досить вільно переміщуючись по всьому об'єму металу. Тому валентні електрони прийнято називати "колективізованими", а зв'язок, який існує між іонами, – металевим. Металевий зв'язок можна уявити як зв'язок, що виникає за рахунок притягування між ґратками з позитивно зарядженими іонами і оточуючими їх "колективізованими" електронами, що їх оточують і стягують атоми.

1.1 Утворення міжатомних зв'язків під час зварювання

Для того, щоб зварне з'єднання мало такі ж властивості, що і зварювані матеріали, необхідно в зоні з'єднання (між поверхнями, що зварюються) сформувати таку ж взаємодію між атомами, як і в матеріалах конструкції.

Для пояснення процесу утворення зварного з'єднання розглянемо схематично випадок з'єднання двох монокристалів з ідеально чистими і ідеально рівними поверхнями (рис. 1.1). З'єднання таких монокристалів (стан "а") в єдине ціле (стан "б") відбудеться, якщо зблизити їх поверхні на відстань, що дорівнює або близька за значенням величині параметра кристалічної ґратки (відстані між атомами у твердому тілі) – 0,0002 ... 0,0003 мкм.

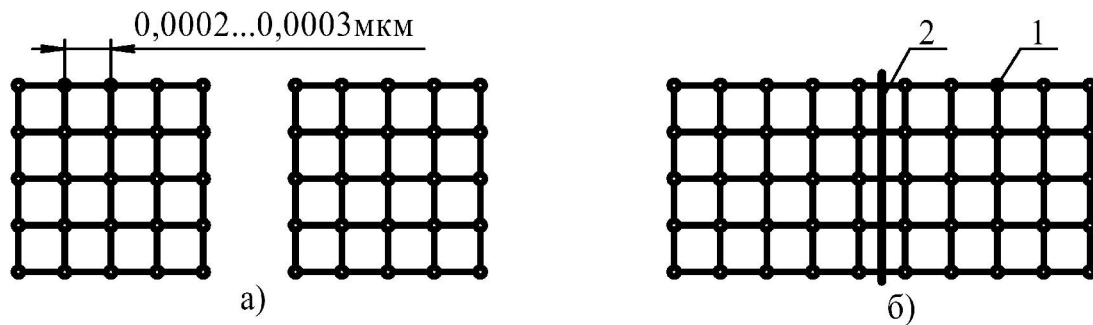


Рисунок 1.1 – Схема утворення зварного з'єднання між двома монокристалами: а) – монокристали до зварювання; б) – монокристали після зварювання; 1 – іон кристалічної ґратки; 2 – границя зварного з'єднання

Зварювання реальних твердих тіл ускладнюється рядом факторів. Реальні тіла – полікристалічні. Вони не мають ідеально чистих і ідеально гладких поверхонь.

Після механічної обробки на поверхні металів є макроскопічна і мікроскопічна геометричні неоднорідності – хвилястість і шорсткість відповідно. Мікровиступи розташовуються на хвилястій поверхні, крок якої може складати від 1000 до 10000 мкм, а висота мікровиступів від часток (після шліфування) до десятків мікрометрів (після токарної та фрезерної обробки), що на кілька порядків більше параметра кристалічної ґратки.

При зближенні таких поверхонь їх контактування відбудеться не по всій поверхні, а лише в окремих точках (рис. 1.2).

Завдання з'єднання реальних поверхонь металів в одне ціле значно ускладнюється і наявністю на контактних поверхнях крім мікровиступів оксидів, адсорбованих газів, вологи, органічних (жирових) забруднень.

Утворення металевих зв'язків можливе за умови видалення з контактних поверхонь забруднень (найбільш міцними з яких є оксиди) і