

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

В. М. Бєляєва

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

Металознавство та зварювання

*(для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання
за напрямом підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)»
та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.092601,
7.06010108 «Водопостачання та водовідведення»)*

Харків
ХНАМГ
2012

Беляєва В. М. Конспект лекцій з дисципліни «Металознавство та зварювання» (для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.092601, 7.06010108 «Водопостачання та водовідведення») / В. М. Беляєва; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 53 с.

Автор: В. М. Беляєва

Рецензент: доц. А. М. Колотило

Конспект лекцій побудований за вимогами кредитно-модульної системи організації навчального процесу.

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод,
протокол № 1 від 31.08.2010 р.

З М І С Т

	Стор.
ВСТУП	4
ЗМ 1.1 ОСНОВИ МЕТАЛОЗНАВСТВА ТА ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ	5
ТЕМА 1. Основні властивості металів і сплавів	5
ТЕМА 2. Виробництво, класифікація та застосування чавуну	12
ТЕМА 3. Виробництво, класифікація та позначення сталі	18
ТЕМА 4. Кольорові метали та сплави	25
ЗМ 1.2 ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ЗВАРЮВАННЯ	29
ТЕМА 5. Основні види зварювання	29
ТЕМА 6. Класифікація та сутність видів електричного зварювання	41
ТЕМА 7. Газове зварювання та кисневе різання	46
ТЕМА 8. Техніка безпеки проведення зварювальних робіт	49
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	53

ВСТУП

Металознавство вивчає зв'язки між складом, структурою і властивостями металів. Зародження металознавства пов'язане з іменами П. П. Анасова та Д. К. Чернова, роботи яких вплинули на подальший розвиток науки. Значну роль у розвитку металознавства відіграли праці М. В. Ломоносова, Д. І. Менделєєва, Н. С. Курнакова й ін.

Конструкційні металеві матеріали під час експлуатації в агресивних середовищах руйнуються, тому їхнє застосування в техніці вимагає знання як теорії корозії, так і методів захисту від неї в умовах виробництва, збереження, транспортування й експлуатації.

Одне з важливих завдань економіки – зниження металоємності на одиницю продукції в машинобудуванні, зменшення втрат від корозії – можна вирішити за допомогою впровадження до галузі машинобудування нових металевих матеріалів (якісних сталей, сплавів, кольорових металів), які стійкі до впливу агресивних середовищ. Для з'єднання металевих конструкцій і деталей у різних галузях промисловості й будівництві провідне місце посідає зварювання. Істотною перевагою є можливість під час виготовлення виробу обирати найбільш раціональну конструкцію і форму.

Зварені з'єднання за міцністю не поступаються міцності металу, із якого зроблені вироби. Зварені конструкції застосовують під час виготовлення виробів, що працюють за знакозмінних і динамічних навантажень, за високих температур і тиску.

Особливо варто підкреслити, що робота під час зварювання менш трудомістка, ніж під час клепання й лиття.

ЗМ 1.1 ОСНОВИ МЕТАЛОЗНАВСТВА ТА ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

ТЕМА 1. Основні властивості металів і сплавів

1. Завдання металознавства. Властивості металів та сплавів.
2. Методи випробування металів.
3. Загальна характеристика металів.
4. Кристалічна будова металів.

1. Завдання металознавства. Властивості металів і сплавів.

Металознавство – наука про властивості металів і сплавів, основною задачею якої є установлення зв'язку між складом, структурою та властивостями металів і сплавів, а також вивчення закономірностей їхньої зміни за теплових, механічних, фізико-хімічних та інших видах впливу. Виникло металознавство як наука наприкінці XIX ст. Металознавство базується на таких науках, як хімія, фізика, кристалографія, істотно впливаючи на розвиток інженерних дисциплін.

Металознавство умовно можна поділити на теоретичне та практичне. Теоретичне металознавство вивчає природу металів і сплавів, закони, за якими змінюють властивості та структуру сплавів залежно від складу й різних видів впливів.

Наука про метали в останні роки знайшла багато способів поліпшення властивостей існуючих металевих конструкційних. Серед них лазерна та плазмова обробка поверхні, напилювання порошків, вібраційне накочування поверхні металів.

Практичне металознавство дає змогу добирати необхідні метали і сплави для конструкцій, машин, апаратів, виходячи з їхніх властивостей.

Залежно від призначення виробів, які виготовляють, метали і сплави повинні відповідати певними властивостями.

Ці властивості поділяють на: *фізичні, механічні, хімічні й технологічні*. Якщо дві перші групи фактично пов'язано з конструктивними особливостями під час створення будь-якого виробу, то дві інші наближені до способів виробництва й експлуатації.

До *фізичних властивостей* металів і сплавів належать: щільність, температура плавлення, теплопровідність, теплове розширення, питома теплоємність, електропровідність і здатність до намагнічення.

Знання лише фізичних властивостей не дає змоги схарактеризувати поведінку металів під дією зусиль, яким вони піддаються під час обробки або експлуатації. Необхідно знати *механічні властивості*, тобто здатність металу чинити опір деформації й руйнуванню під час дії на нього зовнішніх сил, які прийнято називати *навантаженнями*.

Статистичним навантаженням називають навантаження, що зростає поволі від нуля до певного максимального значення і далі залишається постійним.

Динамічним навантаженням називають навантаження, що виникає внаслідок удару, коли дія навантаження обчислюється частками секунди.

Зовнішні навантаження, які діють на елементи конструкцій і машин, розподілені тією чи іншою мірою площі або об'єму. Унаслідок цього навантаження може бути поверхневим (наприклад, тиск води або пари на стінку труби) й об'ємним (наприклад, сили тяжіння, інерції, магнітного тяжіння). Проте, для спрощення розрахунків розподілене навантаження можна змінити на рівнодіюче зосереджене навантаження.

Залежно від характеру дії навантаження поділяють на *розтягуюче* (рис. 2.1, *а*), *стискаюче* (рис. 2.1, *б*), *вигинаюче* (рис. 2.1, *в*), *скручувальне* (рис. 2.1, *г*), *зрізуюче* (рис. 2.1, *д*).

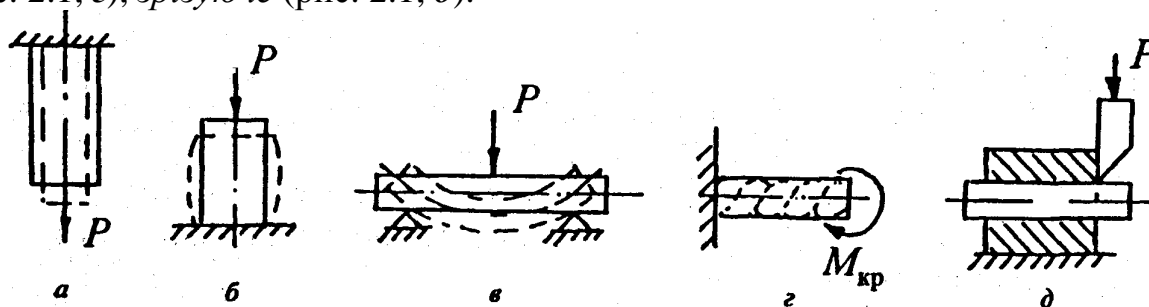


Рис. 1. 1 – Основні види навантаження:

а – розтягування, *б* – стискання; *в* – вигин; *г* – кручення; *д* – зріз

Зміна форми твердого тіла під дією прикладених до нього зовнішніх сил називається *деформацією*.

Міцність металу або сплаву – це властивість чинити опір руйнуванню під дією зовнішніх сил. Залежно від характеру дії цих сил розрізняють міцність на розтягування, стискання, вигин, кручення, втому й ін.

Пластичністю називають здатність металу не руйнуватися, змінювати форму під дією навантаження та зберігати змінену форму після того, як навантаження буде знято. Зміна навантаження може мати характер, що періодично повторюється, унаслідок чого їх називають *циклічними*.

Під впливом зовнішніх навантажень, а також структурно-фазових перетворень, у матеріалі конструкції виникають внутрішні сили, які можуть виражатися через зовнішні навантаження. Внутрішні сили, що доводяться на одиницю площі поперечного перетину тіла, називають *напругою*.

У простому випадку осьового розтягування циліндрового стрижня (рис. 1.2, *а*) напругу в поперечному перетині легко визначити як відношення розтягуючої сили P до площі поперечного перетину F_0 , тобто $\sigma = P / F_0$.

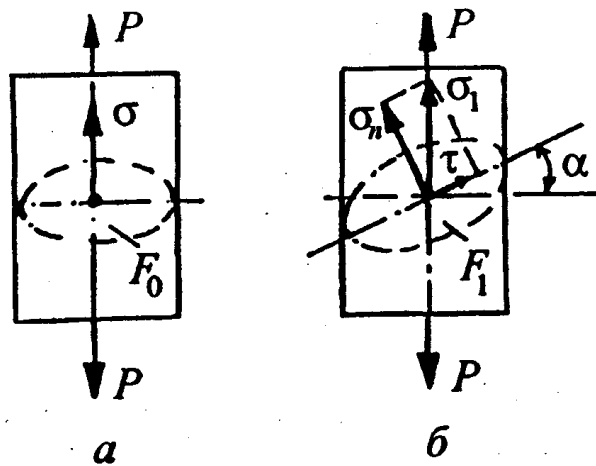


Рис. 1.2 – Схема нормальних і дотичних напруг:
 а – сила P , перпендикулярна площині перетину (F_0); б – сила P , не перпендикулярна площині перетину (F_1)

Загалом, якщо сила P не перпендикулярна площині цього перетину F_1 , повну напругу σ_1 можна розкласти на два складники: нормальна напруга (σ_n), спрямована перпендикулярно цій площині, і дотична (τ), направлена уздовж цієї площини (рис. 1.2, б). На рис. 1.2, б площина похилої F_1 розташована під кутом α до площини поперечного перетину стрижня. Площа похилого перетину рівна $F_1 = F_0 / \cos \alpha$. У площині цього перетину діє загальна напруга $\sigma_1 = P / F_1 = \sigma \cos \alpha$. Розкладаючи цю напругу за правилом паралелограма на складники, отримуємо, що нормальна напруга $\sigma_n = \sigma \cos^2 \alpha$, а дотична напруга $\tau = \sigma \cos \alpha \sin \alpha = 0,5 \sigma \sin 2\alpha$. Звідси максимальна нормальна напруга виникає за $\sigma = 0^\circ$ і дорівнює σ (рис.1.2, а), а максимальна дотична напруга виникає за $\sigma = 45^\circ$ і дорівнює $\sigma/2$.

Після зняття зовнішнього навантаження в тілі може залишатися внутрішня напруга. Причиною виникнення внутрішньої напруги можуть бути також різкі перепади температур і структурно-фазові перетворення, що відбуваються у процесі технологічної обробки матеріалів. Класифікація внутрішньої напруги:

- внутрішня напруга першого роду – напруга, що виникає між крупними частинами тіла (макроскопічна напруга);
- внутрішня напруга другого роду – напруга, що виникає між суміжними зернами або усередині зерен (мікроскопічна напруга);
- внутрішня напруга третього роду – напруга, що виникає усередині об'єму, що охоплює кілька осередків кристалічної решітки (субмікроскопічна напруга).

Дія зовнішніх сил призводить до *деформації* тіла, тобто до зміни його розмірів і форми. Деформація, що характеризує зміну лінійних розмірів, називається лінійною, а деформація, що характеризує зміну кутів, – кутовою або деформацією зрушення. Лінійна, або кутова деформація, що зникає після розвантаження, називається *пружною*, а та, що залишається в тілі, – *пластичною* (залишковою).

Ударною в'язкістю називається здатність металів і сплавів чинити опір дії ударних навантажень.

Твердістю називається властивість металу чинити опір проникненню до нього іншого, твердішого тіла, яке одержує залишкову деформацію.

Утомою металів називають явище руйнування під час багаторазового навантаження. Пошкодження навантажень значно зменшує міцність металу. Тому в техніці для характеристики втоми прийнятий термін *витривалості*.

Деформація пружнопластичності досягши достатньо високої напруги може завершитися *руйнуванням* тіла. Процес руйнування складається з кількох стадій: зародження мікротріщин, утворення макротріщин, розповсюдження макротріщини по всьому перетину тіла.

Хімічна властивість – це властивість металів і металевих сплавів, що визначає відношення до хімічних дій різних активних середовищ. Кожен метал або сплав має певну здатність дії цих середовищ. Хімічні дії середовища виявляються в різних формах: під впливом хімічної дії кисню, повітря й вологи метали піддаються корозії – чавун іржавіє, бронза вкривається зеленим шаром окису, сталь під час нагрівання в гартівних печах без захисної атмосфери окислюється, перетворюється на окалину, а в сірчаній кислоті розчиняється. Тому для практичного використання металів і сплавів необхідно знати їхні хімічні властивості.

Метали і сплави, стійкі до окислення при сильному нагріванні, називаються жаростійкими або окалиностійкими. Такі метали застосовуються для виготовлення труб парових казанів, деталей турбін, що сильно нагріваються, компресорів.

Технологічні властивості. Під час вибору металів і сплавів для виготовлення деталей, машин і конструкцій велике значення мають технологічні властивості, під якими розуміють здатність металу піддаватися різним видам обробки.

Оброблюваність – комплексна властивість металу, що характеризує його здатність піддаватися обробці. Зазвичай оброблюваність визначається за швидкістю різання, за зусиллям різання й чистотою поверхні.

До технологічних властивостей належать – ковкість, зварюваність, оброблюваність ріжучим інструментом. Ці властивості впливають на виробничий процес виготовлення металевих деталей.

Ковкість – здатність металів піддаватися обробці тиском. Ця властивість металів пов'язана з їхньою пластичною деформацією, особливо під час нагрівання. Ковкість визначає можливість застосування таких видів обробки, як прокатка, пресування, волочіння, кування та штампування.

Зварюваність – здатність металів утворювати міцні нероз'ємні з'єднання виготовлених із них деталей. Зварювання застосовують для виготовлення конструкцій, відновлення зламаних деталей, виправлення шлюбу лиття й т. д. Зварені конструкції легші, міцніші й дешевші за литі та клепані.

2. Методи випробування металів. Для визначення складу, властивостей і якості металевих виробів застосовуються наступні методи випробування металів: хімічний аналіз, механічні випробування, металографічний аналіз і

технологічні проби. Останнім часом поширюються й інші, доволі ефективні методи, – спектральний і рентгенографічний аналізи й дефектоскопія.

Хімічний і спектральний аналізи служать для визначення хімічного складу металів.

Дослідження будови металів провадять за допомогою макро-, мікро- та рентгеноструктурного аналізу.

Макроаналіз – це метод вивчення структури металу чи сплаву неозброєним оком, або за невеликих збільшень. Він дозволяє з'ясувати різні дефекти злитків, виливок, кування, а також характер розподілу сірки у сталевих деталях. Мікроаналіз застосовується для виявлення структурних складових, визначення розміру зерна й контролю якості термічної обробки. Дослідження будови металу проводять за великого збільшення за допомогою металографічного мікроскопа.

Рентгеноаналіз застосовують для контролю якості виробів просвічуванням. Для вивчення внутрішньої будови металів і сплавів застосовують рентгеноструктурний аналіз.

Дефектоскопію широко застосовують для виявлення внутрішніх дефектів у металевих виробах (тріщин, «раковин», неметалічних включень) без руйнування самих виробів. У промисловості використовуються магнітні й ультразвукові дефектоскопи.

Магнітний дефектоскоп діє за наступним принципом. Контрольований виріб намагнічують, місце, що досліджують укривають феромагнітним порошком окису заліза чи поливають суспензією, яка має дрібні частки окису заліза зважені в олії, бензині чи спирті. Оскільки дефекти мають знижену магнітну проникність, магнітні силові лінії прагнуть обійти їх. Вийшовши за межі поверхні деталі, вони потім входять назад, щоб утворити неоднорідне магнітне поле. У наслідок цього частки порошку концентруються над дефектом, утворюючи різко обмежений рисунок, за яким судять про його місце, величину та форму.

Найважливіше значення для визначення якості металів мають механічні випробування: статичні й динамічні, на витривалість, зносостійкість і технологічні проби.

3. Загальна характеристика металів. Усі метали умовно поділяють на чорні й кольорові. До чорних металів (близько 90 % усього світового виробництва металів) зараховують залізо і сплави на його основі. Кольорові метали – це алюміній, магній, мідь, нікель, титан, цинк, свинець і сплави на їхній основі. У наслідок збільшення виробництва кольорових металів значення заліза і його сплавів знижується.

Такі метали, як хром, марганець, молібден, через їхню недостатню пластичність чи дефіцитність не є самостійними конструкційними матеріалами і входять до сплавів як легуючі домішки. Свинець, цинк, олово через недостатню міцність, а магній також унаслідок невисокої корозійної стійкості мають обмежене застосування як конструкційні матеріали і використовуються як захисні покриття. Основних металевих конструкційних матеріалів п'ять: залізо (сталь, чавун), алюміній, мідь, нікель і титан.

Важливу роль відіграють сплави металів, оскільки вони мають більш високі механічні і технологічні властивості, ніж їхні складники їх – чисті метали.

4. Кристалічна будова металів. Метали і сплави у твердому стані мають кристалічну будову, яка характеризується визначеним закономірним розташуванням атомів.

Рентгенівським дослідженням встановлено, що атоми у кристалі металу утворюють просторові кристалічні ґрати, що складаються з багаторазово повторюваних елементарних осередків, що здебільшого мають порівняно просту форму. Залізо, наприклад, має елементарні осередки у вигляді об'ємно-центрованого куба (рис. 1.3, а), у якому вісім атомів розташовані на вершинах, а один – в центрі куба, і гранецентрованого куба (рис. 1.3, б), в якому вісім атомів розташовані на вершинах, а шість – у центрі кожної грані куба.

