

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Володимира Даля

КАФЕДРА БУДІВНИЦТВА, УРБАНІСТИКИ ТА ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ

ОПОРНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«МЕТАЛОЗНАВСТВО ТА ЗВАРЮВАННЯ»

(для здобувачів вищої освіти спеціальності
G19 Будівництво та цивільна інженерія)

(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО

**на засіданні кафедри будівництва, урбаністики
та просторового планування**

Протокол №2 від 16.09.2025 р.

Київ 2025

УДК 621.791.07

Опорний конспект лекцій з дисципліни "Металознавство та зварювання" (для здобувачів вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія») (Електронне видання) / Уклад.: Білошицький М.В. – Київ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2025. – 67 с.

Методичне видання спрямоване на вивчення і засвоєння здобувачами самостійно та на підставі лекційного матеріалу теоретичної основи та практичного матеріалу з дисципліни «Металознавство та зварювання». Конспект лекцій, охоплює широкий спектр тем, вивчення яких є обов'язковим для фахівців зі спеціальності "Будівництво та цивільна інженерія": питання основних положень металознавства та зварювання, основні марки металів та сплавів які використовуються у будівництві, найбільш поширені види зварювання термічного класу які використовуються у будівництві, особливості дугового зварювання різних конструкцій, технологія ручного дугового зварювання.

Укладач: М.В. Білошицький, к.т.н., доцент кафедри БУПП

Рецензент: Г.О. Татарчкнко, д.т.н., професор, завідувач кафедри БУПП

Зміст

1. Вступ. Завдання дисципліни і розподіл навчальних годин.	4
2. Основні вимоги дисципліни "Металознавство та зварювання".	5
3. Навчально-тематичний план дисципліни "Металознавство та зварювання".	6
Зміст навчальних тем.	6
Тема 1. Ведення. Кристалічна будова металів. Плавлення і кристалізація сплавів і металу зварної ванни.	7
Тема 2. Основні відомості про електричне зварювання.	15
Тема 3. Теорія сплавів. Діаграми стану.	23
Тема 4. Залізо і сплави на його основі.	33
Тема 5. Сталі та чавуни.	40
Тема 6. Леговані сталі. Особливості дугового зварювання різних конструкцій.	49
Тема 7. Особливості дугового зварювання різних конструкцій. Кольорові метали та сплави.	56
Рекомендовані джерела.	65

ВСТУП

1. ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ І РОЗПОДІЛ НАВЧАЛЬНИХ ГОДИН

Дисципліна «Металознавство та зварювання» є узагальнюючим і завершальним у комплексній системі підготовки інженерів-будівельників.

Завданням дисципліни «Металознавство та зварювання» є навчання здобувачів теорії і практиці вирішення організаційно-технічних задач загальних положень металознавства та зварювання, технологій та особливостей зварювання різних конструкцій які використовуються у будівництві.

Програма дисципліни «Металознавство та зварювання» розрахована на вивчення теоретичного матеріалу і придбання практичних навичок в організації та розрахунках зварювальних процесів у будівництві з розподілом навчальних годин на лекції та лабораторні роботи, самостійну роботу:

Усього – 150 годин,

у тому числі:

лекції – 26 годин;

лабораторні роботи – 24 години;

самостійна робота – 100 годин.

Для закріплення знань здобувачів з дисципліни «Металознавство та зварювання» і придбання практичних навичок з металознавства та зварювального виробництва у будівництві передбачене виконання самостійної роботи.

Контроль освоєння програмного матеріалу протягом семестру здійснюється на лабораторних заняттях, а також при виконанні самостійної.

Результати роботи здобувачів денної і заочної форми навчання перевіряються за результатами лабораторних робіт і виконання самостійного завдання.

Для підсумкового контролю знань програмного матеріалу з дисципліни «Металознавство та зварювання» передбачено залік.

2. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «МЕТАЛОЗНАВСТВО ТА ЗВАРЮВАННЯ»

У результаті вивчення дисципліни «Металознавство та зварювання» здобувач повинен

знати:

1. Основні положення металознавства та зварювання.
2. Основні марки металів та сплавів які використовуються у будівництві.
3. Найбільш поширені види зварювання термічного класу які використовуються у будівництві.
4. Особливості дугового зварювання різних конструкцій.
5. Технологію ручного дугового зварювання.

У результаті вивчення курсу «Металознавство та зварювання» здобувач повинен

вміти:

1. Вибрати зварювальне обладнання.
2. Підібрати електроди та розраховувати режими зварювання різних конструкцій з конкретного металу або сплаву.
3. Досліджувати зварні з'єднання методами металографічного аналізу.

У результаті вивчення курсу «Металознавство та зварювання» студент повинен

мати уявлення:

Про нові сплави, які застосуються у будівництві, методи їх зварювання та контролю зварних з'єднань.

3. НАВЧАЛЬНО-ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ «МЕТАЛОЗНАВСТВО ТА ЗВАРЮВАННЯ»

Найменування тем:

1. Ведення. Кристалічна будова металів. Плавлення і кристалізація сплавів і металу зварної ванни.
2. Основні відомості про електричне зварювання.
3. Теорія сплавів. Діаграми стану.
4. Залізо і сплави на його основі.
5. Сталі та чавуни.
6. Леговані сталі. Особливості дугового зварювання різних конструкцій.
7. Особливості дугового зварювання різних конструкцій. Кольорові метали та сплави.

ТЕМА № 1.

Тема: Ведення. Кристалічна будова металів. Плавлення і кристалізація сплавів і металу зварної ванни.

План:

1. Цілі і завдання курсу.
2. Кристалічна будова металів.
3. Поняття про метали.
4. Загальна характеристика та структурні методи дослідження металів.
5. Атомно-кристалічна структура металів.
6. Поняття про зварюваність.
7. Фізичні процеси і властивості електричної зварювальної дуги.
8. Плавлення і кристалізація сплавів і металу зварювальної ванни.
9. Первинна кристалізація. Закономірності кристалізації зварного шва.
10. Вторинна кристалізація.