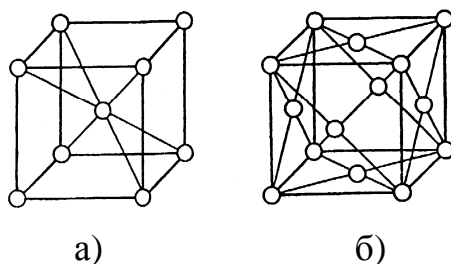


Рис. 1.3 – Елементарні осередки просторових ґрат заліза
а - об'ємно-центрований куб; б – гранецентрований куб

Більш щільно атоми розташовані у ґратах гранецентрованого куба.

Кубічні ґрати, крім заліза, мають і багато інших металів, у тому числі алюміній, мідь, вольфрам, молібден, свинець, срібло, натрій, калій.

Магній, цинк, кадмій мають гексагональні ґрати, а деякі метали – ромбічні чи тетрагональні ґрати.

Олово, нікель, титан, кобальт і деякі інші метали зі зміною температури змінюють тип ґрат. Наприклад, нікель може мати кубічні гранецентровані чи гексагональні ґрати, а кальцій – кубічні гранецентровані, гексагональні і кубічні об'ємноцентровані.

Усі метали можуть перебувати у твердому, рідкому чи газоподібному стані. Практичне значення мають перші два агрегатних стани: тверде й рідке. Рідкий стан переходить у твердий при температурі затвердіння, що коливається від -39° для ртуті до $+3390^{\circ}$ для вольфраму.

Перехід із рідкого стану у твердий – це процес перетворення неупорядкованого розташування атомів на закономірне з утворенням кристалічних ґрат (кристалів). Цей процес називається *первинною кристалізацією*.

У момент переходу з рідкого стану у твердий зниження температури тимчасово припиняється чи сповільнюється, тому що виділяється прихована теплота кристалізації.

Установлено, що кристалізація складається з двох елементарних процесів: перший – зародження центрів кристалізації, другий – зростання кристалів із цих центрів, при чому обидва процеси відбуваються одночасно.

Зазвичай кристали не можуть набути правильної форми тому, що їхнє зростання обмежують суміжні кристали. Кристали, що мають неправильні

зовнішні обриси, називаються *кристалітами*, або *зернами*. Внутрішня будова зерен кристалічна.

Для швидкості кристалізації й утворення форми кристалів у процесі затвердіння металу важливе значення мають швидкість і напрямок відведення тепла. У напрямку відведення тепла кристали ростуть швидко, утворюючи осі, від яких відгалужуються численні відростки. Такі деревоподібні кристали називають *дендритами*. Дендритна будова характерна для литого металу.

Залізо й деякі інші метали при зміні температури можуть мати різні кристалічні ґрати. Існування одного металу в кількох кристалічних формах називається *поліморфізмом*, чи *алотропією*, а температура, при якій метал переходить з одного стану в інший – *температурою поліморфного перетворення*. Залізо, наприклад, має дві температури поліморфного перетворення: 910° і 1400° .

На рис. 1.4 показана крива нагрівання й перекристалізації заліза. У графіку видно, що при нагріванні до температури 770° залізо має об'ємноцентричні α -ґрати. В інтервалі температур від 770° до 910° об'ємноцентричні ґрати зберігаються, але α -залізо втрачає свої магнітні властивості, тому його називають β -залізом. При температурі 910° об'ємноцентричні β -ґрати переходять у гранецентричні γ -ґрати, які при температурі 1400° знову переходять в об'ємноцентричні ґрати, що позначається буквою δ . При температурі 1535° залізо розплавлюється.

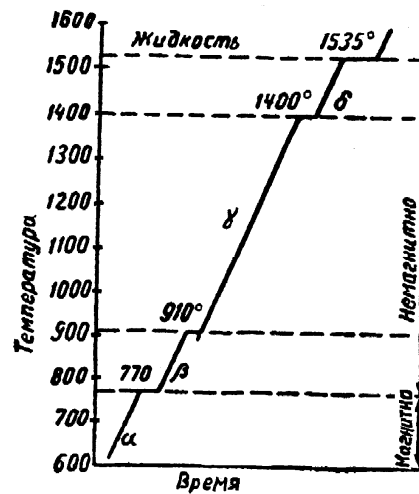


Рис. 1.4 – Крива нагрівання й перекристалізації заліза

Під час охолодження заліза ґрати змінюються у зворотній послідовності. Перехід з однієї кристалічної форми в іншу під час охолодження супроводжується виділенням, а під час нагрівання – поглинанням тепла. Це призводить до утворення температурних зупинок, які називають *критичними точками*.

Процес переходу металів у новий стан, що відбувається при поліморфному перетворенні, називають *перекристалізацією*, чи *вторинною кристалізацією*.

Контрольні запитання:

1. Викладіть сучасне поняття атомно-кристалічної будови металів. Кристалічні ґрати, їхні основні параметри; кристалографічні ґрати.
2. Відтворіть діаграму стану «залізо – вуглець». Укажіть фазу та структурні складники системи, подайте їхню характеристику. Класифікація сталей і чавунів за структурою.
3. Викладіть методика випробування металів на втому. Поясніть характер утоми дозволу.
4. Які сплави прийнято називати сталлю й чавуном? Класифікація чавунів і маркування конструкційних чавунів.
5. Що таке метал? Які метали відносять до простих і перехідних?
6. Який сплав називають сталлю? Класифікація сталей за призначенням, структурою, хімічним складом, ступенем розкислення, якістю.
7. Властивості металів. Статичне випробування металів.
8. Класифікація й маркування вуглецевих конструкційних та інструментальних сталей. Навести приклади маркування.
9. Що називають «легованою сталлю»? Вплив легуючих елементів на властивості й будову сталей. Класифікація та маркування сталей.
10. Дослідження металів і сплавів під час статичних і динамічних порушеннях.

ТЕМА 2. Виробництво, класифікація та застосування чавуну

1. Виробництво чавуну.
2. Методи одержання високоякісного чавуну.
3. Класифікація чавунів та доменних феросплавів.
4. Застосування чавуну.

1. Виробництво чавуну. Близько 95 % виплавки всіх металів доводиться на залізовуглецеві сплави: сталь і чавун, які називають *чорними металами*.

До складу залізовуглецевих сплавів, крім заліза й вуглецю, входять постійні домішки: кремній, марганець, фосфор і сірка. Наявність їх у сплавах необхідна за умовами виробництва. Кремній і марганець певною мірою є корисними домішками, а сірка й фосфор – шкідливими.

Основні властивості чорних металів визначаються змістом вуглецю. Залежно від цього вони поділяються на сталі й чавуни. Сплави, що містять вуглецю до 2 %, називаються сталлю, а більше 2 % – чавунами.

Основними вихідними матеріалами для одержання чавуна є залізні руди, паливо і флюси. Виплавляють чавуни в доменних печах.

Залізні руди складаються з окислів заліза і порожньої породи. Залежно від природи окисів заліза розрізняють наступні залізні руди:

- *магнітний залізняк* (магнітний окис заліза Fe_3O_4), який містить заліза до 72 % і має магнітні властивості;
- *червоний залізняк* (безводний окис заліза Fe_2O_3), який містить до 65 % заліза;
- *бурий залізняк* (водний окис заліза, який часто зустрічається у вигляді мінералу лімоніта ($Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$)). Уміст заліза в бурих залізнях 30 – 50%;

– *залізний шпат* (вуглекисле з'єднання FeCO_3), який містить до 45 % заліза.

Для відокремлення пустої породи залізна руда промивається водою. Воду, вуглекислоту та сірку вилучаються наступним випаленням. Руди, що мають магнітні властивості, піддають магнітній сепарації. Промивання, випалювання й магнітна сепарація – це різні способи збагачення руди.

Залізні руди за допомогою спеціальних дробарок подрібнюють до шматків розміром 30 – 100 мм. Дріб'язок при цьому відсівають і змішують з паливом, а потім нагріванням до 1000^0 спікають у пористі шматки. Процес спікання пилу й дрібних шматків руди в більш великі називається *агломерацією*.

Паливо, яке застосовують для виплавки чавуна, повинне мати високу теплоту згоряння, невелику зольність, значну міцність за високих температур, достатню пористість, а також містити якомога менше сірки, яка легко переходить у метал при виплавці чавуну. Найкраще цим вимогам відповідає кам'яновугільний кокс.

Кокс є основним паливом у доменному виробництві. У значно меншій кількості застосовують під час виплавки чавуну антрацит і термоантрацит, а для одержання деяких сортів (особливо низькосірчистих чавунів) - деревне вугілля.

Пуста порода й зола палива мають високу температуру плавлення, для зниження якої в доменну піч вводять особливі речовини, так звані **флюсами**. Найчастіше як флюси застосовують вапняк CaCO_3 і рідше доломіт CaCO_3 , MgCO_3 . Флюси розріджують розплавлену пусту породу (шлаки) і сприяють переведенню в шлак золи палива та значної частини сірки.

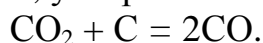
Доменна піч належить до шахтних печей, у яких робочий простір розташовується вертикально. Корисна висота доменних печей, що працюють на коксі, дорівнює 35 м, а обсяг – 1500 м^3 .

Зовні доменна піч має сталевий кожух, а усередині викладається з вогнетривкої цегли. Ця цегельна кладка називається *футеровкою*.

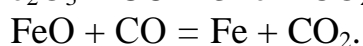
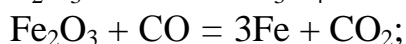
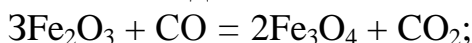
Сутність доменного процесу полягає у відновленні заліза з його окисів, насиченні відновленого заліза вуглецем і постійними домішками до стану розплавлення чавуну й відшлакування пустої породи.

Завантажене в доменну піч паливо, опускаючись разом із рудою та флюсами вниз, поступово нагрівається й надходить до горна в розпеченому стані, де, поєднуючись з киснем повітря, яке вдувається, інтенсивно горить, виділяючи вуглекислоту.

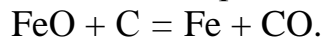
Вуглекислота, що утворилася, піднімаючись угору і зустрічаючись із розпеченим паливом, відновлюється, утворюючи окис вуглецю:



Отриманий окис вуглецю і є основним відновлювачем заліза. Прогріваючись потоками висхідних газів, залізна руда, що опускається, висушується, утрачає хімічно зв'язану воду, а починаючи від середини шахти, при температурі $400 - 750^0$ відновлюється. Відновлення заліза відбувається поступово:



Закис заліза FeO відновлюють також твердим вуглецем:



Услід за відновленням заліза відновлюють марганець із окису марганцю MnO, кремній із кремнезему SiO₂ і фосфор із фосфорного ангідриду P₂O₅.

Відновлене губчасте залізо, опускаючись вниз, починає поглинати вуглець, перетворюючись на чавун за реакцією $3\text{Fe} + \text{C} = \text{Fe}_3\text{C}$.

Чавун розплавлюється при температурі 1130 – 1200⁰ і краплями стікає до горна, розчиняючи в собі марганець, кремній і фосфор. Омиваючи золу, чавун поглинає також певну кількість сірки.

У низці країн частину чавуну виплавляють у високошахтних доменних електропечах. Тепло, необхідне для ведення процесу, одержують за рахунок електроенергії, а в якості відновлювача застосовують деревне вугілля. Кожна така піч виплавляє до 50 т високоякісного чавуну на добу. Останнім часом високошахтні печі витісняються низькошахтними електродоменними печами.

Основним продуктом доменного виробництва є чавун, але є й побічні продукти – шлак і доменний газ. Шлак з доменної печі випускають у воду, де він згортається у дрібні зерна. Гранульований шлак служить як один з елементом будівельних матеріалів.

2. Методи одержання високоякісного чавуну. Одержання чавуну визначеної якості забезпечується правильною шихтовкою, тобто відповідним підбором необхідних вихідних матеріалів при переплавлянні чавуну у вагранках. Крім того, є спеціальні методи одержання високоякісного чавуну. Найважливіші з них наступні:

Низьковуглецевий чавун із вмістом вуглецю 2,8 – 3,0 % замість 3,2 – 3,5% у звичайних сірих чавунах одержується введенням до шихти від 15 до 40% сталі (від ваги шихти). Домішка сталі значно підвищує міцність і стрілу прогину. Іноді низьковуглецевий перлітний чавун називають сталистим.

Модифікування чавуну. Цей метод одержання високоякісного чавуну полягає в обробці розплавленого чавуну невеликими добавками до ковша (0,3 – 0,8 % від його ваги) графітоутворюючих сплавів – високопроцентного феросиліцію чи силікокальцію. Чавун при цьому підбирається такого складу, щоб без обробки модифікаторами він мав білий злам. Модифікатори в рідкому чавуні створюють додаткові центри кристалізації металу й велику кількість центрів графітизації. Як наслідок модифікований чавун має дрібнозернисту будову, перлітну структуру і дрібні включення графіту, що забезпечує йому високі механічні властивості.

Модифікований чавун у низці випадків є заміником сталі під час виготовлення деталей машин. Якщо чавун модифікувати магнієм чи церієм, то включення графіту стають округленими. Міцність такого чавуна під час розтягування досягає 40 - 60 кг/мм² при відносному подовженні до 30 – 40%.

Легування чавуну. Додавання невеликої кількості нікелю, хрому, а іноді міді й титану, поліпшує структуру металеві основи чавуну й забезпечує одержання сприятливих форм графіту. Однак, частіше замість добавок застосовують природно-леговані чавуни, що містять певну кількість хрому та нікелю.

Виробництво ковкого чавуну. Ковким називають чавун, що містить вільний вуглець у вигляді вуглецю відпалу. Одержується він з білого чавуну тривалим відпалом, за якого цементит Fe_3C розпадається, виділяючи округлені включення вуглецю відпалу. Округлені пластівчасті включення вільного вуглецю меншою мірою порушують загальну суцільність металевої основи чавуну, тому ковкі чавуни мають певну пластичність і в'язкість. Ковкий чавун за властивостями займає середнє положення між сірим чавуном і сталлю.

Існує два основні способи виробництва ковкого чавуну.

Перший спосіб полягає в тому, що білий чавун відпалюють на отримання феритової структури металевої основи. Структура такого чавуну складається з фериту й вуглецю відпалу. Він має чорний злам і тому називається чорносердечним. Механічні властивості чорносердечного чавуну:

$$\sigma_{\delta} = 30 \div 40 \text{ кг/мм}^2, \delta = 6 - 12 \text{ \%}.$$

За другим способом білий чавун відпалюють на отримання у структурі перліту. Структура такого чавуну за краями феритова, а всередині ферито-перлітна чи, частіше, перлітна. Чавун має срібlistий злам, а тому називають білосердечним. Механічні властивості білосердечного чавуну:

$$\sigma_{\delta} = 30 \div 45 \text{ кг/мм}^2, \delta = 3 - 4 \text{ \%}.$$

3. Класифікація чавунів і доменних феросплавів. Вуглець у чавуні може знаходитися у вигляді хімічної сполуки з залізом, що має назву цементита (Fe_3C), й в структурно-вільному стані у вигляді графіту. Чавун, у якому весь вуглець чи частина його перебуває у вигляді графіту, називають *сірим*. Він має сірий злам і зернисту будову. У структурі сірого чавуна цементит перебуває в невеликій кількості чи зовсім відсутній. Тому такий чавун менш крихкий. Сірий чавун добре заповнює ливарні форми й легко обробляється різальним інструментом; чим більше чавун містить вуглецю, тим більше виділяється графіту. На структуру, а отже, і на властивості чавуну дуже впливають й інші постійні домішки – кремній, марганець, фосфор і сірка.

Кремній сприяє одержанню сірого чавуна. Утворюючи із залізом низку хімічних сполук і розчиняючись в ньому, він знижує розчинність вуглецю в залізі і сприяє розкладанню цементиту з виділенням графіту. Зі збільшенням кількості кремнію чавун стає більш м'яким, краще обробляється та краще заповнює ливарні форми.

Марганець сприяє одержанню білого чавуна. Він перебуває в чавуні у вигляді з'єднання Mn_3C . Зв'язуючи вуглець, марганець перешкоджає виділенню графіту. Разом з тим, уміст марганцю в сірому чавуні до 1% корисний, тому що підвищує механічні властивості й паралізує шкідливу дію сірки.

Фосфор утворює з залізом і вуглецем тверду та крихку фосфідну евтектику, що збільшує холодноламкість чавуну. Разом із тим, фосфор поліпшує рідиноплинність і підвищує зносостійкість чавуну.

Сірка шкідлива, тому що перешкоджає виділенню графіту, збільшує крихкість і надає розплавленому чавуну густоплинність.

Виплавлювані в доменних печах чавуни за призначенням поділяються на **переробні** й **ливарні**. Крім того, у доменних печах виплавляються **феросплави**.

Залежно від того, скільки в переробних і ливарних чавунах міститься: *кремнію*, вони поділяються на марки, *марганцю* – на групи, *фосфору* – на класи, *сірки* – на категорії.

Переробний чавун призначений для переробки на сталь. Переробними чавунами є різного складу білі чавуни (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 – Чавун коксовий переробний

Марка	Хімічний склад, %			
	Кремній	Марганець		
		Група чавуну		
		I	II	III
M1	0,91 – 1,50	1,50 – 2,50	2,51 – 3,50	3,51
M2	0,30 – 0,90	1,50 – 2,50	2,51 – 3,50	3,51
B1	0,09 – 1,60	0,60 – 1,20		
B2	1,60 – 2,00	0,60 – 1,50		
T1	0,20 – 0,60	0,80 – 1,30		

B1, B2 – бесемерівський, T1 – томасівський. Мартенівський (M) чавун за вмістом фосфору поділяють на три класи, а за вмістом сірки – на три категорії. Томасівський чавун виплавляється з підвищеним умістом фосфору (1,6–2,0 %).