ВСТУП

У зв'язку з тим, що матеріалознавство, що розглядає закономірності зміни стану і властивостей металевих матеріалів різної природи і складу при різних умовах впливу зовнішніх факторів, є однією з основ зварювального процесу, метою викладання дисципліни є навчити інженерів застосовувати основні методи управління конструкційної міцністю матеріалів і проводити обґрунтований вибір матеріалу для виробів з урахуванням умов їх експлуатації.

1. Кристалічна будова металів.

1.1. **Метали** – тверді непрозорі тіла, що володіють, специфічним «металевим» блиском, ковкістю, плинністю, високої тепло- і електропровідністю.

Чорні метали мають темно-сірий колір, велику щільність, високу температуру плавлення і відносно високу твердість.

Кольорові метали мають забарвлення (червоне, жовте, біле), мають високу пластичність, низьку твердість, відносно низьку температуру плавлення.

1.2. Кристалічні решітки металів

Метали – тверді тіла, що мають кристалічну будову, яку представляють у вигляді просторової решітки, у вузлах якої розташовані атоми.

Основні типи решіток (рис. 1.1)

а). ОЦК – об'ємно-центрована кубічна (Fe_α , Cr, V, W), $\kappa = 8$

б) ГЦК – гране-центрована кубічна (Fe_β , Cu, Ni, Al), a -параметр решітки, $\kappa = 12$

в) ГЦУ – гексагональна щільноупакована решітка (Zn, Ca, Mg), $a \leq c$, $\Gamma = 12$

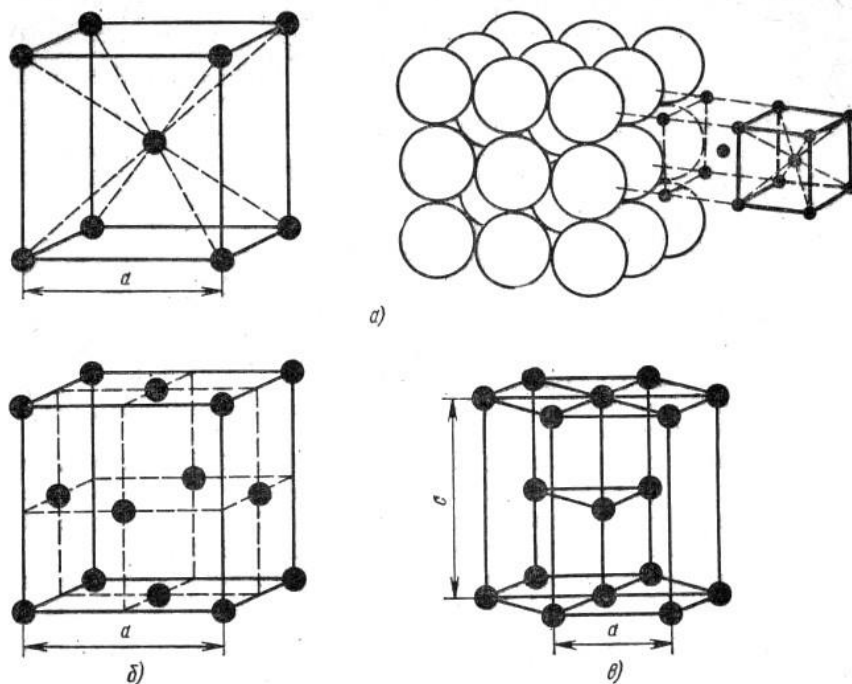


Рис. 1.1. Основні типи решіток

Характеристики решіток

1. Розміри кристалічної решітки характеризуються параметрами – відстань між центрами сусідніх атомів. Вимірюється, методами рентгеноструктурного аналізу, в ангстремах.

2. Будова характеризується координаційним числом, коефіцієнтом заповнення

решітки. Координаційним числом називається кількість атомів, що знаходяться на рівній найбільш близькій відстані від даного атома.

3. Коефіцієнт заповнення решітки – це відношення об'єму зайнятого атомами до об'єму осередку.

Щільність розташування атомів в різних площинах і напрямках кристалічної решітки неоднакова. У реальних кристалах ідеальної кристалічної решітки не існує, так як чітка закономірність побудови кристалічної решітки порушується наявністю недосконалостей.

До недоліків кристалічної будови відносяться: точкові дефекти (вакансії рис. 1.2 а, б і міжвузельні атоми), лінійні дефекти – недосконалості в двох вимірах і велика протяжність в третьому вимірі, поверхневі дефекти – малі тільки в одному вимірі.

Зварювання – процес отримання нероз'ємних з'єднань за допомогою встановлення міжатомних зв'язків між частинами, що зварюються при їх загальному місцевому нагріванні, або пластичній деформації, або спільній дії того й іншого.

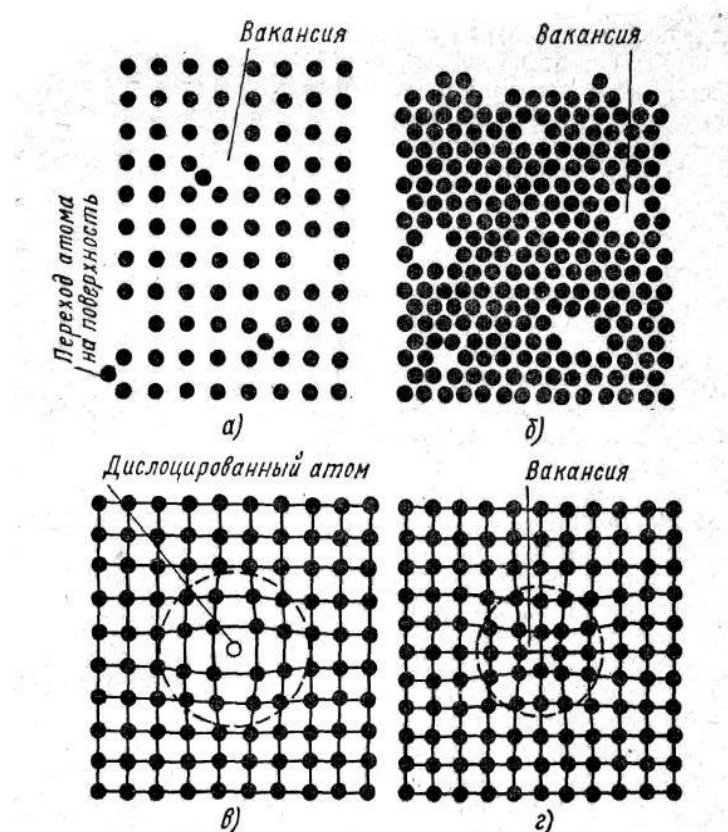


Рис. 1.2. Недоліки кристалічної будови

Електрична зварювальна дуга

Електрична дуга являє собою тривалий стійкий електричний розряд між двома електродами в іонізованому газовому середовищі.

Дугового розряд – один з видів електричного розряду в газах; дуга являє собою стійкий дуговий розряд.

Для зварювання металів зазвичай використовують електричну дугу прямої дії, в якій одним електродом 1 служить вугільний або металевий стрижень (рис. 1.3), а другим – виріб, що зварюється 3. До електродів підведено живлення від джерела 2 постійного струму. Дуга може живитися і від джерела змінного струму промислової частоти (50 Гц).

Дуга складається з анодної області 4, катодної області 6 і стовпа 5. В електричній дузі при невеликому її об'ємі виділяється значна кількість тепла. Велика концентрація тепла і висока температура дуги (5000...7000°C – по осі стовпа) дозволяє розплавляти практично всі метали і сплави. На поверхнях анода і катода температура дуги знижується до 3500...4000°C. Електрична дуга виникає в результаті сильного нагріву торця електрода (катода), який під дією електричного поля починає випускати вільні електрони (електронна емісія). Для підвищення ступеня іонізації (іонізація – процес утворення іонів), а отже, для стабілізації дуги, в дуговий проміжок вводять такі елементи, які володіють найменшим потенціалом. Такими елементами є калій, натрій, барій та ін. Сполуки, в які входять ці елементи, вводять в покриття електродів або в захисний флюс. Електричну дугу збуджують коротким замиканням зварювального ланцюга і наступним швидким відведенням електрода від виробу, що зварюється.

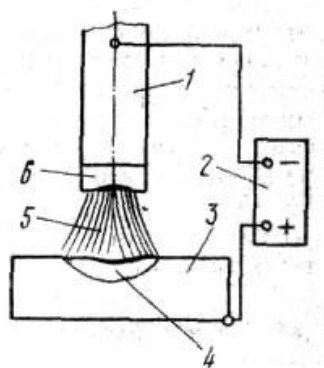


Рис. 1.3. Схема зварювання

Плавлення і кристалізація сплавів зварювальної ванни

Плавлення – перехід металу з твердого стану в рідке. При зварюванні під дією тепла на металі, що зварюється, утворюється ванна, що представляє собою сплав основного і присадочного матеріалу. У міру пересування джерела тепла, а також внаслідок відводу тепла з ванни в масу зварюваного матеріалу і теплообміну з навколишнім середовищем температура металу зварювальної ванни знижується і в ній починається процес кристалізації.

Кристалізація буває первинною і вторинною.

Первинна кристалізація

Первинна кристалізація – перехід металу з рідкого стану (якому характерно хаотичне розташування атомів) в твердий кристалічний стан (з упорядкованим розташуванням атомів).

Зміна вільної енергії рідкого і твердого станів в залежності від температури (рис. 1.4).

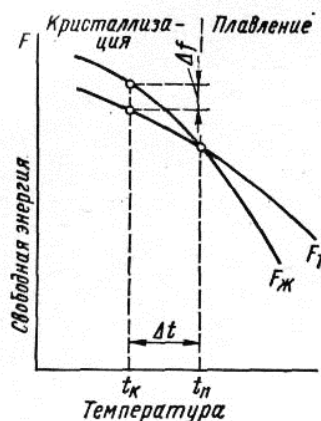


Рис. 1.4. Зміна вільної енергії рідкого і твердого станів

Вище температури t_n більш стійкий рідкий метал, який має менший запас вільної енергії, а нижче цієї температури стійкий твердий метал. При температурі t_n величини вільних енергій рідкого і твердого станів рівні. Температура t_n відповідає рівноважній температурі кристалізації (або плавлення) даної речовини, при якій обидві фази (рідка і тверда) можуть співіснувати одночасно і при тому нескінченно довго. Процес кристалізації при цій температурі ще не починається. Процес кристалізації розвивається, якщо створені умови, коли виникає різниця вільних енергій Δf утворюється внаслідок меншої вільної енергії твердого металу в

порівнянні з рідким.

Процес кристалізації може протікати тільки при переохолодженні металу нижче рівноважної температури t_n . Різниця між температурами t_n і t_c , при яких може протікати процес кристалізації, носить назву ступеня переохолодження: $t_c = t_n - t_{ж}$.

При переохолодженні сплаву нижче температури t_n в багатьох ділянках рідкого сплаву утворюються стійкі, здатні до зростання кристалічні зародки, які називають критичними (рис. 1.5).

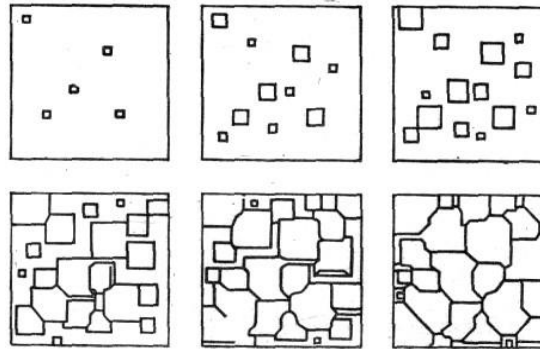


Рис. 1.5. Схема кристалізації

Поки кристали, що утворилися ростуть вільно, вони мають більш-менш правильну геометричну форму. Однак при зіткненні зростаючих кристалів їх правильна форма порушується, так як в цих ділянках, зростання граней припиняється. Після затвердіння кристали отримують неправильну зовнішню форму і тому називаються кристалітами, або зернами.