Ливарний чавун застосовують у машинобудуванні й на транспорті для одержання чавунного литва. Із цією метою застосовують сірий чавун із підвищеним вмістом кремнію. Ливарні чавуни поділяються на коксові і деревинно-вугільні залежно від роду палива, що застосовувалося під час їхньої виплавки. Крім того, виплавляють природно *леговані чавуни*, які містять хром і нікель, а також *спеціальні* для одержання ковкого чавуну. Найбільше поширення мають коксові ливарні чавуни (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Чавун ливарний коксовий

Марки	Хімічний склад, %				
	Кремній	Марганець			
		I група	II група	I категорія	II категорія
ЛК00	3,76 – 4,25			0,02	0,03
ЛК0	3,26 – 3,75			0,02	0,03
ЛК1	2,76 – 3,25	0,5-0,9	0,91-1,3	0,02	0,03
ЛК2	2,26 – 2,75			0,03	0,04
ЛК3	1,76 – 2,25			0,03	0,04
ЛК4	1,25 – 1,75			0,04	0,05

За вмістом фосфору коксовий чавун поділяють на чотири класи:

- клас А (гематитовий чавун) із вмістом фосфору не більше 0,10 %;
- клас Б (звичайний чавун) із вмістом фосфору 0,11 – 0,30 %;
- клас В (фосфорний чавун) із вмістом фосфору 0,31 – 0,70 %;
- клас Г (фосфорний чавун) із вмістом фосфору 0,71 – 1,20 %.

Чавун деревовугільний виплавляють трьох марок з вмістом сірки не вище 0,03 %, який застосовують для одержання особливо відповідальних виливків.

Феросплави, що виплавляються в доменних печах, застосовують як

спеціальні присадки під час виплавки сталі й переплавленні чавуну у вагранках. Головне призначення феросплавів – розкислення сталі. До доменних феросплавів відносять:

- феросиліцій доменний, який містить 9 – 15 % Si і до 3 % Mn;
- дзеркальний чавун, який містить 10 – 25 % Mn і до 2 % Si;
- феромарганець доменний, який містить більше 70 % Mn і до 2 % Si.

4. Застосування чавуну. Придатність чавуну для виготовлення машин, механізмів і конструкцій визначається механічними властивостями, які залежать від структури його металевої основи, а також від розміру й характеру графітових включень. Механічні властивості металевої основи чавуну, у свою чергу, залежать від властивостей структурних складників – фериту, перліту й цементиту. Кращою структурою металевої основи є перліт.

Включення графіту різко знижують механічні властивості чавуна. Спрощено чавун можна розглядати як сталь, пронизану графітовими включеннями, тобто сталь із великою кількістю нерозвинених тріщинок. Ось чому графіт робить чавун крихким, непластичним матеріалом. Особливо сильно знижують механічні властивості чавуну великі, прямолінійні включення графіту.

Структура чавуну у виробі залежить не тільки від хімічного складу й від швидкості охолодження, тому що швидке охолодження перешкоджає розпаду цементиту й утворенню графіту. Через те, що тонкі виливки охолоджуються швидко, а масивні, зі значною товщиною стінки, повільно, то можна сказати, що структура чавуну у виливку залежить від хімічного складу й, у першу чергу, від наявності графітизаторів вуглецю і кремнію, а також від товщини стінок виливка (рис 2.1). Розподіл структур за полями: I – ферит + графіт; II – ферит + перліт + графіт; III – перліт + графіт, IV – перліт + цементит + графіт, V – перліт + цементит.

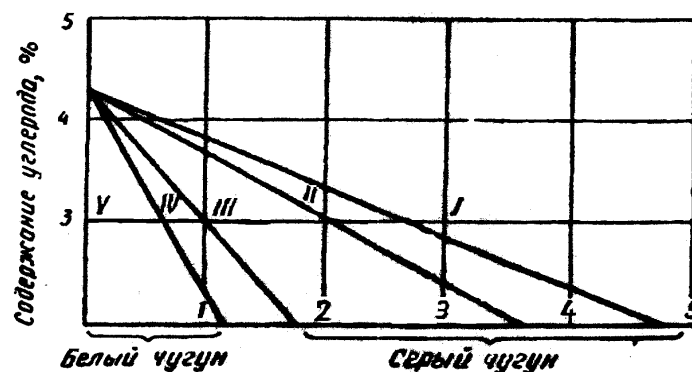


Рис. 2.1. – Діаграма залежності структури чавуну від співвідношення вуглецю та кремнію

Як видно з таблиці (табл. 2.3), одержати чавун з високою статичною міцністю неважко. Особливо добре чинить опір чавун стискаючим навантаженням. Пластичні властивості та в'язкість звичайного сірого чавуну низькі. Під час використання чавуну як конструкційного матеріалу необхідно враховувати, що це матеріал крихкий і застосовувати його у вузлах, які зазнають ударних навантажень, не можна.

Таблиця 2.3 – Механічні властивості сірого чавуна

Марка чавуну	Межа міцності при розтягуванні, кг/мм ²	Межа міцності при вигині, кг/мм ²	Стріла прогину при відстані між опорами		Межа міцності при стисканні, кг/мм ²	Твердість Н _В (від-до)
			600 мм	300 мм		
СЧ12-28	12	28	6	2	50	143 – 229
СЧ15-32	15	32	7	2	60	163 – 229
СЧ18-36	18	36	8	2	67	170 – 229
СЧ21-40	21	40	8	2	75	170 – 241
СЧ24-44	24	44	9	3	83	170 – 241
СЧ28-48	28	48	9	3	90	170 – 241
СЧ32-52	32	52	9	3	100	170 – 241

Чавун широко використовується для одержання литих деталей, бо він має високі ливарні якості (низька температура плавлення й гарна рідиноплинність) і є найдешевшим матеріалом для одержання виливків. У вузлах тертя чавунні деталі працюють особливо надійно, оскільки графітові включення самі змазують поверхню тертя й добре утримують спеціально нанесений шар змазки. Коефіцієнт тертя чавуну значно нижчий за коефіцієнт тертя сталі.

Контрольні запитання:

1. Який сплав прийнято називати чавуном?
2. Наведіть класифікацію чавуну за структурою металевої основи.
3. Опишіть способи оцінки в'язкості металів і сплавів.
4. Уплив фосфору, сірки, кремнію, титану, нікелю, міді, алюмінію та стану вуглецю на структуру чавуну.
5. Вплив швидкості охолодження на структуру чавуну.

ТЕМА 3. Виробництво, класифікація та позначення сталі

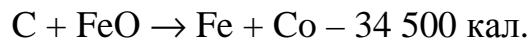
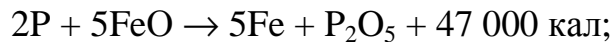
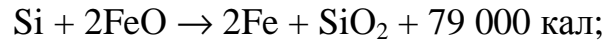
1. Способи виробництва сталі.
2. Класифікація сталей.
3. Позначення конструкційних і легованих сталей.
4. Термічна обробка сталі.

1. Способи виробництва сталі. Сталь порівняно з чавуном має більш високі механічні властивості – міцність, пластичність і ударну в'язкість. Її можна кувати, штампувати та прокочувати.

Порівняно з чавуном у сталі міститься менше не тільки вуглецю, й постійних домішок – кремнію, марганцю, фосфору та сірки, тому процес одержання сталі з чавуну полягає у видаленні значної частини вуглецю й домішків шляхом їхнього окислювання (випалювання).

В усіх процесах виробництва сталі з чавуну на початку плавлення одержують закис заліза Fe, який є реагентом, що видаляє вуглець та інші домішки з металу. Закис заліза утворюється шляхом окислення заліза киснем повітря і за рахунок уведення до печі залізної руди.

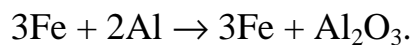
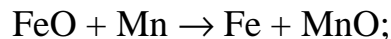
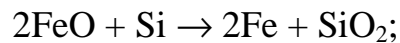
Основні реакції окислювання наступні:



При чому Fe, Si, Mn і P, окислюючись, виділяють тепло, а C поглинає його. Усі ці реакції стають можливими тому, що вуглець і постійні домішки при високій температурі поєднуються з киснем енергійніше, ніж залізо.

SiO₂ і MnO, що утворилися внаслідок реакції окислення, переходять у шлак, CO у вигляді газових пухирів спливає на поверхню рідкого металу й P₂O₅, поєднуючись із CaO флюсів, залишається в шлаці. Взаємодіючи з сіркою, CaO утворює нерозчинну в рідкому металі сполуку CaS і переходить у шлак. Видаленню сірки сприяє підвищений уміст марганцю в металі. Сірка й марганець утворюють сполуку MnS, майже нерозчинну в рідкій сталі, яка також переходить у шлак. На цьому окисний період плавлення закінчується.

Після закінчення окисного періоду сталь стає насиченою закисом заліза FeO, який робить її крихкою. Тому сталь розкислюють, додаючи до рідкого металу розкислювачі – речовини, що поєднуються з киснем енергійніше, ніж залізо. Гарними розкислювачем є феросиліцій, феромарганець і алюміній. При розкисненні відбуваються наступні реакції:



Вони супроводжуються виділенням тепла, а продукти реакцій – SiO₂, MnO, Al₂O₃ – переходять у шлак.

Сталь виплавляють у бесемерівських і томасівських конвертерах, а також у мартенівських та електропечах. Найбільш розповсюдженим способом виробництва сталі є мартенівський.

Бесемерівський процес. Бесемерівська сталь виробляється у плавильних агрегатах, що називаються конвертерами, з рідкого чавуна, виплавленого в доменних печах.

Сутність бесемерівського процесу виробництва сталі полягає в тому, що через залитий до конвертора рідкий чавун продувається повітря. Кисень повітря випалює з чавуну послідовно кремній, марганець і вуглець. При цьому кремній і марганець, окислюючись, переходять у шлак, а окис вуглецю, що утвориться, вивітрюється.

Повітря до конвертера подається під тиском 1,5 – 2,5 атм через спеціальні отвори (фурми) до днища. Ємність бесемерівських конвертерів найчастіше буває 15 – 20 т.

Рідкий чавун заливається в конвертер при температурі близько 1300⁰. Під час окислювання кремнію й марганцю виділяється велика кількість тепла, що викликає підвищення температури до 1600⁰.

Для видалення з металу фосфору та сірки потрібний надлишок CaO у шлаці, але шлаки в бесемерівському процесі кислі. Тому для бесемерування

застосовуються низькофосфористі й низькосірчані чавуни. Розкислення сталі здійснюють феросиліцієм і феромарганцем.

Продувка чавуна повітрям продовжується 12 – 15 хв, а весь процес бесемерування з допоміжними операціями 20 – 30 хв.

Томасівський процес. Для переробки на сталь високофосфористих чавунів застосовується томасівський процес, що відрізняється від бесемерівського тільки тим, що має замість кислої футеровки конвертера основу з обпаленого доломіту (CaO , MnO). Це допускає застосування основних флюсів – окису кальцію (CaO). Використовується для плавлення бідний на кремній чавун, але містить від 1,6 до 2,0% фосфору, що в цьому процесі є пальною речовиною. Під час вигорання фосфору окис фосфору P_2O_5 , поєднуючись із CaO , утворює міцне з'єднання $(\text{CaO})_4\text{P}_2\text{O}_5$, що переходить у шлак. За допомогою CaO у шлак переходить також частина сірки.

Переваги бесемерівського й томасівського способів виробництва сталі полягають у простоті процесу, високій продуктивності, відсутності технологічного палива й невисокій вартості сталі. До недоліків цих процесів належать: значне вигорання металу (до 15 %), неможливість одержання сталі заданого складу й насичення сталі азотом і закисом заліза, що погіршує її якість.

Мартенівський процес. Мартенівську сталь виплавляють у полум'яних відбивних печах, у яких можна одержувати сталь різної якості як із рідкого чавуна, так і зі сталевого й чавунного брухту.

У мартенівських печах виплавка сталі здійснюється на поду печі, плавильний простір якої обмежений знизу подом, із боків – стінками, а зверху – склепінням, що відбиває тепловий потік назад до ванни з металом.

Паливом при виплавці сталі в мартенівських печах служать мазут і гази - природний, генераторний чи суміш доменного й коксувального. Пальний газ і необхідне для горіння палива повітря подаються до мартенівської печі попередньо підігрітими в регенераторах до $1000 - 1100^{\circ}$. Завдяки підігріву газів і повітря температура в печі досягає 1700° .

Після закінчення завантаження печі метал і флюси поступово розігріваються. Одночасно відбувається окислювання заліза й утворення закису заліза FeO . Потім FeO вступає в реакцію з Si , Mn , P і C і окислює їх. Окиси Si , Mn і P переходять у шлак, а C вивітрюється. При вигоранні домішків виділяється значна кількість теплоти, що підвищує температуру металу.

Для успішного відшлакування фосфору та сірки в шлаці повинна бути достатня кількість CaO , що забезпечується введенням до печі флюсів – вапняку (CaCO_3) і доломіту ($\text{CaCO}_3 \text{ MgCO}_3$).

Мартенівський процес закінчується розкисленням сталі. Хімічний склад її визначається експрес - лабораторією, що робить аналіз протягом 5 – 7 хв.

Процес виробництва сталі в мартенівських печах може бути кислим та основним.

Електроплавлення. Процес виробництва сталі в електропечах називається електроплавленням, а отримана сталь – електросталлю. Електропечі бувають двох видів: індукційні й дугові. Найбільше поширення мають дугові печі, у яких висока температура створюється електродугою від пропущення

електроструму між вугільними електродами й металом шихти. Електроплавлення – найбільш досконалий метод виробництва сталі. Перевага його полягає в можливості регулювати хімічний склад сталі. При цьому процесі досягається температура 2000° і вище, що дозволяє застосовувати сильно основні тугоплавкі шлаки, які очищують сталь від шкідливих домішків. Атмосфера в печі перешкоджає окислюванню металу киснем повітря, а відсутність технологічного палива – насиченню його сіркою. Завдяки високій температурі в електропечах можна розплавляти самі найтугоплавкіші елементи: W, Mo, Cr, Ti, V і ін.

Електроплавлення широко застосовують для одержання легованих конструкційних та інструментальних сталей, при чому дорогі легуючі домішки в електропечах майже не вигорають.

Для економії електроенергії та прискорення процесу одержання електросталі чавуни практично не застосовуються. Як шихтові матеріали при електроплавленні використовують сталевий брухт, залізну руду та флюси.

Електронопроменеве плавлення металів. Для отримання особливо чистих металів і сплавів використовують електронопроменеве плавлення. Плавлення засноване на використанні кінетичної енергії вільних електронів, які дістали прискорення в електричному полі високої напруги. На метал прямує потік електронів, унаслідок чого він нагрівається і плавиться.

Електронопроменеве плавлення має низку переваг: електронні промені дозволяють отримати високу щільність енергії нагрівання, регулювати швидкість плавлення у великих межах, виключити забруднення розплавленого матеріалом тиглю й застосовувати шихту у будь-якому вигляді. Перегрів розплавленого металу в поєднанні з низькими швидкостями плавлення і глибоким вакуумом створюють ефективні умови для очистки металу від різних домішків.

Електрошлакова переплавка. Дуже перспективним способом отримання високоякісного металу є електрошлакова переплавка. Краплі металу, заготовки, що утворюються під час переплавлення, проходять через шар рідкого металу й рафінуються. Під час обробки металу шлаком і направленої кристалізації злитка від низу до верху вміст сірки в заготовці знижується на 30 – 50%, а вміст неметалічних включень у два-три рази.

Вакуумування сталі. Для отримання високоякісної сталі, широко застосовують вакуумну плавку. У злитку містяться гази й певна кількість неметалічних включень. Їх можна значно зменшити, якщо скористатися вакуумуванням сталі під час її плавлення й розливання. При цьому способі рідкий метал піддається витримці в закритій камері, із якої видаляють повітря й інші гази. Вакуумування сталі проводять у ковші перед заливкою виливницями. Кращі результати виходять тоді, коли сталь після вакуумування в ковші розливають виливницями також у вакуумі. Виплавка металу у вакуумі здійснюється в закритих індукційних печах.

Рафінування сталі в ковші рідкими синтетичними шлаками. Сутність цього методу полягає в тому, що очищення сталі від сірки, кисню й неметалічних включень проводять при інтенсивному перемішуванні сталі в ковші зі шлаком, приготованим в спеціальній шлакоплавильній печі, який

заздалегідь влився до ковша. Сталь після обробки рідкими шлаками має високі механічні властивості. За рахунок скорочення періоду рафінування в дугових печах продуктивність може збільшуватися на 10 – 15 %.

Розливання сталі. На металургійних заводах запроваджено метод безупинного розливу сталі. Рідку сталь з ковша безупинно випускають до мідного охолоджуваного водою кристалізатора, де вона починає швидко тверднути. Із кристалізатора опускається вниз злиток з рідкою серцевиною. Потім він збризується водою й остаточно твердіє, після чого розрізається на заготовки встановленої довжини.

2. Класифікація сталей. Сталь прийнято класифікувати за способом виробництва, методом надавання форми, хімічним складом і застосуванням.

- *За способом виробництва* сталь поділяють на: мартенівську основну, мартенівську кислу, бесемерівську, томасівську й електросталь.