Число центрів кристалізації і швидкість росту кристалів залежать від ступеня переохолодження. Змінюючи ступінь переохолодження можна отримати кристали різної величини. Розмір зерна сильно впливає на механічні властивості виробів. Чим дрібніше зерно, тим вище міцність і особливо в'язкість.

Закономірності кристалізації зварного шва

З віддаленням від вогнища дуги за різними напрямками температура рідкого металу знижується. Зростання кристалів в хвостовій частині ванни значно випереджає зростання кристалів з кромки в зоні максимальних температур, тому, що в хвостовій частині ванни температура нижче. Зростання кристалів йде від закристалізованої поверхні металу шва. Кристали з хвостової частини мають велику

довжину. Кристали з бічної поверхні складають з віссю шва певний кут, який залежить від товщини, маси, що зварюється, температури, швидкості зварювання та ін. (рис. 1.6).

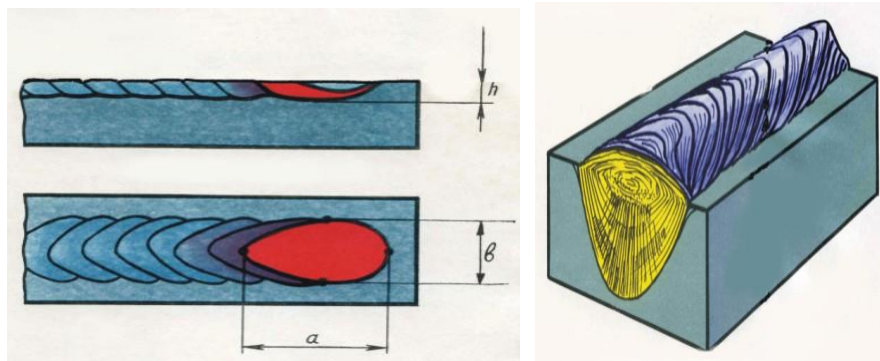
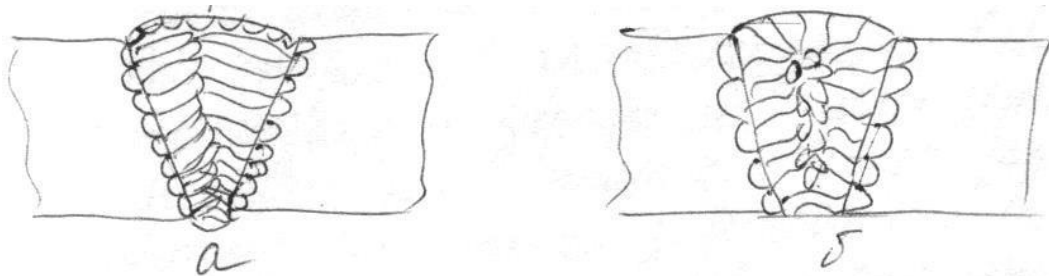
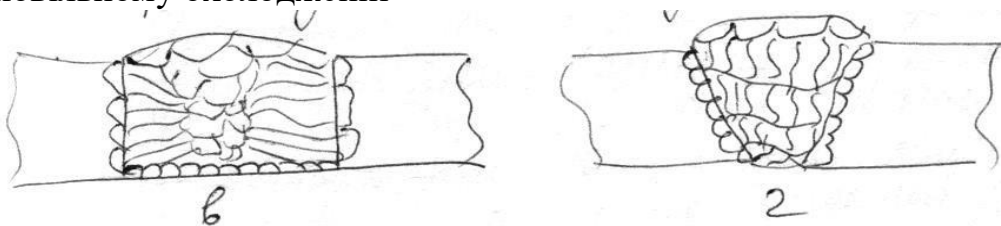


Рис. 1.6. Схема кристалізації шва

При однопрохідному зварюванні з різною швидкістю охолодження після зварювання кристалічна будова має вигляд:



- а) при великій швидкості кристалізації;
б) при повільному охолодженні



- в) при зварюванні на охолоджувальній металевій підкладці;
г) при багат шаровому зварюванні кристали кожного попереднього шару стають основою для кристалізації наступного шару.

Вторинна кристалізація

Нагрівання або охолодження металу в твердому стані може викликати перехід одного виду кристалічної решітки в іншій відповідно до мінімуму вільної енергії, що відповідає тому чи іншому розташуванню атомів. Такий перехід при нагріванні або охолодженні металу називають алотропічним або поліморфним перетворенням. Зміна алотропічних форм в твердому стані характерне різним металам (рис. 1.7).

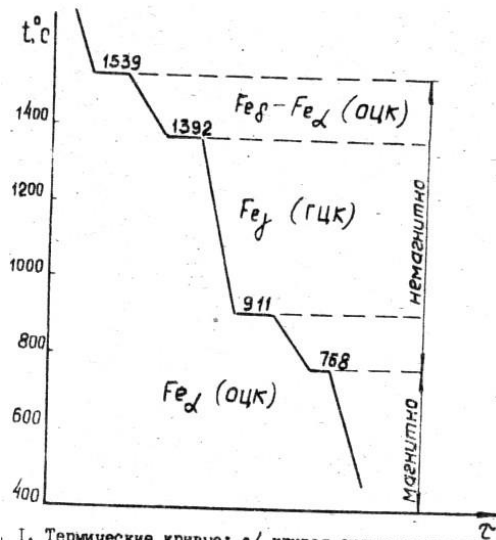


Рис. 1.7. Термічна крива охолодження заліза

Вторинна кристалізація для зварних швів має кілька аспектів

1. При охолодженні після зварювання, якщо метал зварного шва піддається вторинній кристалізації, порушується несприятлива будова у вигляді стовпчастих кристалів і виникає нова, більш дрібнозерниста структура.

2. Перегріті ділянки при зварюванні плавленням основного металу можна зробити знову дрібнозернистими за рахунок додаткового нагрівання з малим перегрівом вище температури поліморфного перетворення з наступним охолодженням з різною швидкістю.

Питання для самоконтролю:

1. Цілі і завдання курсу.
2. Метали, чорні метали, кольорові метали?
3. Основні типи решіток.
4. Характеристики решіток.
5. Що відноситься до недосконалостей кристалічної будови?
6. Що таке зварювання?
7. Що являє собою електрична зварювальна дуга?
8. Що таке плавлення?
9. Що являє собою первинна і вторинна кристалізація?
10. Закономірності кристалізації зварного шва.

ТЕМА № 2.

Тема: Основні відомості про електричне зварювання

План:

1. Класифікація зварювання.
2. Способи нагрівання металу при електричному зварюванні.
3. Характеристики основних видів зварювання.
4. Види зварних з'єднань і швів.
5. Особливості та прийоми зварювання в різних просторових положеннях.
6. Металеві електроди для зварювання.

Способи нагрівання металу при електричному зварюванні

Нагрів при дуговому зварюванні. Теплову енергію для нагріву металу отримують з електричної енергії, що витрачається дугою. Ефективна (діюча) потужність дуги завжди менше повної її потужності, так як частина тепла витрачається на розсіювання в навколишнє середовище, розбризкування, плавлення флюсу і тепловідвід в електроди. Частина тепла, витраченого на нагрів електроду, відшкодовується перенесенням його з краплями розплавленого металу. ККД становить відкритою дугою при зварюванні металевим електродом 0,7...0,85.

Характеристика основних видів електричного зварювання

Ручна дугова зварювання електродом, що плавиться. Деталі, що зварюються 1 (рис. 2.1 а) нагріваються електричною дугою 2, що горить між ними і електродом 3. Дуга розплавляє кромки деталей і електрод, при переміщенні дуги уздовж кромки утворюється зварний шов. Застосовують для магістральних і технологічних трубопроводів високого тиску, будівельних конструкцій, при будівництві промислових і житлових будівель.

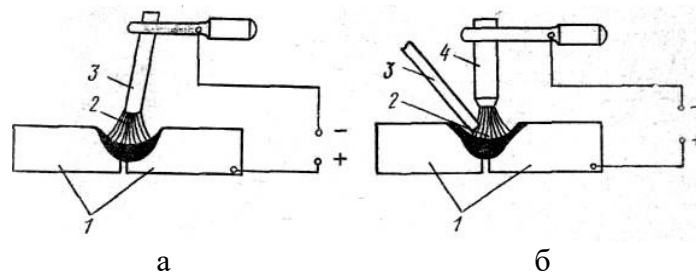


Рис. 2.1. Схеми зварювання

Ручне дугове зварювання неплавким електродом. Деталі, що зварюються 1 (рис. 1 б) нагріваються дугою 2, що горить між ними і вугільним графітовим або вольфрамовим електродом 4. Для утворення шва в зону дуги вводять присадні дріт 3. Застосовують у виробництві корпусів конденсаторів, бочок для перевезення паливно-мастильних матеріалів (зварювання по відбортовці).

Дугове зварювання електродом, що плавиться в захисних газах. Захисний газ подається під невеликим тиском в зону дуги через наконечник (рис. 2.2 а). Дуга 2 горить між присадочним дротом 6 і виробом, що зварюється 4. Для зварювання крім інертних газів широко застосовують активний вуглекислий газ. Сварка в захисних газах як електродом, що плавиться, так і неплавким, може бути автоматичною і напівавтоматичною. Цей спосіб характерний високою продуктивністю і високою якістю шва. Зварювання в інертних газах застосовують при з'єднанні трубопроводів, в вуглекислому газі – при виготовленні ґратчастих конструкцій, при виготовленні з'єднань арматури залізобетону, виготовленні вузлів ліфтів.

Стикове зварювання оплавленням. Між торцями затиснутих в електродах 1 (рис. 2.2 б) деталей 2 електричним струмом збуджується процес оплавлення, який починається в окремих точках, а потім поширюється на всю поверхню стику. Після цього до деталей прикладається велике зусилля осадки і струм вимикається. Оплавлений метал деталей, що містить оксиди і неметалеві включення, видавлюється з стику у вигляді ґрата. Контактне стикове зварювання застосовують при з'єднанні дроту і стрижнів, труб, смуг і листів, арматури залізобетону великих діаметрів.



Рис. 2.2. Схеми зварювання

Види зварних з'єднань і швів

При виготовленні зварних виробів виконують такі види зварних з'єднань: стикові (рис. 2.3 а), стикові з відбортовкою (рис. 2.3 б), нахлесного (рис. 2.3 в), кутові (рис. 2.3 г), таврові (рис. 2.3 д), прорізні (рис. 2.3 е), торцеві (рис. 2.3 ж), електрозаклепачні (рис. 2.3 з). Застосування того чи іншого виду з'єднання обумовлюється характером конструкції, способом зварювання, товщиною металу та ін.

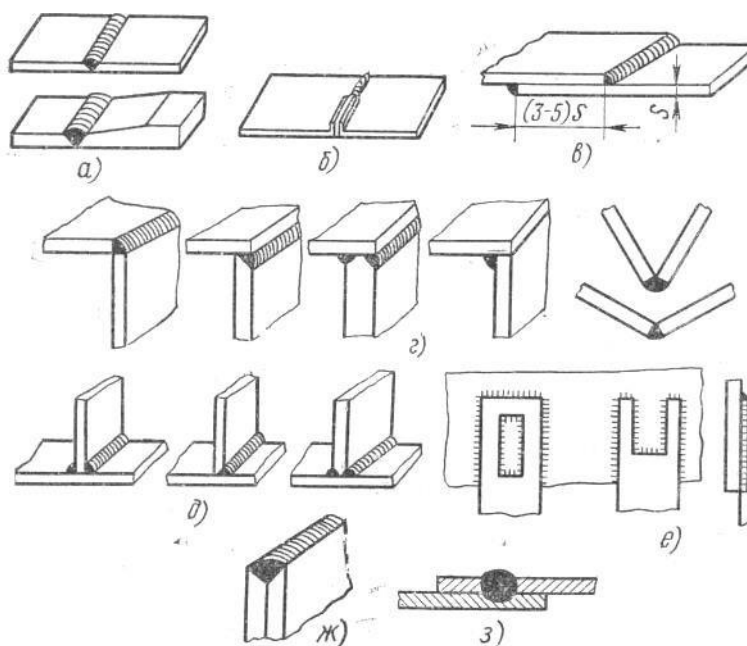


Рис. 2.3. Види зварних з'єднань

У трубопроводах застосовуються стикові з'єднання; в фермах і стійках – нахлесточного; в зварних балках – таврові.