- *За методом надавання форми* сталь буває: литою, кованою, катаною.

- *За хімічним складом* сталь поділяється на вуглецеву і леговану. Металургійна промисловість випускає вуглецеву сталь загального та спеціального призначення.

Класифікація сталей за хімічним складом є основною, тому що від хімічного складу залежать і якість, і режими обробки сталі.

- *За застосуванням* сталь поділяють на конструкційну, інструментальну та сталь з особливими властивостями.

Конструкційну сталь застосовують для виготовлення деталей машин та елементів будівельних конструкцій. Конструкційна сталь, що містить вуглецю менше 0,25 %, належить до групи цементувальних сталей, а сталь, яка містить вуглецю від 0,25 – 0,65 % , – до групи сталей, що поліпшуються.

Конструкційна сталь спеціального призначення поділяють на рейкову, мостову, котлову, шарикопідшипникову й т. д.

До інструментальних сталей належать сталі з вмістом вуглецю понад 0,6%. Ці сталі більш міцніші, твердіші, але менш в'язкі.

- *За якістю* конструкційні сталі поділяють на сталі звичайної якості та якісні. Останні відрізняються меншим змістом сірки та фосфору.

Інструментальна сталь застосовується для виготовлення різального, ударно-штампового, вимірювального інструмента.

До сталі з особливими властивостями належить нержавіюча, кислототривка, теплотривка, жаротривка, зносостійка.

3. Позначення конструкційних і легованих сталей. Сталь вуглецеву звичайної й підвищеної якості застосовують для сортового і листового прокату, ковальських заготівель, труб, дроту. Залежно від призначення і гарантованих характеристик вуглецева сталь звичайної та підвищеної якості поділяється на групи **I – II – III**.

Сталь групи I постачається за механічними властивостями. Гарантованими характеристиками цієї сталі є межа текучості, тимчасовий опір розриву й відносне подовження.

При випробуванні на згинання у холодному стані сталь не повинна мати ознак тріщин і розшарувань у деформованому місці.

Сталь групи II постачається за хімічним складом. Гарантований хімічний склад повинен відповідати нормам ДСТУ. У марках сталі групи II середній вміст вуглецю вказують в сотих частках відсотка.

Сталь групи III (підвищеної якості) постачають із гарантованими характеристиками хімічного складу й механічних властивостей. Сталь групи III повинна мати задовільні результати під час випробування на згинання в холодному стані й відповідати певним нормам ударної в'язкості. Виплавляють цю сталь мартенівським способом і розливають повністю розкисненою (спокійна сталь).

Сталь I групи (конструкційну) позначають буквами Ст і цифрою, що становить умовний номер сталі Ст 1, Ст 3, Ст 5. Чим більший номер сталі, тим більше в ній міститься вуглецю, тим вона міцніша і твердіша.

Сталь II групи (інструментальну) позначають буквою В і цифрою, що вказує на середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка. Існує 6 марок сталі В7...В13. Вміст марганцю в цій сталі не перевищує 0,4%, а кремнію 0,35%.

Високоякісна сталь, що належить до III групи, позначається буквою А, наприклад, В7А,...В13А... Її застосовують для інструмента (молотки, зубила), а В12А и У13А – для свердлів, мітчиків, різців, фрез, напилків, інструментів для обробки каменю.

Маркірування легованих сталей засноване на застосуванні буквено-цифрової системи. Букви позначають легуючі елементи: Н – нікель, Х – хром, К – кобальт, С – кремній, В – вольфрам, Ф – ванадій, Г – марганець, М – молібден, Д – мідь, П – фосфор, Т – титан, Ю – алюміній.

Цифри на початку позначення марки сталі вказують на середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Цифри, що йдуть після букви, характеризують приблизний вміст легуючого елемента у відсотках. Якщо вміст легуючого елемента близько одного відсотка, то цифра відсутня, за вмісту легуючого елемента близько 15 % ставиться цифра 1, а якщо вміст його близько 2 % ставиться цифра 2 і т.д.

Наприклад, високоякісна хромонікелевольфрамова сталь, що містить 0,14 – 0,21%, вуглецю, 1,35 – 1,65 хрому, 4,0 – 4,5% нікелю, 0,8 – 1,2% молібдену, має позначення 18 Х 1 Н 4 В А. Високолегована хромонікелева сталь нержавіюча і кислотривка – 12 Х 18 Н 10 Т.

4. Термічна обробка сталі. Основні види термічної обробки сталі полягають у загартуванні, відпустці, випалі і цементації.

Загартування сталі служить для підвищення твердості. Для загартування виріб зі сталі нагрівають до температури яскраво-червоного розжарювання (750 – 850⁰С) і після нетривалої витримки швидко охолоджують у воді, маслі або різних розчинах (соди чи солі кислоти у воді).

Ступінь загартування залежить від кількості вуглецю у сталі. Сталь починає гартуватися при вмісті вуглецю не нижче 0,3 %.

Щоб деталь чи інструмент при загартуванні не потріскалася і не зігнулася, рекомендують довгі й вузькі вироби, наприклад, зубила, свердла, мітчики й ін. занурювати до гартівного баку вертикально й не одразу, а поступово.

У тих випадках, коли потрібно надати найбільш вигідних для роботи

властивостей окремим частинам деталі чи інструмента, застосовують місцеве загартування, за якого нагрівається тільки та частина, що підлягає загартуванню. Не нагріта частина залишається незагартованою.

Одночасно з твердістю загартована сталь набуває крихкості, що робить інструмент непридатним до вживання (кришиться).

Для зменшення крихкості та збереження необхідної твердості *сталь відпускають*. Відпуск полягає в тому, що загартовану сталь нагрівають до температури 150 – 600⁰С (залежно від сорту сталі) і швидко охолоджують.

Температуру відпуску легко визначають за так званим кольором мінливості, що з'являється на відшліфованій поверхні сталі й змінюється в залежно від підвищення чи зниження температури.

Щоб додати загартованій сталі первісної м'якості, її піддають *відпалу*. Звичайно, так роблять під час ремонту інструмента. Для цього інструмент нагрівають до температури 800 – 900⁰С, а потім повільно охолоджують у сухому піску. Відпал застосовують також після кування, лиття і прокатки. Після відпалу деталі стають м'якші і їх легше обробляти.

Цементациєю називають процес насичення вуглецем (науглецьовування) поверхневого шару виробів з м'якої сталі з метою одержання твердої загартованої кірки за відносно м'якої їхньої серцевини.

Для цементациї вироби ретельно очищують, а потім укладають у спеціальний сталевий ящик із науглецьовувальною сумішшю (5–6 частин по вазі дрібно потовченого деревного вугілля й одна частина соди). Ящик закривають кришкою, замазують щілини вогнетривкою глиною і нагрівають у полум'яній печі до температури 900 – 950⁰С протягом кількох годин (залежно від необхідної глибини цементациї). Після цього ящик повільно охолоджують. Унаслідок такої обробки вуглець, що виділяється з суміші, проникає в поверхню сталевого виробу й науглецьовує його на глибину 0,5 – 2,0 мм. Поверхня цементованого виробу може гартуватися.

Контрольні запитання:

1. Методи випробування й контролю якості металів і сплавів, сфера їхнього застосування? Види іспитів технологічних властивостей металів.
2. Класифікація й маркірування інструментальних сталей (вуглецевих і легованих), сфера їхнього застосування; сталі та сплави з особливими властивостями: нержавіючі, жароміцні, магнітні й ін.
3. У чому полягає сутність термічної обробки сталі?
4. Яке загартування називають повним і неповним? Що таке загартованість?
5. Хіміко-термічна обробка. Цементация сталі. Структура сталі. Структура сталі після процесу науглецьовування.
6. Опишіть основні види термічної обробки. У чому полягає їхня сутність. Які сталі піддають загартуванню?
7. Види випалювання. Відпустка сталі, види відпустки.

ТЕМА 4. Кольорові метали та сплави

1. Кольорові метали.
2. Кольорові сплави.

1. Кольорові метали. До кольорових зараховують усі метали, за винятком заліза та його сплавів. Із кольорових металів найбільш розповсюдженими є мідь, нікель, олово, свинець, цинк, алюміній, магній.

Мідь – пластичний і в'язкий метал, завдяки чому він легко обробляється тиском як у нагрітому, так і в холодному стані.

Чисту мідь іноді називають червоною за її характерним червонуватим кольором. Найбільш цінними властивостями міді є високі електро- й теплопровідність, значна стійкість проти окислювання на повітрі.

Із міді методом гарячої прокатки, пресування й холодної витяжки виготовляють дріт, листи, труби, дріт. Для відливання мідь застосовують рідко через її погані ливарні властивості.

Алюміній у чистому вигляді м'який і неміцний, оскільки конструкційний матеріал майже не застосовується, але має високу пластичність і добре, піддається прокатці, волочінню та штампуванню як у стані горіння, так і в холодному стані. Алюміній стійкий проти корозії на повітрі й витримує дію багатьох органічних кислот, тому він використовується під час виготовлення тари, алюмінієвих цистерн для перевезення міцної азотної кислоти. Завдяки високій електропровідності алюміній широко застосовують для виготовлення електропроводів.

Цинк являє собою блакитнувато-білий метал з великими кристалами: він крихкий і маломіцний, але має корозійну стійкість на повітрі. Основне призначення цинку – антикорозійне покриття металів. Цинк застосовують як компонент шихти для бронзових сплавів, для оцинковування, гальванічних батарей, виготовлення антисептиків і білила.

Свинець відрізняється високою хімічною стійкістю в атмосфері та кислотах. Свинець має синювато-сірий колір, він м'який і тягучий, плавиться при 327⁰. Свинець використовують здебільшого для бронзового і бабітового лиття.

Олово – м'який метал сріблито-білого кольору з міцністю 6 кг/мм². Найбільш цінна властивість олова – висока корозійна стійкість. Використовують для збереження металів від окислювання. Значну частину олова витрачають для виготовлення сплавів і припоїв. З олова виготовляють фольгу високої якості.

Нікель – білий блискучий метал, міцний, в'язкий і ковкий, володіє високою корозійною стійкістю, застосовується як антикорозійне покриття. На основі нікелю виготовляються багато промислових сплавів, наприклад, константан, мельхіор, платиніт та ін. Нікель додають до бронзи і бабіту для поліпшення їхніх властивостей. Є однією з найпоширеніших домішок до легованих сталей.

Магній – легкий білий метал з низькими механічними властивостями, сильно кородує на повітрі й окисляються під час нагрівання. Чистий магній як конструкційний метал не використовується. Застосовується в сплавах на його основі і як модифікатор для одержання кулястого графіту в чавуні, а також як

добавка до бабітів для поліпшення їхніх властивостей.

2. Кольорові сплави. Сплави на мідній основі називають: латунь бронза, бабіт.

Латунь – сплав міді з цинком і з додаванням інших елементів. Практичне застосування мають латуні з вмістом цинку не більш 45 – 47 %. Додавання цинку підвищує одночасно міцність і пластичність латуні.

Латуні позначають буквою Л. Прості латуні, що не мають спеціальних домішок, випускають шести марок: Л 96, Л 90, Л 80, Л 68, Л 62, Л 59. Цифри позначають процентний вміст латуні, інше – цинк. Із латуні зі спеціальними домішками виготовляють підшипники, втулки, корпуси моторно - осьових підшипників.

Бронза – сплав міді з оловом; при вмісті від 1 до 10 % називають олов'янистою бронзою, яка має значну твердість і міцність, не окислюється й добре відливається. Олов'яністі бронзи мають високу корозійну стійкість у воді й парі, що дозволяє використовувати їх для виготовлення водопровідної арматури (трійники, змішувачі, крани).

Спеціальні (безолов'яністі) бронзи широко використовують в багатьох галузях машинобудування. Поширилися алюмінієві бронзи, що перевершують олов'яністі за механічними властивостями, корозійній стійкості при нормальній і підвищеній температурі, а також відрізняються великою зносостійкістю. Їхнім недоліком є знижені ливарні властивості.

Бабіт – легкоплавкий сплав із олова, свинцю, міді й інших кольорових металів; має гарну стійкість і міцність. Усі бабіти мають невисоку температуру плавлення (240 – 420⁰).

Бабіти мало зношуються, охороняють від зношення вал і створюють умови для нормального змащення.

Бабіти позначають буквою Б, за якою ставлять цифру, що показує процентний вміст олова, чи початкову букву спеціального елемента, що входить до сплаву, наприклад, Б83, що містить 83 % олова.

Сплави на основі алюмінію. Алюмінієві сплави здебільшого поділяють на *деформуючі* й *литі*, оскільки у виробництві *порошкових* (у тому числі і гранульованих) сплавів і *композиційних* матеріалів тією чи іншою мірою використовують процеси пластичної деформації і литва.

Алюмінієві сплави поділяють також за здатністю зміцнюватися за допомогою термічної обробки на *зміцнювані* (гартування з 435 – 545°C, природне старіння під час 20°C або штучне – під час 75 – 225°C) і *не зміцнювані*. Вони можуть піддаватися гомогенізації (480 – 530°C, б – 3ч), рекристалізації (300 – 500°C, 0,5 – 3ч) і зменшувати міцність (загартовані й зістарені сплави – 350 – 430°C, 1 – 2ч) відпалу.

Алюмінієві сплави, що деформуються. Корозійностійкі сплави підвищеної пластичності поділяють на дві основні групи:

а) сплави на основі систем Al-Mn (АМц) і Al-Mg (АМгб), що не зміцнюються термічною обробкою. Їх використовують у відпалюваному (М), нагартованому (Н) або напівнагартованому (П) станах. Ці сплави добре зварюються. Їх застосовують для виготовлення корозійностійких виробів;

б) сплави системи Al-Mg-Si (АВ, АД31, АД33), які зміцнюють

гартуванням (520 – 530°C) і штучним старінням (150 – 170°C, 10–42ч). Ці сплави, незалежно від стану матеріалу, не схильні до корозійного розтріскування під напруженням. Вони обробляються різанням в загартованому і зістареному стані, а також зварюються за допомогою точкового, шовного й аргонодугового зварювання. Вищу корозійну стійкість мають сплави АД31 і АД33, що працюють в інтервалі -70 до +50°C; сплав-авіаль АВ з вказаної групи сплавів характеризується більшою міцністю.

Поєднанням міцності і пластичності відрізняються сплави системи Al-Cu-Mg – дюралюміни Д1, Д16, Д18, Д19, Вд17 й ін. Вони зміцнюються за допомогою термічної обробки, добре зварюються точковим зварюванням, задовільно обробляють різанням, однак схильні до міжкристалітної корозії після нагрівання (особливо Д1, Д16 і В65). Значне підвищення корозійної стійкості сплавів досягають плакіруванням (покриттям технічним алюмінієм А7, А8). Сплави Д19 і Вд17 працюють при нагріві до 200 – 250°C (наприклад, із сплаву Вд17 виготовляють лопатки компресора двигуна).

Основними перевагами ливарних сплавів і сплавів, що деформуються, є: значна питома міцність, висока технологічність (у холодному й в гарячому стані), збереження високих властивостей на міцність за негативних температур, підвищена жаростійкість, значна стійкість проти корозії.

Сплави на основі нікелю. Як сплави для деталей, що працюють при 700 – 1000°C, застосовуються сплави на основі нікелю. Нікелеві сплави діляться на гомогенні (ніхроми, інконелі), які служать переважно жаростійкими матеріалами, і старіючі (німоніки), які мають високу жароміцність.

Жаростійкі сплави на нікелевій основі (ніхроми) – маловуглецеві Ni - Cr, Ni - Cr - Fe або Ni - Cr - W - Fe тверді розчини, леговані Si, Al, Ti. Ці сплави, маючи переважно структуру гомогенних твердих розчинів, відрізняються поєднанням високої жаростійкості та значним електричним опором (1,05 – 1,40 Ом·мм²/м); їхня температура плавлення складає 1370 – 1420°C, межа міцності на розтягування – 700 – 1000МПа, відносне подовження – 20 – 40%. Вони мають гарні технологічні властивості. Ніхроми застосовують для виготовлення нагрівальних елементів електричних печей і побутових приладів, виробів, які експлуатують при високій температурі й невеликих механічних навантаженнях. У промисловості застосовуються ніхроми типу Х10н90, Х20н80, Х40н60, Х50н50, а також ніхроми з додатковим легуванням – Х20н75бтю, Х25н60в15т. Найбільшу жаростійкість в окислювальних середовищах мають ніхроми Х20н80, Х30н70.

Жароміцні нікелеві сплави поділяють на деформуючі й ливарні. Жароміцні властивості деформуючих сплавів формують при термічній обробці. Ливарні жароміцні нікелеві сплави за складом схожі на деформуючі, але містять більшу кількість алюмінію й титану. Відповідно, сплав марки Жсбк містить 11 % Cr, 2,75 % Ti, 5,5 % Al, 4 % Mo, 4,5 % Co, < 2 % Fe, 5 % W, 0,16% C, 0,02 % B, < 0,4 % Mn и < 0,4% Si.

У ливарних жароміцних сплавів високі характеристики властивостей на міцність за підвищених температур. Таким чином, тривала міцність сплаву марки Жсбк складає 320 мПа за 900°C і 160мПа за 1000°C.

Контрольні запитання:

1. Опишіть процес одержання кольорових сплавів.
2. Опишіть сплави на основі алюмінію.
3. Які метали називають кольоровими?
4. Які метали називають кольоровими сплавами?
5. Опишіть сплави на основі міді.
6. Опишіть сплави на основі нікелю.