Зварні шви поділяють за такими ознаками: по розташуванню щодо напрямлення навантаження (рис. 2.4, а) – флангові 1, лобові 2, комбіновані 3 і косі 4;

по положенню в просторі (рис. 2.4, б) – нижні 1, горизонтальні 2, вертикальні 3, стельові 4; за формою зовнішньої поверхні (рис. 2.4, в) – плоскі (нормальні) 1, опуклі (посилені) 2, увігнуті (ослаблені) 3; по ширині (рис. 2.4, г) – ниткові 1 і розширені 2; ширина ниткового шва становить $0,8...1,5 d_{\text{ел}}$; ширина розширеного шва – не більше 30 мм; за кількістю шарів або проходів (рис. 2.4, д) – одношарні (однопрохідні) 1 і багат шарові (багатопрхідні) 2 – по протяжності (рис. 2.4, е) – суцільні 1 і переривчасті (ланцюгові і шахові) 2; за призначенням – міцні, щільні і міцно-щільні.

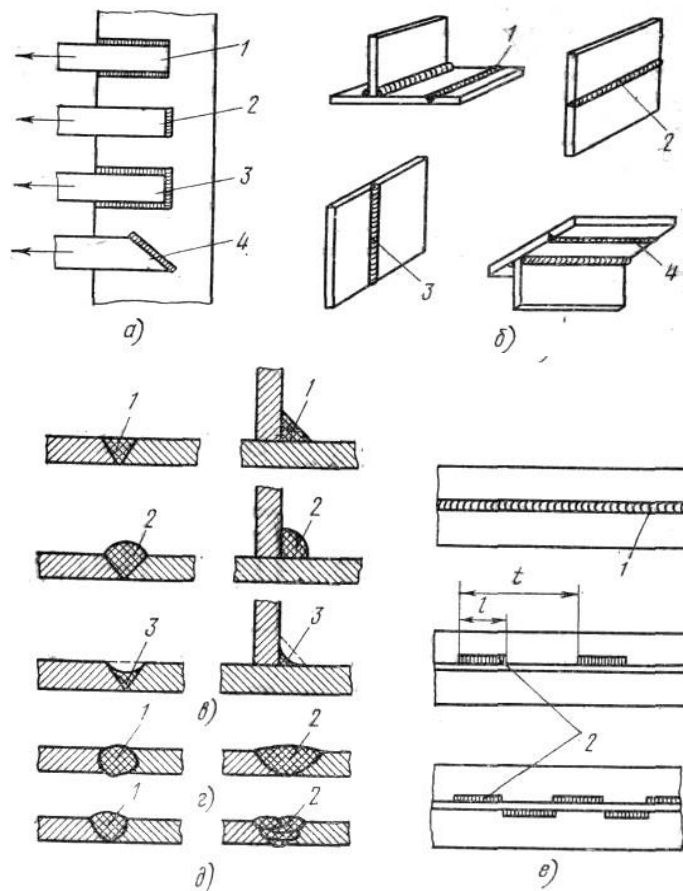


Рис. 2.4. Види зварних швів

Особливості та прийоми зварювання в різних просторових положеннях

Зварювання в нижньому положенні. Електрод переміщують: зліва направо або справа наліво, від себе, до себе. Нахил електрода становить $(10...15^\circ)$ до вертикалі в сторону ведення зварювання. Нахил електрод в сторону будь-якої кромки викликає появу підрізу. Бажано шви кутових, таврових і з'єднань внапуск зварювати в положенні «у човник».

Залежно від розмірів перетину швів вони виконуються одношаровими або багатшаровими. Однопрохідне зварювання продуктивне і економічне, але метал шва має грубу малопластичну стовбчасту структуру. Одночасно збільшується зона термічного впливу, що також є небажаним. При багатшаровому зварюванні накладення кожного наступного шару викликає термообробку попереднього шару. Розширені шви виконують з різними поперечними коливальними рухами торця електрода (рис. 2.5). Мета цих рухів – створити загальну для обох крайок зварювальну ванну і забезпечити хороше проплавлення.

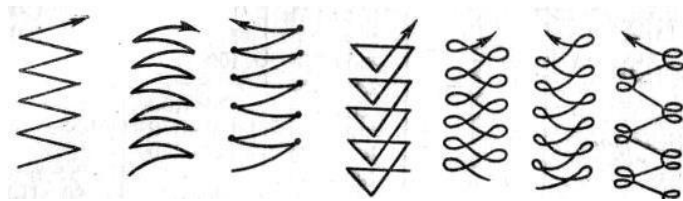


Рис. 2.5. Поперечні коливальні рухи торця електрода

Зварювання у вертикальному положенні. Розплавлений метал під дією сили тяжіння прагне стікати вниз, що ускладнює формування шва. Тому об'єм розплавленого металу зменшують зниженням зварювального струму на 10...15% в порівнянні з нижнім положенням. На початку шва електрод встановлюють перпендикулярно поверхні виробу, що зварюється; потім електрод трохи нахиляють вниз для того, щоб силою тиску газів дуги перешкоджати стіканню металу зварювальної ванни. Зварювання ведуть знизу вгору (рис. 2.6, б). При низькій текучості рідкого металу можливе направлення зверху вниз (рис. 2.6, а).