Рекомендовані джерела:

1. Волчок И. П. и др. Технологія конструктивних матеріалів. Лабораторні роботи. - К.: Вища школа, 1990. - 150 с.
2. Крижановський В.І. та інші. Довідник по нормуванню ремонтних робіт. - К.: Урожай, 1987. - 173 с.
3. Лахтин Ю.М. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1980.- 511 с.
4. Самокотский А.Н., Кунявский М.Н. Лабораторные работы по металлоредению. - М.: Машиностроение, 1981. -183 с.
5. Фетисов М.Г., Карпман В.М. и др. Материаловедение и технология металлов. – М.: Высшая школа, 2000. - 640 с.

ЗМ 1.2. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ЗВАРЮВАННЯ

ТЕМА 5. Основні види зварювання

1. Класифікація зварювання.
2. Термічний клас зварювання.
3. Термомеханічний клас зварювання.
4. Механічний клас зварювання.

1. Класифікація зварювання. В основу класифікації існуючих видів зварювання покладаються різні ознаки. Найбільш поширеними й найважливішими з них є:

- вид енергії, яку використовують під час виконання зварювання,;
- стан металу в зварювальній зоні на момент зварювання.

Залежно від форми енергії, яку використовують для утворення зварного з'єднання, усі види зварювання поділяють на три класи: *термічний, термомеханічний і механічний.*

Відповідно до термодинамічного визначення процесів зварювання основними ознаками для їхньої класифікації повинні служити: форма енергії, що вводиться, наявність тиску й вид інструменту – носія енергії.

Це визначається ДСТУ 19521-94, на підставі якого класифікують види зварювання (табл.5.1).

Хіміко-механічні види зварювання відомі давно. Шляхом перетворення хімічної енергії на теплову метал нагрівають до пластичного стану й далі піддають пластичній деформації вдавненням. Прикладом хіміко-механічних способів зварювання є ковальська, газопресова й ін. види зварювання.

Види зварювання, що використовують *хімічну енергію*, характеризують нагрівом металу за допомогою перетворення хімічної енергії на теплову. Це тепло доводить метал до розплавленого стану, за якого для виконання зварювання не потрібно здійснювати витрати механічної енергії. Прикладом такого використання хімічної енергії є газова зварювання плавленням.

Таблиця 5.1 - Класифікація видів зварювання

Види зварювання	Клас		
	механічний	термомеханічний	термічний
	холодне; вибухом; ультразвукове; тертям; магнітно-імпульсне;	контактне; дифузійне; індукційно-пресове; газопресове; дугопресоване; шлакопресоване; термокомпресорне; пічне	дугове; електрошлакове; електроно-променево; плазмове; іонно-променево; тліючим розрядом; світлове; індукційне; газове; термічне; ливарне

Електричні види зварювання засновані на перетворенні електричної енергії на теплову. Це перетворення здійснюється під час використання дуги, виділення тепла під час протікання струму через шлаки за допомогою

перетворення на тепло кінетичної енергії пучка електронів індукцією струму різних частот. Електричні способи нагрівання металу до розплавлення при зварюванні ефективні і найбільш застосовуванні в промисловості.

Електромеханічні види зварювання засновані на нагріванні металу до зварювального жару шляхом перетворення електричної енергії на теплову з подальшою пластичною деформацією нагрітого металу за допомогою вдавнення. Характерним прикладом цього виду зварювання є електричне контактне зварювання. Різні види електричного контактного зварювання широко застосовують у промисловості, особливо в масовому виробництві.

Якщо при тиском здебільшого для проведення зварювальних операцій виріб повинен подаватися до машини, то при зварюванні плавленням зазвичай джерело тепла подається до виробу, що дозволяє виготовляти великогабаритні зварні конструкції.

Однак, розплавлення металу при зварюванні плавленням неминуче супроводжується посиленням взаємодії рідкого металу з середовищем, що оточує його (газами, конденсуючими фазами), призводячи до низки реакцій, характерних для металургійних процесів при виробництві металів. У низці випадків ці реакції і фізичні процеси можуть значно погіршувати властивості закристалізованого металу, що розплавлявся під час зварювання. З метою регулювання металургійних процесів під час зварювання в бажаному напрямку застосовують флюси, газовий захист місця зварювання, включаючи і захист інертними газами, а в деяких випадках виконують у вакуумі.

Основні види зварювання металів за їхньої класифікації за технологічною ознакою (тиском і плавленням) наведені на рис. 5. 1.

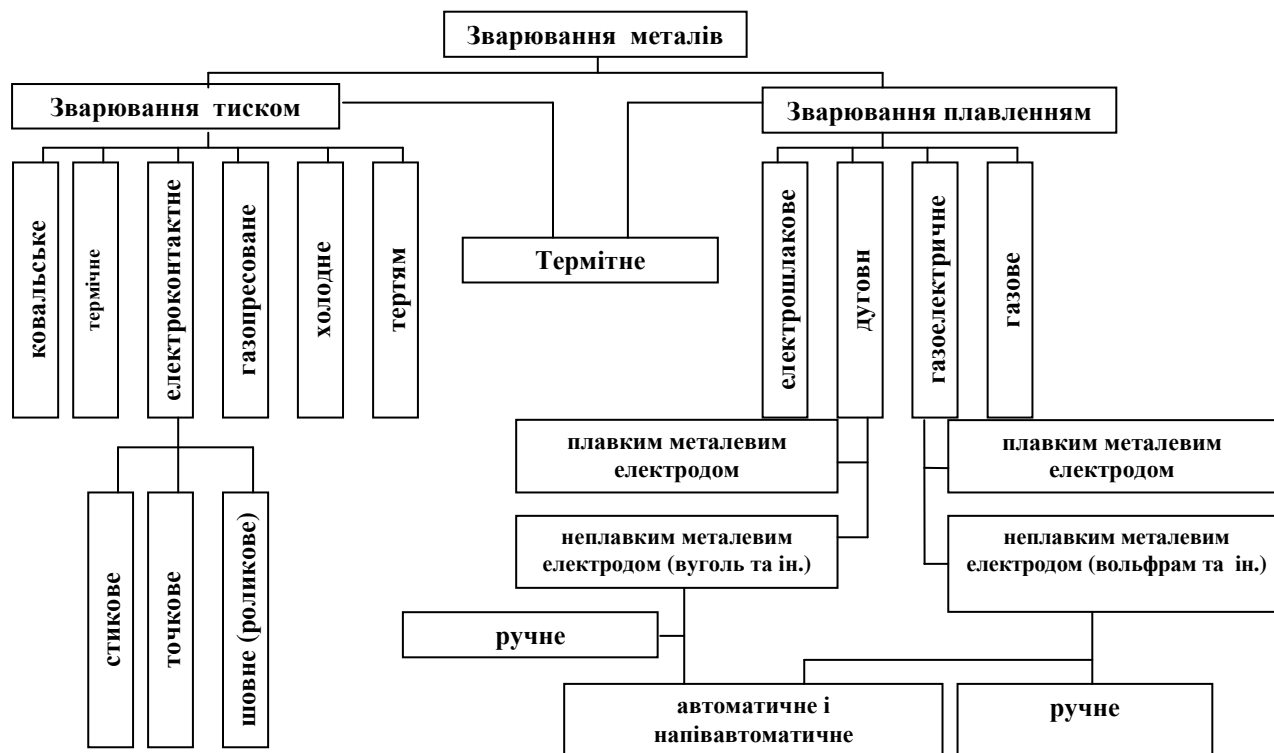


Рис. 5.1 – Класифікація основних видів зварки за технологічними признаками

Крім того, класифікують і за іншими ознаками:

- способом захисту металу в зоні зварювання (на повітрі, в вакуумі, в захисному газі, під флюсом і тому подібне);
- безперервністю зварювання (безперервні й переривчасті, тобто імпульсні процеси);
- ступенем механізації (ручне, механізоване, автоматичне);
- технологічною ознакою (вид електроду або дуги, рід зварювального струму, полярність, тип і кількість електричних дуг і тому подібне).

Головне завдання зварювання – отримання міцного зварного з'єднання.

Міцність забезпечують атомно-молекулярними зв'язками між елементарними частками елементів, що сполучають. Взаємодія настає під час зближення їх на відстані, приблизно рівній атомному радіусу. Поверхня металу має нерівності, вона вкрита забрудненнями, що складаються з оксидів, адсорбованих газів і плівок. Щоб забезпечити процес зварювання, необхідно активізувати поверхневі атоми металу, вирівняти поверхню або здійснити щільний контакт і видалити з зони зварювання оксиди й органічні плівки.

2. Термічний клас зварювання. До термічного класу належать види зварювання, що здійснюються плавленням з використанням теплової енергії (дугова, плазмова, електрошлакова, електронно-променева, лазерна, газова й ін.).

Дугове зварювання. Під час дугового зварювання нагрівання металу здійснюють електричною дугою. При стійкому тривалому протіканні струму через іонізований газовий проміжок між двома електродами, приєднаними до відповідного джерела живлення, виділяється тепла та світлова енергії. Температура, що розвивається в дузі, може бути дуже високою, такою, що значно перевищує температуру плавлення різних конструкційних металів.

Зварювальні дуги класифікують за наступними ознаками:

- за середовищем, у якому відбувається дуговий розряд: на повітрі – відкрита дуга, під флюсом – закрита дуга; у середовищі захисних газів;
- за родом використання електричного струму – постійний, змінний;
- за типом електроду – плавкий, неплавкий;
- за тривалістю горіння – безперервна імпульсна дуга;
- за принципом роботи – прямої дії, непрямої дуги. Для зварювання металів використовують зварювальну дугу прямої дії, у якій одним електродом служить металевий стрижень (плавкий або неплавкий електрод), а другим – зварювана деталь. До електродів підведений електричний струм – постійний або змінний.

Зварювання непрямою дугою здійснюють нагріванням металу дугою, що горить між двома, зазвичай неплавкими (наприклад, графітовими) електродами, підключеними до різних полюсів джерела електричної енергії.

Дугове зварювання в захисному газі – це зварювання, при якому до зони дуги подають захисний газ. Одним із процесів дугового зварювання в захисному газі є просте поєднання дії газозварювального полум'я і дуги електроду, що плавиться в одній зварювальній зоні.

Якщо в дугу побічної дії між неплавкими графітовими або частіше

вольфрамовими електродами вдувати струмінь водню, то він не лише захистить електроди, метал присадки й ванни від дії повітря, а й переносить тепло з дуги на виріб. При високій температурі дуги молекулярний водень розпадається на атоми й забирає велику кількість тепла (540,8 кДж/моль). Потрапляючи до ділянки нижчих температур (включаючи й температуру поверхні розплавленої зварювальної ванни), атоми водню знову об'єднуються в молекули, виділяючи забране під час розкладання тепло. Цей вид дугового зварювання називають атомно-водневим.

Якщо в дугу неплавкого або плавкого електроду вдувати спеціальний газ, то можна отримати різні варіанти дугового зварювання в захисних газах. При цьому можуть застосовуватися різні гази: активні, що взаємодіють із металом під час зварювання (водень, вуглекислий газ тощо), або інертні, які практично не реагують з металом під час зварювання (аргон, гелій, для міді – азот). Деякі з цих способів поширені й використовуються в промисловості.

Зварювання у вуглекислому газі при використанні плавкого електроду широко застосовують для виготовлення зварних з'єднань вуглецевих і деяких легованих сталей.

Різновидом дугового зварювання в захисному газі є *зварювання в контрольованій атмосфері*. Дуга горить незалежно від виробу, що зварюється. Нагріті гази стовпа дуги контактують з поверхнею металу, вони його нагрівають і за достатньої потужності дуги розплавляють. Зварювання може виконуватися як без додаткового присадного металу, так і з застосуванням присадки, що подається до дуги у вигляді прутка.

Зварювання неплавким електродом виконують, коли зварюваний виріб включено до ланцюга дуги і він є одним із полюсів останнього. Другий полюс дуги знаходиться на неплавкому (вугільному, графітовому, вольфрамовому) електроді. За рахунок тепла дуги виріб, а в низці випадків і присадний метал розплавляються. Ефективність зварювання за цього способу значно вища, ніж при зварюванні дугою побічної дії. Спосіб зварювання неплавким електродом знаходить широко поширення.

Зварювання плавким електродом виконують за тією ж схемою, що й за неплавкого електроду (виріб включено до ланцюга джерела, він є одним із полюсів дуги). Електрод – металевий, що інтенсивно розплавляється дугою і забезпечує введення в зварювальну ванну додаткового (наплавленого) металу.

Цей вид зварювання найбільш ефективний з розглянутих, що відповідно зумовить його широке застосування для виготовлення і ремонту металевих конструкцій.

Зварювання плавким електродом може виконуватися:

а) відкритою дугою, коли до сфери дуги не подають захисний газ або флюс (зона дуги доступна для спостереження). Захист від дії повітря часто здійснюють спеціальними речовинами (газотвірними, шлакотвірними), що вносяться з електродом у вигляді покриття;

б) дугою під флюсом, коли місце горіння дуги закрито порошкоподібним флюсом, теплом дуги, що розплавляють; в цьому випадку дуги не видно – вона горить у просторі (газовій порожнині), ізольованому від навколишньої

атмосфери шаром шлаку і порошкоподібного флюсу, що не розплавився. Цей метод захисту дуги характерний для механізованого автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом;

в) дугою, захищеною від повітря спеціальним газовим захистом, наприклад вуглекислим газом або інертними газами - аргоном, гелієм. Цей спосіб відносять до дугового зварювання в захисному газі спеціальних герметичних камер, наповнених газом заданого складу. Зазвичай при цьому джерелом тепла є дуга.

Широке застосовуються в промисловості і інші різновиди дугового зварювання, здебільшого плавким електродом.

Електрошлакове зварювання (рис. 5.2). Якщо над дугою певної потужності розплавити достатньо велику кількість струмопровідного шлаку, то сумісна дія струму через шлак і механічна дія маси стовпа шлаку газова порожнина дуги може виключатися. Тоді дуга згасне, і весь струм від електроду 5 переходить на зварюваний виріб 1 (другий електрод) внаслідок електропровідності розплавленого шлаку 4. Як результат тепловиділення у шлаку, зумовлені перетіканням струму, розплавляють як електрод 5, так і кромку зварюваного виробу 1, утворюючи металеву ванну 3. При вертикальному розташуванні виконуваного шва для запобігання витікання розплавленого металу та шлаку застосовують спеціальні мідні водоохолоджувальні формуючі пристрої 2. Ці пристрої зазвичай механічним шляхом переміщують поверхню зварюваних деталей з такою ж середньою швидкістю, з якою виконують шов. Внаслідок кристалізації знизу утворюють зварний шов 6.

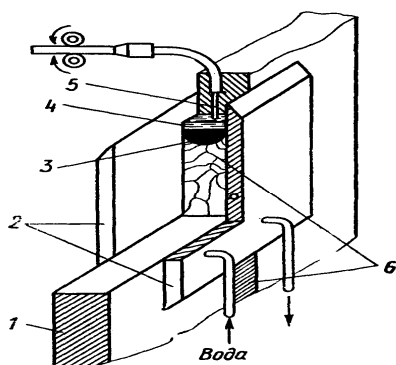


Рис. 5.2 – Схема електрошлакового зварювання

Цей спосіб застосовують для зварювання металу достатньо великої товщини, при цьому шов виконують на всю товщину металу за один прохід.

Електроннопроменеве зварювання (рис. 5.3). Зварювання здійснюють у вакуумній камері 1 при тиску $10^{-1} - 10^{-5}$ мм рт. ст. ($1,3 - 0,0013$ Н/м²). Тепло у виріб, що підлягає зварюванню, виділяють внаслідок гальмування в металі електронів спрямованого електронного променя 2. Промінь формують у спеціальній електронній гарматі 4, що має нагрівальний від трансформатора 7 катод 3. Живлення гармати здійснюють від високовольтного випрямляча напруги 6, що регулюється реостатом 5. Фокусування пучка електронів забезпечується дією електромагнітних полів спеціальних пристроїв установки.

Виконання зварювальних швів на виробі 8 заданої довжини і напрямку забезпечують за допомогою переміщення зварювального столу 9 із приводом 10, або електронного променя унаслідок переміщення гармати, або шляхом магнітного управління променем.

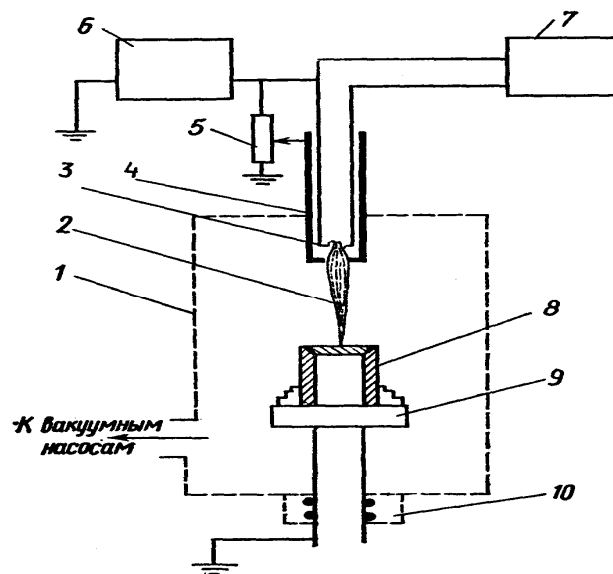


Рис. 5.3 – Схема електропроменевого зварювання

Цей спосіб зварювання застосовують і при виготовленні виробів з швидкоокислюваних або тугоплавких металів. Він може забезпечити високі швидкості зварювання і невеликі деформації зварювальних виробів.