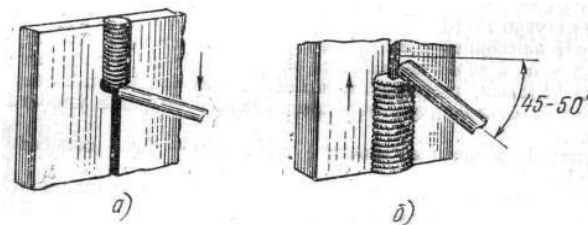


Рис. 2.6. Сварка у вертикальному положенні

Зварювання в похилому положенні. Кут нахилу до 15...20° не створює будь-яких ускладнень у веденні процесу зварювання, а в багатьох випадках навіть покращує якість шва. Нахил деталі на 30...45° ускладнює процес зварювання. При

нахилі на $60...70^\circ$ характер ведення процесу зварювання близький до вертикального.

Зварювання в горизонтальному положенні при зварюванні стикових з'єднань рідкий метал стікає з верхньої кромки; при цьому неминуче утвориться підріз. Для полегшення зварювання скіс кромки роблять тільки у верхнього листа. У більшості випадків горизонтальні шви виконуються нитковими валиками (без коливальних рухів); зварювальний струм знижують і діаметр електрода обмежують.

Зварювання в стельовому положенні найбільш важка, так як напрямок сили тяжіння розплавленого металу протилежно напрямку його перенесення. Це вимагає максимального зменшення об'єму розплавленого металу, що досягається обмеженням діаметру електрода 4 мм і зниженням зварювального струму на 15...20% в порівнянні з нижнім положенням.

Зварювання у вертикальному, горизонтальному і стельовому положеннях повинна виконуватися короткою дугою.

Металеві покриті електроди для зварювання та наплавлення

Встановлені розміри електродів: діаметр 3 мм, довжина електрода, мм – 350; діаметр 4...5 мм, довжина електрода, мм – 450.

Електроди повинні відповідати таким технологічним вимогам: легке збудження і стійке горіння дуги; рівномірне плавлення покриття без розбризування і утворення чохла або козирка; забезпечення правильного формування шва покритого шлаком і легке видалення шлаку після охолодження; відсутність тріщин, надривів і пор в металі шва; обмежена кількість газових і шлакових включень в металі шва.

Класифікація електродів. Покриті електроди поділяються за такими ознаками:

1. За призначенням:

- для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей – У;
- для зварювання легованих конструкційних сталей – Л;
- для зварювання легованих теплостійких сталей – Т;
- для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями – В;

– для наплавлення металу з особливими властивостями – Н.

2. За типами і марками;

3. За товщиною покриття;

4. За якістю електродів: точності виготовлення, стану поверхні покриття, вмісту сірки і фосфору в наплавленому металі – групи 1, 2 і 3.

5. За видами покриття: з кислим покриттям – А; з основним – Б; з целюлозним – Ц; з рутиловим – Р; з іншими видами покриття – П;

6. За застосуванням електродів для зварювання в різних просторових положеннях:

– для всіх положень – 1;

– для всіх, крім вертикального зверху вниз, – 2;

– для нижнього, горизонтального і вертикального знизу вгору – 3;

– для нижнього і нижнього в човник – 4.

7. За родом і полярністю струму, а також по напрузі холостого ходу, джерела живлення змінного струму (частота 50 Гц).

Умовне позначення для кожної марки електродів вказується на етикетці (на пачці, коробці, ящику).

Призначення електродних покриттів. Призначення електродних покриттів полягає в забезпеченні стабільності горіння зварювальної дуги і отримання металу шва з необхідними, заздалегідь заданими властивостями (міцність, пластичність, ударна в'язкість, стійкість проти корозії та ін.). Необхідні характеристики шва забезпечуються наступними впливами покриттів:

– газовий захист зони зварювання і розплавленого металу від кисню та азоту повітря. Газоутворюючі компоненти покриттів: деревне борошно, крохмаль, харчове борошно, бавовняна пряжа, декстрин, целюлоза;

– розкислення металу зварювальної ванни, тобто зв'язування кисню, що знаходиться в шлаках. Розкислювачами служать головним чином метали, що володіють більшою спорідненістю з киснем, ніж залізо: марганець, титан, молібден, хром; ці метали вводяться в покриття у вигляді феросплавів;

– шлаковий захист від дії кисню та азоту повітря. Шлаки створюють оболонку навколо рідкого металу, що переходить з електрода в зварювальну ванну. Шлакові покриття зменшують швидкість охолодження і затвердіння металу шва, сприяючи виходу з нього газових і неметалічних включень. Шлакоутворювальні компонентами покриттів є: титановий концентрат, марганцева руда, каолін, мрамур, крейда, кварцовий пісок та ін.;

– легування металу шва для поліпшення механічних, фізичних і хімічних властивостей, тобто введення в нього таких елементів, як хром, марганець, кремній, молібден, титан, ніобій та ін. Легування металу шва іноді проводиться застосуванням спеціального дроту, що містить потрібні елементи. Ширше застосовують легування металу шва введенням елементів в покриття. Легуючі компоненти: феросплави, іноді – чисті метали.

Для закріплення покриттів на стрижні електрода застосовують сполучні компоненти (рідке скло, декстрин).

Питання для самоконтролю:

1. Нагрівання при дуговому зварюванні.
2. Характеристика ручного дугового зварювання електродом, що плавиться.
3. Характеристика ручного дугового зварювання неплавким електродом.
4. Характеристика дугового зварювання електродом, що плавиться в захисних газах.
5. Характеристика стикового зварювання оплавленням.
6. Види зварних з'єднань і швів.
7. Особливості та прийоми зварювання в різних просторових положеннях.
8. Металеві покриті електроди для зварювання.

ТЕМА № 3.

Тема: Теорія сплавів. Діаграми стану.

План:

1. Теорія сплавів.
2. Загальна характеристика сплавів.
3. Твердий розчин.
4. Хімічна сполука.
5. Механічна суміш.
6. Правило відрізків.
7. Діаграма стану для сплавів з необмеженою розчинністю в твердому стані (II роду).
8. Діаграма стану для сплавів з обмеженою розчинністю в твердому стані (III роду) – діаграма з евтектикою і діаграма з перетектикою.
9. Діаграма стану для сплавів, що утворюють хімічні сполуки (IV роду).

Основні поняття в теорії сплавів.