Лазерне зварювання. В зв'язку зі створенням оптичних квантових генераторів (ОКГ) для зварювання використовують енергію когерентного променя, тобто світлового променя, що в особливий спосіб випромінюється лазером. Джерелом такого променя є газові і тверді матеріали, зокрема рубінові (корунд з додаванням 0,05 – 05% окисів хрому) стрижні або газонаповнені трубки, що опромінюються джерелами енергії. Відповідно до отриманих імпульсів через напівпрозору торцеву поверхню стрижень (трубка дає монохроматичне (наприклад, для рубіна червоного кольору з довжиною хвилі 6043Е) когерентне випромінювання). Розроблено випромінювачі з безперервним випромінюванням. Сфокусоване випромінювання може створити на поверхні виробу високу щільність енергії, що виділяється, розплавляючи і випаровуючи навіть найбільш тугоплавкі метали та з'єднання. Добираючи відповідну потужність випромінювання, сучасні установки дозволяють здійснювати зварювання металу місцевим розплавленням або накладенням суцільного шва.

Газове зварювання – це зварювання плавленням, при якому джерелом тепла є високотемпературне полум'я горючих газів. Якщо кромки двох сталевих листів 1 і 2 (двох деталей) піддати місцевому нагріванню зосередженим полум'ям 3, то вони можуть доводитися до розплавлення (рис. 5.4). Ванна 4, що утворилася під час розплавлення металів контактує з кромками обох листів. Якщо полум'я пересувати лінією стику листів у напрямку стрілки, то метал під полум'ям розплавлятиметься, а позаду полум'я у зв'язку з охолодженням –

тверднудиме. Цей затверділий метал і створює зварний шов 5. Добравши відповідний режим (потужність полум'я, швидкість його відносного переміщення кромками листів) можна отримати необхідне проплавлення металу і робочий перетин шва.

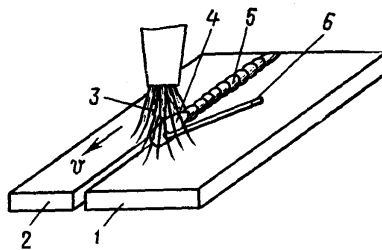


Рис. 5.4 – Схема газозварювання

Якщо товщина металу велика і забезпечити повне проплавлення важко, то кромки під зварювання обробляють скосом, отримані оброблені кромки заповнюють додатковим розплавленим присадним металом 6. Цей присадний метал зазвичай становлять прутки (стержні), що подаються до полум'я, розплавляються в ньому і поповнюють зварювальну ванну.

Термічне зварювання. При термічному зварюванні джерелом тепла є екзотермічна реакція (з виділенням тепла) взаємодії порошкоподібного оксиду і елемента з більшою активністю (спорідненістю) відносно кисню. Наприклад, якщо до тигеля 1 (рис.5.5, а) з вогнетривкого матеріалу помістити змішані порошки алюмінію і закису заліза та створити місцевий нагрів $\sim 750^{\circ}\text{C}$, то починається реакція $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe} + Q$, яка розповсюджується на весь об'єм порошку і в оптимальних умовах отримані продукти реакції (Al_2O_3 , Fe) теоретично повинні нагрітися до $\sim 3000^{\circ}\text{C}$. Практично ця температура виявляється нижчою і складає близько $2200 - 2400^{\circ}\text{C}$, за якої залізо і окис алюмінію розплавлені, і як рідини, що не змішуються, розділяються щільністю (рідке залізо збирається на дні тигля, а Al_2O_3 – у верхній його частині). Акумуляований такою рідиною запас тепла може використовуватися для зварювання тиском (рис. 5.5 б) або плавленням (рис. 5.5 в). Під час термічному зварюванні тиском на підготовлений для зварювання виріб з щільно стисненими торцями 1, 2 одягають форму 3, в яку зливають спершу Al_2O_3 , а потім Fe . Коли їхнє тепло достатньо розігріє торці і прилеглі до них об'єми металу, дають здавлюючий зварювальний тиск. При термічному зварюванні плавленням зазор між торцями, які мають бути зварені, або раковину 4 у відливанні 5 заповнюють розплавленим залізом, а потім зверху зливають Al_2O_3 . У зв'язку з перегрівом вилитої рідини кромки (наприклад, стінки раковини відливання) частково розплавляються, утворюється загальна зварювальна ванна розплавленої частини металу, що зварюється і додаткового розплавленого заліза від термічної реакції. При подальшому твердінні цієї ванни раковина або два елементи, що сполучаються, виявляються звареними без якого-небудь додаткового тиску. Можливе і комбіноване застосування цих способів.

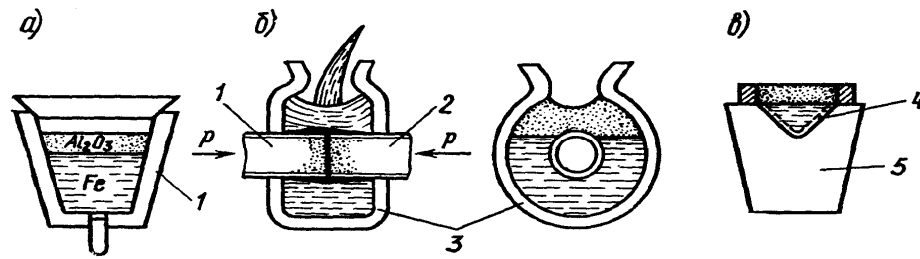


Рис. 5. 5 – Схема термітного зварювання:
 а – тигель; б – зварювання тиском; в – зварювання плавленням

3. Термомеханічний клас зварювання. Для кращого використання можливостей зварювальних технологій та управління процесом зварювання необхідні глибокі знання явищ і законів взаємодії та розвитку. Не маючи уявлення про сутність процесів термомеханічного зварювання, важко зрозуміти про переваги і недоліки того чи іншого способу зварювання. Розглянемо деякі способи термомеханічного зварювання.

Контактне зварювання. Принцип нагрівання при контактному зварюванні полягає у виділенні тепла під час проходження електричного струму будь-якою електричному опору:

$$Q = 0,24IUt = 0,24I^2 Rt$$

(Q — тепло, що виділяється, кал)

або

$$Q = IUt = I^2 Rt \quad (Q\text{-Дж}),$$

де I - сила струму, А;
 U - напруга, В;
 R — опір, Ом;
 t — час, с.

У послідовному ланцюзі в ділянці великого опору (яким стосовно зварювання є місце контакту двох зварюваних поверхонь) виділяється більша кількість тепла. Вибором відповідної потужності зварювальної машини для різних деталей можна забезпечити їхнє зварювання швидким ($0,003 \div 10c$) нагріванням і подальшим стисканням. Нагрівання здійснюється змінним струмом із застосуванням силових понижуючих трансформаторів. Залежно від зварюваних елементів і вимог до зварних з'єднань машини для контактного зварювання розрізняють за конструкцією стосовно різних видів зварювання, основними з яких є стикове, точкове і шовне.

Стикове контактне зварювання (рис. 5.6 а). Здійснюється за двома схемах: зварювання опором і зварювання оплавленням. При зварюванні опором елементи, що підлягають зварюванню, затискають у нерухомому і рухомому затискних пристроях машини. Під певним тиском p їх приводять у контакт одне з одним і включенням трансформатора за допомогою контактора забезпечують протікання зварювального струму, відрегульованого на необхідну величину. Після нагрівання металу до температури зварювання (зварювального жару) тиск p збільшують (або іноді залишають постійним) і здійснюють осідання – пластична деформація нагрітого об'єму для здійснення зварювання.

При зварюванні оплавленням напругу на зварювані торці подаютьколи між

торцями є зазор. Метал, що прилягає до оплавленої поверхні, нагрівається до пластичного стану. У потрібний момент часу контактор вимикає струм і поверхні нагрітих елементів здавлюють, при цьому виділяються залишки рідини і звільнені від неї тверді, нагріті до пластичного стану об'єми металу.

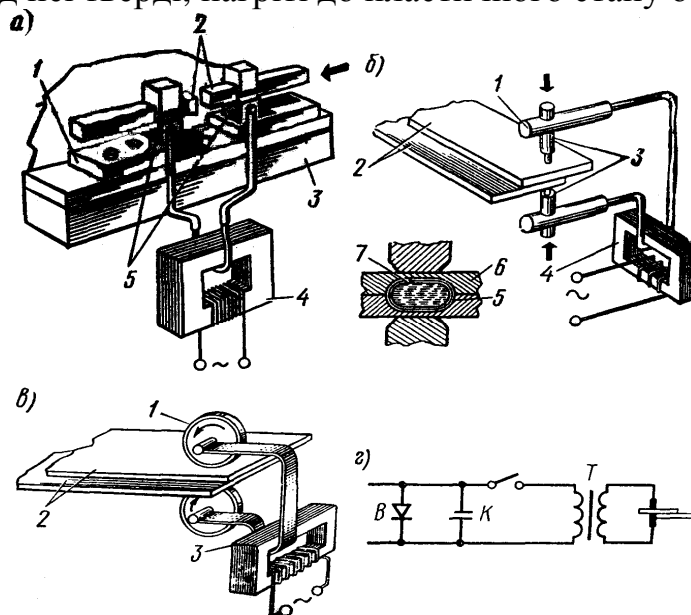


Рис. 5.6 – Схеми різних видів контактного зварювання:

а – стикова: 1 – контактна плита; 2 – зварювані деталі; 3 – станина; 4 – трансформатор; 5 – електроди; *б* – точкова: 1 – хобот; 2 – зварювані деталі; 3 – електроутримувач; 4 – трансформатор; 5 – зона термічного впливу шва; 6 – пластичний шар; 7 – розплавлене ядро; *в* – ролик: 1 – ролик; 2 – зварювані деталі; 3 – трансформатор; *г* – переривник

Точкове контактне зварювання (рис.5.6 б) здійснюють для з'єднання елементів краї яких накладають один на один. Зварювані листи (деталі) 2 і 3 затискають нерухомим 4 і рухомим 1 електродами машини, що мають плоску або злегка опуклу поверхню, для контакту із зовнішніми поверхнями зварюваних елементів. Через електроди передається і тиск p . При включенні струму трансформатора 5 контактором 6 внаслідок тепла, що виділяється, частина металу поблизу внутрішніх контактних поверхонь елементів 2 і 3 розплавляється, утворюючи ядро литого металу 7. Після виключення струму та збільшення тиску p здійснюється вдавнення елементів 2 і 3, затвердіння рідкого металу і місцеве зварювання в районі литої точки.

Шовне контактне зварювання (рис. 5.6 в) здійснюється так само, як точкове, забезпечуючи отримання не тільки міцного, а й суцільного герметичного шва. Це досягається послідовною постановкою низки крапок з частковим перекриттям подальшою крапкою попередньої.

В цьому випадку зварювані елементи 2, 3 затискають між електродами 1, 4, виконаними у вигляді дисків. При здійсненні зварювання диски, обертаючись, протягують зварювані елементи між собою, а періодичне включення і виключення струму призводить до послідовного зварювання точок.

Дифузійне зварювання. При зварюванні різних хімічно активних металів, що сильно погіршують свої властивості внаслідок взаємодії при підвищених

температурах з киснем, азотом та іншими газами, необхідно максимально унеможливити такої взаємодії в період виконання зварювальної операції. Це досягається застосуванням вакууму: зварювані вироби 1 і 2 (рис.5.7) заздалегідь поміщають у спеціальну камеру 5, з якої насосами 6 видаляють повітря до отримання вакууму $10^{-3} - 10^{-5}$ мм рт. ст. ($0,13 - 0,0013$ Н/м²). Після досягнення такого вакууму здійснюють нагрівання виробу індуктором 3, що живиться джерелом 4, і подають зварювальний тиск p .

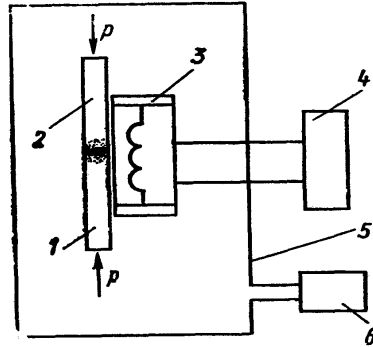


Рис. 5.7 – Схема дифузійного зварювання

Вакуум оберігає від окислення зварювані поверхні, а в низці випадків забезпечує розпад оксидів, що знаходяться на поверхнях, які нагрівають. Одночасно відбувається видалення адсорбованих газів. Це дозволяє отримувати якісні поєднання низки металів і металів з неметалами за відносно невеликої пластичної деформації поблизу місця з'єднання.

Індукційне зварювання. Нагрівання металу до температури зварювання здійснюють індукцією струму у зварюваних виробах 1,2 (рис. 5.8) спеціальним індуктором 3, що живиться від джерела струму 4. Зазвичай для такого нагрівання застосовують струм високої частоти. Форма індуктора повинна відповідати формі виробу, що нагрівають.

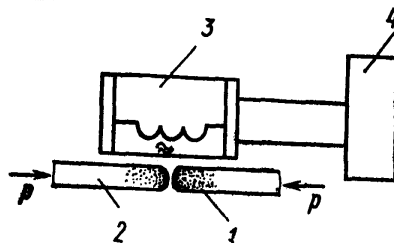


Рис 5.8 – Схема індукційного зварювання

Принципово за допомогою індукційного нагрівання можна нагрівати метал до розплавлення та здійснювати зварювання плавленням, проте на практиці застосовується зварювання тиском, коли після доведення металу до зварювального жару відбувається вдавнення зварюваних деталей.

Ковальське зварювання (рис. 5.9). Після розігрівання в сурмі (зазвичай при спалюванні твердого або рідкого пального) металу 1 до температури зварювального жару здійснюють зварювальну операцію ручним (кувалдою) або механізованим (спеціальним пристроєм 2) проковуванням. Внаслідок нагріву і протягом часу між нагріванням і проковуванням поверхонь, що підлягають зварюванню, укриваються товстим шаром оксидів. Для отримання хорошого

з'єднання поверхні мають бути очищеними. Попереднє очищення зазвичай здійснюють видаленням оксидів механічним способом. Для видалення оксидів, що залишилися, їх флюсують. Наприклад, при зварюванні сталей, коли плівка оксидів складається переважно з закису заліза (FeO), для флюсування застосовують пісок (SiO_2). При цьому знижується температура плавлення комплексного з'єднання $FeO \cdot SiO_2$ або $(FeO)_2 SiO_2$ порівняно з FeO ; оксиди в рідкому стані видавлюють під час проковування, дозволяючи отримувати якісніше з'єднання. Проте в низці випадків у зварному з'єднанні все таки залишається певна кількість оксидів (рис. 5.9 б).

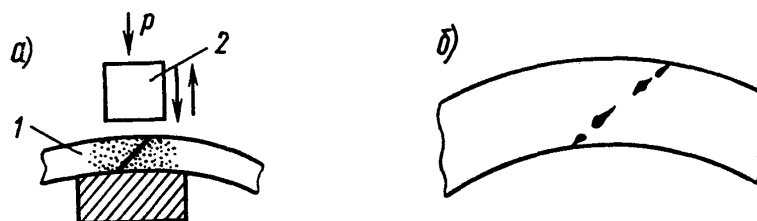


Рис. 5.9 – Схема ковальського (пічного) зварювання:
а – схема процесу зварювання; б – дефекти зварювального шва

Газопресове зварювання. Принцип газопресового зварювання аналогічний ковальському, проте для нагрівання металу використовують полум'я газоподібних паливних, які легше регулювати і дають можливість нагрівати метал більш локалізовано, у визначеному місці.

Газопресове зварювання здійснюють як з послідовним нагріванням від ділянки до ділянки відповідно до їхнього проковування або статичного вдавнення, так і з нагрівом всього перетину зварюваних елементів з одночасним стисканням (рис. 5.10). Зварювання з одночасним нагріванням всього перетину виконується зазвичай ацетиленокисневим полум'ям (температура полум'я близько $3000^{\circ}C$). Цей вид зварювання застосовується під час виконання стиків трубопроводів і низки деталей залізничного транспорту, що виготовляють з вуглецевих сталей.

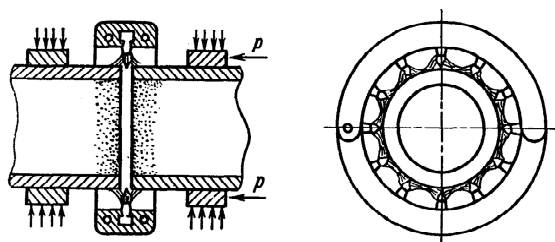


Рис. 5.10 – Схема газопресового зварювання

4. Механічний клас зварювання. Під час зварювання металу, що використовує механічну енергію, необхідна велика енергія, яка викличе таку пластичну деформацію в зоні зварювання, яка призведе до утворення зварного з'єднання. Прикладами застосування механічної енергії для зварювання є: холодне зварювання пластичних металів; зварювання вибухом; ультразвукове зварювання.

Холодне зварювання. Здійснюється при значній пластичній деформації без зовнішнього нагрівання частин, що сполучають. Якщо дві зварювані пластини 2 і 3 (рис. 5.11 а), накладені одна на одну, обжати шайбами 1, 4, які виключають

зміщення пластин при їхній деформації, потім вдавлювати у пластини пуансони 5, 6, виготовлені з твердішого металу, то об'єм металу, що видавлюється пуансонами, призведе до значної деформації металу в навколишній зоні. Із втискуванням пуансонів деформації збільшуватимуться і почнеться «перебіг» металу, зокрема поблизу поверхонь розділу пластин 2 і 3. Якщо ці поверхні заздалегідь очищені від жирових забруднень, а окисні плівки виявляться зруйнованими під час перебігу металу, то в багатьох ділянках в області деформації чисті ювенільні поверхні пластин 2 і 3 придуть в зіткнення, за якого між ними виникнуть металеві зв'язки (рис. 5.11 б). Ступінь деформації, яка призведе до такого зварювання, залежить від властивостей металів, окисних плівок, схеми деформації. Можливі і інші схеми деформації (наприклад, зрушенням).

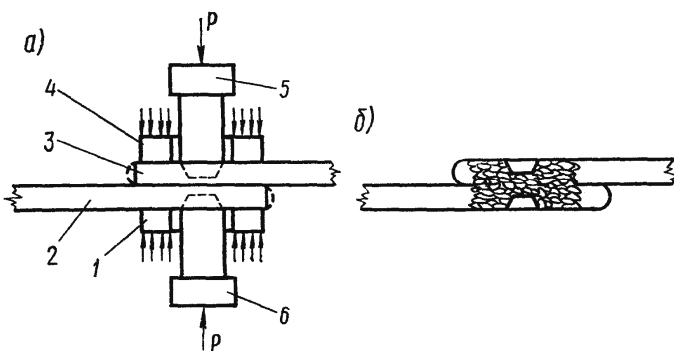


Рис. 5.11 – Холодне зварювання
а – схема процесу; б – металеві зв'язки

Зварювання вибухом. Здійснюють зіткненням частин, що швидко рухаються за початкової нормальної (близькою до кімнатної) температури. Загальна схема зварювання показана на рис. 5.12 (а). Лист 4 накладають на жорстку поверхню, а верхній лист 3 встановлюють з певним кутом ($2 - 15^\circ$) і на його верхній поверхні рівномірно розміщують необхідну кількість вибухової речовини 2 (амоніт, грануліт та ін.). Для здійснення зварювання вибух ініціюють запалом 1. Вибухова хвиля, розповсюджуючись поверхнею, створює великий тиск p і «кидає» верхній лист на нижній, здійснюючи зварювання їхніх контактуючих поверхонь (рис. 5.12 б). Очищення поверхонь здійснюють кумулятивним газовим струменем, що має величезний тиск (до 1 млн. кгс/см² або $\sim 10^{11}$ Н/м²) і вельми велику швидкість (~ 6000 м/с). Зона деформації під час зварювання відносно невелика і складає до 100 – 300 параметрів кристалічної решітки. Саме з'єднання мікрорельєфом часто отримує хвилеподібний вигляд. Деталі значних розмірів зазвичай зварюють на полігонах. Малогабаритні вироби можна зварювати у вакуумних камерах.

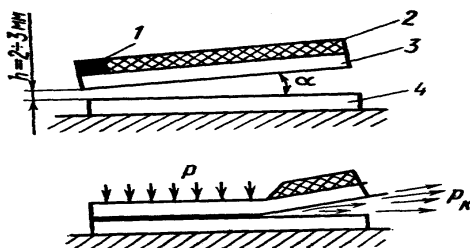


Рис. 5.12 – зварювання вибухом

Ультразвукове зварювання. Умови руйнування поверхневих окисних плівок і вступу до контакту ювенільних поверхонь можуть отримуватися не тільки завдяки загальній деформації значного об'єму, а і за допомогою місцевої деформації поверхонь біля кордону поділу пластин, які мають бути зварені. Це досягається введенням до металу ультразвукових коливань.

Генератор 1 і робочий інструмент 2 (рис. 5.13) вводять ультразвукові коливання невеликої амплітуди до виробів, що зварюється (деталі 3 і 4). Якщо потужність ультразвукових коливань (частота 8000 – 15000 Гц) виявиться достатньою, це призведе до руйнування оксидів, певного місцевого підвищення температури (термопарами до 200 – 350°C) і зварювання. Зазвичай ультразвукове зварювання застосовують для з'єднання тонких елементів або тонкостінного елемента з товстостінним.

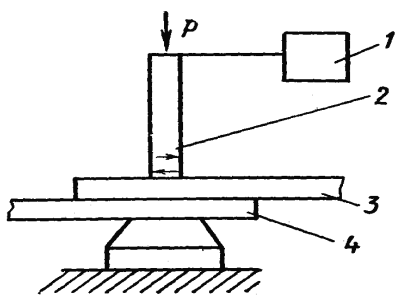


Рис. 5.13 – Ультразвукове зварювання

Контрольні запитання

1. За якими ознаками визначають зварювання? Дати визначення кожному з трьох класів зварювання.
2. Що таке «автоматичне і напіваавтоматичне зварювання»? Які електроди застосовують для цього зварювання?
3. Що таке «зварювання плавленням»? Опишіть ознаки дугового зварювання.
4. Принцип дії електронно-променевого зварювання.
5. Що таке «плазмове зварювання», принцип дії його?

ТЕМА 6. Класифікація та сутність видів електричного зварювання

1. Дугове зварювання плавленням.
2. Джерела живлення зварювальної дуги.
3. Регулятори зварювального струму.

1. Дугове зварювання плавленням. Термічний клас зварювань характеризують тим, що зварювання здійснюється плавленням кромek частин, що з'єднують. При цьому утворюється ванна розплавленого металу. Після відводу джерела нагрівання метал зварювальної ванни кристалізується й утворює зварений шов, що поєднує частини, які зварюють.

Тип зварювання визначають безпосередньо за використаним для

плавлення джерелом теплоти: дугове зварювання здійснюють теплом електричної дуги; за електрошлакового зварювання теплоту електричної дуги використовують лише на початку, а після розплавлення флюсу й утворення шлаку зварювання здійснюють теплом, яке виділяється під час проходження струму через розплавлений шлак.

Дуговим зварюванням називають зварювання плавленням, за якого нагрівання кромки, що зварюють, здійснюється теплом електричної дуги. Дугове зварювання класифікують за наступними ознаками:

- за видом електрода: який плавиться і який не плавиться;
- за видом дуги: вільна чи стиснута дуга;
- за характером впливу дуги на основний метал: дуга прямої чи непрямої дії, трифазна дуга.

Електроди, що плавляться, поділяють на штучні, дровові і стрічкові. Існують електроди суцільного перерізу, та порошкові. Електроди, що не плавляться, поділяються - на вольфрамові, вугільні і графітові. Дугове зварювання постійним струмом виконують за допомогою як промислової, так і підвищеної частоти, пульсуючим струмом.

Ручне дугове зварювання може виконуватися двома способами: електродами, що не плавляться і електродами, що плавляться.

Перший спосіб (рис. 6.1) здійснюється зварювання в наступний спосіб: кромки виробу 5, що зварюють, призводять до зіткнення. Між електродом 3, що не плавиться (вугільним, графітовим) і виробом збуджують дугу 4. Вироби і присадний матеріал 2, який вводиться до зони дуги, нагріваються до температури плавлення і утворюють ванночку розплавленого металу. Після затвердіння метал ванночки утворює зварений шов 1. Цей спосіб використовують під час зварювання кольорових металів та їхніх сплавів, а також під час наплавлення твердих сплавів.

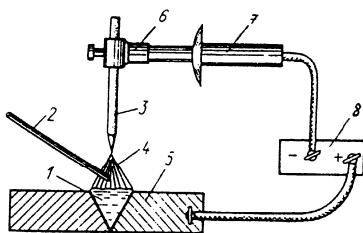


Рис. 6.1 – Схема зварювання з електродом, що не плавиться

- 1 – зварений шов; 2 – присадний матеріал; 3 – вугільний і графітовий електрод;
4 – електрична дуга; 5 – метал, що зварюється; 6 – затиск електрода;
7 – діелектрична держак; 8 – джерело живлення постійного струму*

Другий спосіб (рис. 6.2) виконується електродом, який плавиться, є основним при ручному зварюванні. Електрична дуга 2 збуджується між металевим електродом 1, що плавиться і кромки виробу, що зварюють, 4. Теплота дуги розплавляє електрод і кромки виробу. Виходить загальна ванна розплавленого металу який, охолоджуючись, утворює зварений шов 3.

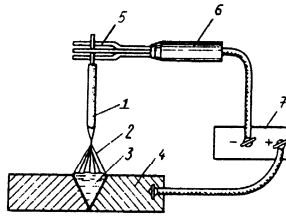


Рис. 6.2 – Схема зварювання з електродом, що плавиться
 1 – електрод, що плавиться; 2 – електрична дуга; 3 – зварений шов; 4 – метал, що зварюється; 5 – затиск електрода; 6 – діелектрична рукоятка;
 7 – джерело постійного струму (трансформатор)

Автоматичне зварювання під флюсом (рис. 6.3) виконують шляхом механізації основних рухів, що здійснює зварювальник під час ручного зварювання: подача електрода 1 уздовж вісі в зони дуги 2 і переміщення його уздовж кромки виробу 7, що зварюють. Під час напівавтоматичного зварювання подача електрода в зону дуги механізована, а переміщення електрода уздовж кромки, що зварюються, зварювальник здійснює вручну. Рідкий метал у зварювальній ванні 5 захищають від впливу кисню й азоту повітря, розплавлених шлаків 4, утворених від плавлення флюсу 3, що подається до зони дуги. Після затвердіння металу зварювальної ванни утворюється зварений шов 6. Висока продуктивність і гарна якість швів забезпечили широке застосування автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом.

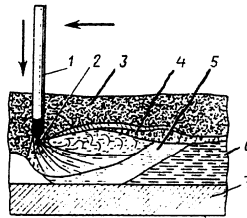


Рис 6.3 – Автоматичне і напівавтоматичне зварювання флюсів
 1 – електрод; 2 – електрична дуга; 3 – флюс; 4 – розплавлений шлак; 5 – рідкий метал зварювальної ванни; 6 – зварений шов; 7 – метал, що зварюється

Дугове зварювання в захисному газі виконують електродом 3, що не плавиться (вольфрамовим) (рис. 6.4 а) або плавиться (рис. 6.4 б).

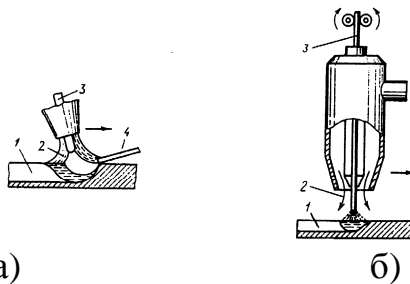


Рис. 6.4 – Дугове зварювання в захисному газі
 а) 1 – утворення звареного шва; 2 – струмінь захисного газу;
 3 – вольфрамовий електрод; 4 – присадний метал; б) 1 – зварювальний шов; 2 – струмінь захисного газу; 3 – дровий електрод

У першому випадку зварений шов формують за рахунок металу кромок виробу, що розплавляють. За необхідності до зони дуги подають присадний метал 4. У другому випадку електродний дрiт 3, що подається до зони дуги, розплавляється і бере участь в утворенні звареного шва 1. Захист розплавленого металу від окислювання і азотування здійснюють струменем захисного газу 2, що витісняє атмосферне повітря з зони дуги.

Електрошлакове зварювання здійснюється шляхом плавлення металу кромок виробу, що зварюють, і електрода теплом, що виділяється струмом під час проходження через розплавлений шлак. Крім того, шлак захищає розплавлений метал від впливу повітря. Формування звареного шва здійснюють за допомогою кромок мідних повзунів, що рухаються уздовж шва, з водяним охолодженням.

2. Джерела живлення зварювальної дуги. Важливою умовою одержання зварювального шва високої якості є стійкість процесу зварювання.

Порушення зварювальної дуги починається з короткого замикання зварювального ланцюга-контакту між електродом і деталлю. При цьому відбувається виділення тепла та швидке розігрівання місця контакту. Ця початкова стадія вимагає підвищеної напруги зварювального струму. Надалі відбувається певне зменшення опору дугового проміжку внаслідок емісії електронів із катоду і появи об'ємної іонізації газів у дузі, що викликає зниження напруги до межі, необхідної для підтримки стійкого горіння дуги. У процесі зварювання при переході крапель електродного металу в зварювальну ванну відбуваються часті короткі замикання зварювального ланцюга. Разом з цим, змінюється довжина зварювальної дуги. Під час кожного короткого замикання напруга падає до нульового значення. Для наступного відновлення дуги необхідна напруга порядку 25 – 30 В. Така напруга повинна бути забезпечена за час не більш 0,05 с, щоб підтримати горіння дуги в період між короткими замиканнями. Слід врахувати, що при коротких замиканнях зварювального ланцюга розвиваються значні струми, що можуть викликати перегрів у проводі й обмотках джерела струму.

Умови процесу зварювання визначили вимоги до джерел живлення зварювальної дуги. Для забезпечення стійкого процесу зварювання джерела живлення дуги мають задовольняти наступним вимогам:

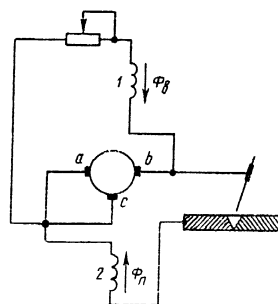
1. Напруга холостого ходу має бути достатньою для легкого збудження дуги й у той же час не повинна перевищувати норм безпеки. Максимально допустиме напруження холостого ходу встановлено для джерел постійного струму – 90 В; для джерел змінного струму – 80 В.

2. Напруга стійкого горіння дуги (робоча напруга) повинна швидко встановлюватися та змінюватися залежно від довжини дуги. Зі збільшенням довжини дуги напруга має швидко зростати, а зі зменшенням – швидко падати.

3. Струм короткого замикання не мусить перевищувати зварювальний струм більше ніж на 40 – 50%. При цьому, джерело струму має витримувати тривалі короткі замикання зварювального ланцюга.

4. Потужність джерела струму має бути достатньою для виконання зварювальних робіт.

3. Регулятори зварювального струму. Зварювальний струм регулюють у два прийоми: грубо і точно. Грубе регулювання роблять змішуванням щіткової траверси, на якій розташовані всі три щітки генератора. Якщо зрушувати щітки по напрямку обертання якоря, то розмагнічувальна дія потоку якоря збільшується і зварювальний струм зменшується. При зворотному зрушенні дія, що розмагнічує, зменшується і зварювальний струм збільшується. Таким чином, встановлюють інтервали великих і малих струмів. Плавне і точне регулювання струму роблять реостатом, включеним у ланцюг обмотки збудження. Збільшуючи чи зменшуючи реостатом струм збудження в обмотці поперечних полюсів, змінюють магнітний потік, змінюючи таким чином напругу генератора і зварювальний струм. Принципову схему генератора з розмагнічувальною дією обмотки збудження наведено на рис. 6.5.



*Рис. 6.5 – Генератор з розмагнічувальною дією обмотки збудження
1 – обмотка збудження; 2 – розмагнічувальна обмотка; b, c – щітки;
 Φ_v – магнітний потік, створюваний обмоткою; Φ_n – магнітний потік проти
потіку Φ_v ; 3 – реостат; 4 – генератор*

Генератор має дві обмотки: обмотку збудження 1 і розмагнічувальну послідовну обмотку 2. Обмотка збудження живиться або від основної і додаткової щіток (b і c), або від спеціального джерела постійного струму (від мережі перемінного струму через селеновий випрямлювач). Магнітний потік Φ_v , що створюється цією обмоткою, постійний і не залежить від навантаження генератора. Розмагнічувальна обмотка включена послідовно з обмоткою якоря так, що під час горіння дуги зварювальний струм, проходячи через обмотку, створює магнітний потік Φ_n , спрямований проти потоку Φ_v .

Отже, Е.Р.С. генератора індукуватиметься результируючим магнітним потоком $\Phi_v - \Phi_n$. Зі збільшення зварювального струму магнітний потік Φ_n зростає, а результируючий магнітний потік $\Phi_v - \Phi_n$ зменшується. Як наслідок, зменшується індукована Е.Р.С. генератора. Таким чином, розмагнічувальна дія обмотки 2 забезпечує одержання зовнішньої характеристики генератора.

Зварювальний струм регулюють переключенням витків послідовної обмотки (грубе регулювання – два діапазони) і реостатом обмотки збудження (плавне і точне регулювання в межах кожного діапазону). За такою схемою випускаються генератори ГСО-120, ГСО-300, ГСО-500 й ін.

Перетворювач типу ПСО-500, що випускається серійно й широко застосовується в будівельно-монтажних роботах, складається з генератора ГСО-500 і трифазного асинхронного електродвигуна АБ-73-4, змонтованих в єдиному корпусі на колесах для переміщення будівельним майданчиком.

Перетворювач призначений для ручного дугового зварювання, напів-автоматичного шлакового й автоматичного зварювання під флюсом. Грубе регулювання зварювального струму виконують переключенням секційної послідовної обмотки генератора. Для цього на клемову дошку генератора виведені один негативний і два позитивні контакти. Якщо необхідний зварювальний струм у межах 120 – 350А, то зварювальні дроти приєднують до негативного, а середній до позитивного контакта. Під час роботи на струмах 350 – 600А зварювальні проводи приєднують до негативного і крайнього позитивного контактів. Плавно регулюють зварювальний струм реостатом, включеним у ланцюг обмотки незалежного порушення. Реостат розташований на корпусі машини і має маховик з струмопоказчиком. Шкала має два ряди цифр, що відповідають контактам, що підключаються: внутрішній ряд – 350А, зовнішній ряд – 600А.

Для виконання зварювальних робіт за відсутності електроенергії (на новобудовах, монтажних роботах, у польових умовах, при зварюванні водоводів) застосовують пересувні зварювальні агрегати, що складаються зі зварювального генератора і двигуна внутрішнього згоряння.

Контрольні запитання

1. Схарактеризуйте фізичну сутність і властивості зварювальної дуги. Зв'язок між дугою та джерелом живлення.
2. Опишіть принцип пристрою і роботу зварювального перетворювача та генератора з розщепленими полюсами.
3. Чим здійснюється регулювання зварювального струму? Які перетворювачі застосовують у будівництві і монтажі водопровідно-каналізаційних мереж?
4. Чим здійснюється електричне зварювання в польових умовах?
5. Як здійснюється зварювання багатопостовим перетворювачем?
6. Які бувають зварювальні апарати змінного струму? Опишіть їхню будову, подайте характеристику.
7. На чому заснований зварювальний випрямлювач?

ТЕМА 7. Газове зварювання та кисневе різання

1. Обладнання газозварювальних постів.
2. Сутність процесу кисневого різання.
3. Зварювання полімерів і пластмас.

1. Обладнання газозварювальних постів. Газовим зварюванням називають зварювання плавленням, при якому нагрівання кромки частин і присадного матеріалу виконується теплом згоряння паливних газів у кисні.

Газове зварювання класифікується за видом пального газу, що застосовується (ацетиленокисневе, керосинокисневе, бензинокисневе, пропанобутанокисневе). Велике застосування одержали газові зварювання ацетиленокисневе і пропанобутанокисневе.

Для проведення робіт з газового зварювання зварювальні пости повинні

мати наступне устаткування й інвентар:

- ацетиленовий генератор чи балон з палим газом;
- кисневий балон;
- редуктори (кисневий і для пального газу);
- зварювальний пальник з набором змінних наконечників;
- шланги для подачі пального газу і кисню в пальник;
- зварювальний стіл;
- пристрої, необхідні для збирання виробів під зварювання;
- комплект інструментів зварювальника;
- окуляри з захисним склом;
- спецодяг зварювальника.

2. Сутність процесу кисневого різання. Кисневе різання засноване на властивості металів і їхніх сплавів згоряти у струмені технічно чистого кисню. Різанням піддаються метали, що задовольняють наступним основним вимогам:

1. Температура плавлення металу повинна бути вищою за температуру горіння його в кисні. Метал, що не відповідає цій вимозі, плавиться, а не згоряє. Наприклад, низьковуглецева сталь має температуру плавлення близько 1500°C , а спалахує в кисні при температурі $1300^{\circ}\text{C} - 1350^{\circ}\text{C}$. Збільшення вмісту вуглецю в сталі супроводжується зниженням температури плавлення і підвищенням температури запалення в кисні. Тому різання сталі зі збільшенням вмісту вуглецю і домішок ускладнюється.

2. Температура плавлення оксидів повинна бути нижчою за температуру плавлення самого металу, щоб оксиди, які утворюються, легко видувалися і не перешкоджали подальшому окислюванню та процесу різання. Наприклад, під час різання хромистих сталей утворюються оксиди хрому з температурою плавлення 2000°C , а під час різання алюмінію – оксиди з температурою плавлення близько 2500°C . Ці оксиди вкривають поверхню металу та припиняють подальший процес різання.

3. Шлаки, що утворюються під час різання, мають бути досить рідинотекучими і легко видуватися з розрізу. Тугоплавкі і в'язкі шлаки будуть перешкоджати процесу різання.

4. Теплопровідність металу повинна бути найменшою, тому що високої теплопровідності тепло буде відводитися від ділянки різання і підігрівати метал до температури запалення буде важко.

5. Кількість тепла, що виділяється під час згорання металу, повинна бути якомога більшою; це тепло сприяє нагріванню ділянок металу, забезпечуючи таким чином безперервність процесу різання. Наприклад, при різанні низьковуглецевої сталі 65 – 70 % загальної кількості тепла виділяється від згорання металу в струмені кисню і тільки 30...35% складає тепло від підігрівачого полум'я різача.

Виділяють два основних види кисневого різання: роздільне і поверхневе:

Роздільне різання застосовують для вирізання різного виду заготовок, розкрою листового металу, оброблення кромки під зварювання та інших робіт, пов'язаних з обробленням металу. Сутність процесу полягає в тому, що метал уздовж лінії розрізу нагрівають до температури згорання його в кисні, він

згоряє в струмені кисню, а оксиди, що утворюються, видувуються цим струменем із місця розрізу.

Поверхнєве різання застосовують для зняття поверхневого шару металу, обробки каналів, видалення поверхневих дефектів та інших робіт. Різачки мають велику довжину та збільшені перетини каналів для газів полум'я підігрівачого полум'я і різального кисню.

3. Зварювання полімерів і пластмас. Полімери і пластмаси мають багато цінних властивостей (достатня міцність, антикорозійність, стійкість проти хімічно агресивних середовищ, теплостійкість та ін.), набувають поширення в різних галузях народного господарства не тільки як замітники дефіцитних матеріалів, а і як основні конструкційні матеріали.

Полімер – високомолекулярна органічна сполука, що характеризується багаторазовим повторенням одного чи кількох складених ланок. Залежно від структури і форми макромолекул розрізняють: термопластичні полімери, що плавляться до в'язкотекучого стану без зміни структури; вони піддаються повторному нагріванню і технологічній обробці. Термореактивні полімери при нагріванні змінюють свою структуру, внаслідок чого виключається їхнє повторне розм'якшення.

Пластмаси становлять суміші на основі полімеру, до яких входять добавки (наповнювачі, стабілізатори, пластифікатори, пігменти, барвники, затверджувачі й т. д.). Вони застосовуються для виготовлення різних деталей і конструкцій.

Для зварювання полімерів і пластмас застосовують наступні способи:

- зварювання нагрітим газом;
- зварювання нагрітим інструментом.

Зварювання нагрітим газом. Поверхні, що з'єднуються, розігрівають струменем гарячого газу чи повітря до визначеної в'язкості і потім притискають один до одного під певним тиском. Зварювання виконують без присадного матеріалу та з застосуванням присадного матеріалу у вигляді дротика. Найбільшою міцністю і щільністю володіють стикові з'єднання з застосуванням присадний дротика.

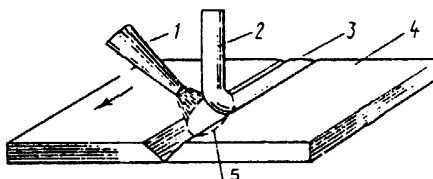


Рис. 7.1 – Зварювання нагрітим газом

*1 – струмінь гарячого газу; 2 – присадний дротик; 3 – зварений шов;
4 – виріб, що зварюється; 5 – кромки*

Присадний дротик 2 вдавлюється в розширення кромки 5 виробу, що зварюється, 4. Нагріті струменем гарячого газу 1 кромки виробу і присадний дротик злипаються під тиском та утворюють зварений шов.

Зварювання нагрітим інструментом полягає в тому, що зварювальні поверхні, контактуючи зі спеціальним нагрівальним інструментом, розігріваються до певної температури і зварюються під тиском з наступним

охолодженням. Розрізняють зварювання: стикове, розтрубне (для з'єднання труб) і напускове (для з'єднання тонкостінних виробів і плівок).

При зварюванні нагрітим газом та інструментом міцність і щільність шва забезпечується правильною підготовкою зварних кромки. Шви стикових з'єднань деталей товщиною до 4 мм виконують без оброблення кромки. За великої товщини застосовують V-подібне чи X-подібне оброблення кромки. X-подібні шви міцніші і вимагають менше присадного матеріалу порівняно з V-подібними.

Контрольні запитання:

1. Описати класифікацію газового зварювання. Якими бувають ацетиленові генератори? Принцип дії ацетиленового генератора низького тиску.
2. Будова і принцип дії ацетиленового генератора середнього тиску.
3. Які властивості кисню? У якому вигляді одержують кисень?
4. Призначення однокамерного редуктора. Його будова.
5. За якими ознаками класифікують газові пальники? Пристрій інжекторного пальника.
6. Опишіть діаграму зварювального полум'я.
7. Сутність процесу кисневого різання. Наведіть схему інжекторного пальника та опишіть його будову.
8. Опишіть технологію кисневого різання.

ТЕМА 8. Техніка безпеки проведення зварювальних робіт

1. Основні положення техніки безпеки при електричному зварюванні.
2. Захист від отруєнь шкідливими газами.

1. Основні положення техніки безпеки при електричному зварюванні. Виконання зварювальних робіт пов'язано з використанням електричних пристроїв, пальних і вибухонебезпечних газів, що випромінюють електричних дуг і плазми з інтенсивним випарюванням, бризкоутворенням металу й т.д. Це вимагає заходів безпеки та захисту працюючих від виробничого травматизму.

Під час електрозварювальних роботах можливі наступні види виробничого травматизму:

- ураження електричним струмом;
- ураження зору і відкритої поверхні шкіри променями електричної дуги;
- опіки від крапель металу та шлаку;
- отруєння організму шкідливими газами, пилом і випарами, що виділяються під час зварювання;
- забиті місця, поранення і ураження від вибухів балонів стисненого газу і при зварюванні посудин із-під пальних речовин.

Захист від ураження електричним струмом. Справний стан устаткування та правильне виконання зварювальних робіт виключається ймовірність ураження струмом.

Корпуси джерел живлення дуги, зварювального допоміжного

устаткування та вироби, що зварюються, повинні надійно заземлюватися. Заземлення здійснюють мідним проводом, один кінець якого закріплюють на корпусі джерела живлення дуги спеціальним болтом із написом «земля», другий кінець приєднують до заземлювальної шини чи металевого штиря, забитого в землю.

Заземлення пересувних джерел живлення виконують до їхнього ввімкнення в силову мережу, а зняття заземлення – тільки після відключення від силової мережі.

Для підключення джерел зварювального струму до мережі використовують настінні шухляди з рубильниками, запобіжниками й затискачами. Довжина дротів мережевого живлення не повинна перевищувати 10 м.

Під час зовнішніх робіт зварювальне устаткування має перебувати під навісом, у наметі або в будці для захисту від дощу та снігу. За відсутності можливості дотримання цих умов зварювальні роботи не проводять, а зварювальну апаратуру укривають від впливу вологи.

На практиці можливі ураження електричним струмом унаслідок несправності зварювального устаткування чи мережі заземлення; неправильного підключення зварювального устаткування до мережі; несправності електропроводки і неправильного ведення зварювальних робіт. Ураження електричним струмом відбувається при дотику до струмонесучих частин електропроводки і зварювальної апаратури.

Напруга холостого ходу джерел живлення дуги сягає 90 В, а при плазмо-дуговому різанні – 200 В. Враховуючи, що опір людського організму залежно від його стану (стомленість, вологість шкіри) може змінюватися в широких межах (1000...20000 Ом), то зазначені напруги дуже небезпечні для життя. Ураження струмом більш 0,05 А може викликати важкі наслідки і навіть смерть.

Небезпека ураження зварювальника і підсобного робітника струмом особливо велика зварюванні великогабаритних резервуарів, під час роботи всередині ємкості лежачи чи напівлежачи на металевих частинах виробу, що зварюється, при виконанні зовнішніх робіт у сиру погоду, в сирих приміщеннях, котлованах, колодязях та ін.

Приєднувати чи від'єднувати від мережі електрозварювальне устаткування, а також спостерігати за його справним станом у процесі експлуатації зобов'язаний електротехнічний персонал. Зварникам забороняється виконувати ці роботи.

При зварюванні швів резервуарів, казанів, труб тощо, закритих і складних конструкцій необхідно користуватися гумовим килимком, шоломом і калошами. Для освітлення треба застосовувати переносну лампу напругою 12 В.

При роботах усередині резервуара або при зварюванні складної металеві конструкції, а також при зварюванні ємкостей з-під пальних і легкозаймистих речовин до зварювальника призначається черговий спостерігач, який зобов'язаний забезпечити безпеку робіт і за необхідності надати першу допомогу.

При ураженні електричним струмом постраждалому потрібно надати першу допомогу: звільнити його від електропроводів; забезпечити доступ свіжого повітря і, якщо потерпілий знепритомнів, негайно викликати швидку медичну

допомогу. У разі необхідності до прибуття лікаря роблять штучне дихання.

Захист зору і відкритих поверхонь шкіри від променів електричної дуги. Горіння зварювальної дуги супроводжується випромінюванням видимих сліпуче-яскравих світлових променів, а також невидимих ультрафіолетових та інфрачервоних променів.

Яскравість видимих променів значно перевищує норму, яка допускати для людського ока, тому, якщо дивитися на дугу неозброєним оком, вони справляють сліпучу дію. Ультрафіолетові промені навіть за короткочасної дії протягом кількох секунд викликають захворювання очей, що називається електрофтальмією. Воно супроводжується гострим болем, різью в очах, слезотечею, спазмами повік. Тривале опромінення ультрафіолетовими променями викликає опіки шкіри.

Інфрачервоні промені при тривалому впливі викликають помутніння кришталіків ока (катаракту), що може призвести до тимчасової і навіть повної втрати зору. Теплова дія інфрачервоних променів викликає опіки шкіри обличчя.

Для захисту зору та шкіри обличчя від світлових і невидимих променів дуги електрозварювальники і їхні підручні повинні закривати обличчя щитом, маскою чи шоломом, до оглядових отворів яких вставлене спеціальне скло – світлофільтр. Світлофільтр обирають залежно від зварювального струму і виду зварювальних робіт.

Для захисту оточуючих від впливу випромінювання в стаціонарних цехах установлюють закриті зварювальні кабінки, а при будівельних і монтажних роботах застосовують переносні щити чи ширми.

Захист від бризок металу і шлаку. У процесі зварювання, при збиранні й оббиванні шлаку краплі розплавленого металу та шлаку можуть потрапити у складки одягу, кишеню, черевики, пропалити одяг і спричинити опіки. Щоб уникнути опіків зварювальник повинен працювати у спецодязі з брезенту чи щільного сукна, у рукавицях і головному уборі. Куртку не слід заправляти у штани. Кишені повинні бути щільно закриті клапанами. Штани треба носити поверх взуття. При зварюванні стельових, горизонтальних і вертикальних швів необхідно надягати брезентові нарукавники та щільно зав'язувати їх поверх рукавів на кистях. Зачищати шви від шлаку та флюсу потрібно лише після їхнього повного охолодження й обов'язково в окулярах із простим склом.

2. Захист від отруєнь шкідливими газами. Особливе забруднення повітря викликає зварювання електродами з якісними покриттями. Склад пилу і газів визначається змістом покриття та складом зварюваного й електродного матеріалу. При автоматичному зварюванні кількість газів і пилу значно менша, ніж при ручному.

Зварювальний пил становить суміш дрібних часток окисів металів і мінералів. Основними складниками є оксиди заліза, до 70 % марганцю, кремнію, хрому, а також фтористі й інші поєднання. Найбільш шкідливими речовинами, що входять до складу покриття, флюсу та металу електрода, є хром, марганець і фтористі з'єднання. Крім аерозолів, повітря в робочих приміщеннях під час зварювання забруднюється різними шкідливими газами,

наприклад, оксидами азоту, вуглецю, фтористим воднем.

Видалення шкідливих газів і пилу з зони зварювання, а також подача чистого повітря здійснюються місцевою і загальною вентиляцією. При обладнанні зварювальних кабін обов'язково передбачають місцеву витяжну вентиляцію з верхнім, бічним або нижнім відсмоктуванням пилу, що видаляє гази та пил безпосередньо з зони зварювання. Загальна вентиляція повинна бути припливно-витяжною і здійснювати відсмоктування забрудненого повітря з робочих приміщень і подачу свіжого.

Контрольні запитання

1. Які покриття застосовують для електродів у залежності від складу металу, що зварюється.
2. Які інструменти і прилади застосовуються зварювальником для роботи?
3. Які заходи техніки безпеки має дотримувати електрозварювальник?
4. Які захисні заходи передбачені від ураження шкіри і зору електродуговим зварюванням?
5. Заходи захисту від отруєнь шкідливими газами, пилом і випарами.

Рекомендовані джерела:

1. Геворняк В.Г. Основы сварочного дела. – М.: Высш. шк., 1991. – 239 с.
2. Жуков А.П., Малахов А.И. Основы металловедения и теория коррозии. – М.: Высш. шк., 1991. – 168 с.
3. Лахтин В.Г. Металловедение и термическая обработка. – М.: Металлургия, 1987. – 405 с.
4. Стеилов О.И. Основы сварочного производства. – М.: Высш. шк., 1996. – 224с.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Аверченко П. А. Технология конструкционных материалов. Терминологический справочник. – К.: Вища школа, 1984. – 112 с.
2. Виноградов В. С. Оборудование и технология автоматической и механизированной сварки. – М.: Высшая школа, 2000. – 240 с.
3. Китаев А. М., и др. Дуговая сварка. – М.: Машиностроение, 1983. – 272 с.
4. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1980. – 493 с.
5. Маслов В. И. Сварочные работы. – М.: И.Р.П.О., 1998. – 180 с.
6. Никифоров В. В. Технологія металів і конструкційні метали. – К.: Вища школа, 1984. – 340 с.
7. Никифоров И. И. Справочник газосварщика и газорезчика. – М.: Высшая школа, 1999. – 260 с.
8. Попович В. В., Голубець В. Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Суми: Університетська книга, 2002. – 259 с.
9. Рыбаков В.М. Дуговая и газовая сварка. – М.: Высшая школа, 1986. – 156 с.
10. Соколов И. И. Газовая сварка и резка металлов. – М.: Высшая школа, 2003. – 234 с.
11. Фетисов М. Г., Карпман В. М. и др. Материаловедение и технология металлов. – М.: Высшая школа, 2000. – 640 с.

Навчальне видання

Беляєва Валентина Михайлівна

Конспект лекцій

з дисципліни

«Металознавство та зварювання»

(для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання
за напрямом підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)»
та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.092601,
7.06010108 «Водопостачання та водовідведення»)

Редактор *К. В. Дюкар*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2010, поз. 50 Л

Підп. до друку 15.03.2011 р.

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 3,1

Тираж 50 пр.

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.