Під **сплавом** розуміють речовину, отриману сплавом двох або більше елементів.

Система – група тіл, що виділяються для спостереження і вивчення.

Чистий метал є простою однокомпонентною системою, **сплав** – складною системою, що складається з двох і більше компонентів.

Компоненти – речовини, що утворюють систему. Як компоненти виступають чисті речовини і хімічні сполуки.

Фаза – однорідна частина системи, відокремлена від інших частин системи поверхневого розділу, при переході через яку структура і властивості різко змінюються.

Число ступенів свободи (С) – це число внутрішніх і зовнішніх чинників (температура, тиск, концентрація), які можна змінювати без зміни кількості фаз в системі.

Правило фаз або закон Гіббса

Якщо прийняти, що всі перетворення відбуваються при постійному тиску, то:

$$C = K - \Phi + 1$$

де: С – число ступенів свободи, К – кількість компонентів, Φ – число фаз, 1 – враховує можливість зміни температури.

Особливості будови: механічних сумішей, твердих розчинів та хімічних сполук

При утворенні сплавів в процесі їх твердіння можлива різна взаємодія компонентів.

Залежно від характеру взаємодії компонентів розрізняють сплави:

Сплави механічні суміші утворюються, коли компоненти не здатні до взаємного розчинення в твердому стані і не вступають в хімічну реакцію з утворенням сполуки (рис. 3.1).

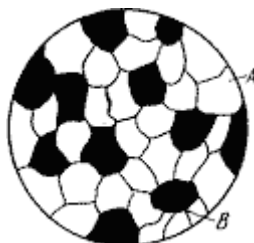


Рис. 3.1. Схема мікроструктури механічної суміші

Сплави хімічні сполуки утворюються між елементами, що значно відрізняються за будовою і властивостями, і якщо сила взаємодії між різнорідними атомами більше, ніж між однорідними (рис. 3.2).

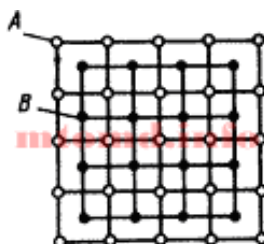


Рис. 3.2. Кристалічна решітка хімічної сполуки

Сплави **тверді розчини** – це тверді фази, в яких співвідношення між компонентами можуть змінюватися. Являються кристалічними речовинами (рис. 3.3).

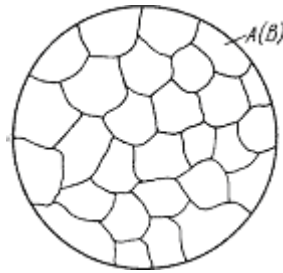


Рис. 3.3. Схема мікроструктури твердого розчину

Класифікація сплавів твердих розчинів

За ступенями розчинності компонентів розрізняють тверді розчини:

- з необмеженою розчинністю компонентів;
- з обмеженою розчинністю компонентів.

Для утворення розчинів з необмеженою розчинністю необхідні:

1. однотипність кристалічних решіток компонентів;
2. близькість атомних радіусів компонентів, які не повинні відрізнятися більш ніж на 8 ... 13%.
3. близькість фізико-хімічних властивостей подібних за своєю будовою валентних оболонок атомів.

За характером розподілу атомів розчиненої речовини в кристалічній решітці розчинника розрізняють тверді розчини (рис. 3.4):

- заміщення;
- впровадження.

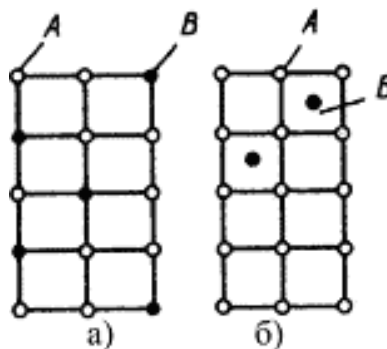


Рис. 3.4. Кристалічна решітка твердих розчинів заміщення (а), впровадження (б)

При утворенні розчинів заміщення періоди гратки змінюються в залежності від різниці атомних діаметрів розчиненого елемента і розчинника. Тверді розчини впровадження утворюються впровадженням атомів розчиненого компонента в пори кристалічної решітки розчинника (рис. 3.4 б).

Діаграма стану

Діаграма стану представляє собою графічне зображення стану будь-якого сплаву, що вивчається в залежності від концентрації і температури (рис. 3.5)

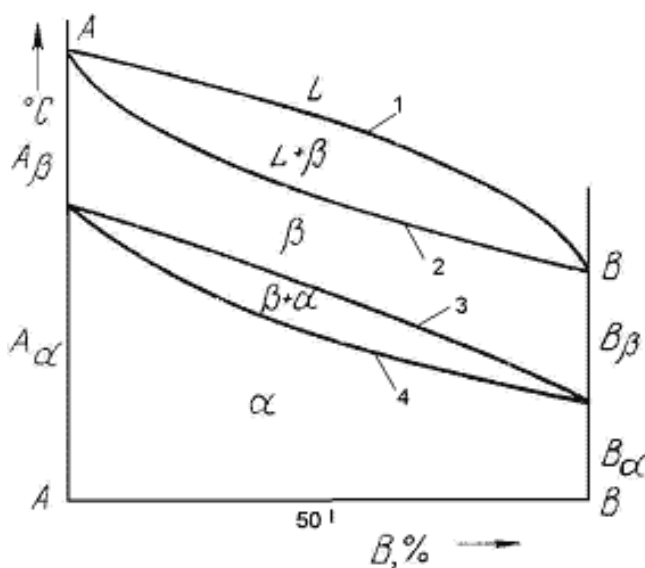


Рис. 3.5. Діаграма стану

Точки, що відповідають початку кристалізації називають точками *ліквідус*, а кінця кристалізації – точками *солідус*.

По кривим охолодження будують діаграму складу в координатах: по осі абсцис – концентрація компонентів, по осі ординат – температура.

Діаграма стану сплавів з необмеженою розчинністю компонентів в твердому стані

Діаграма стану і криві охолодження сплавів системи представлені на рис. 3.6.

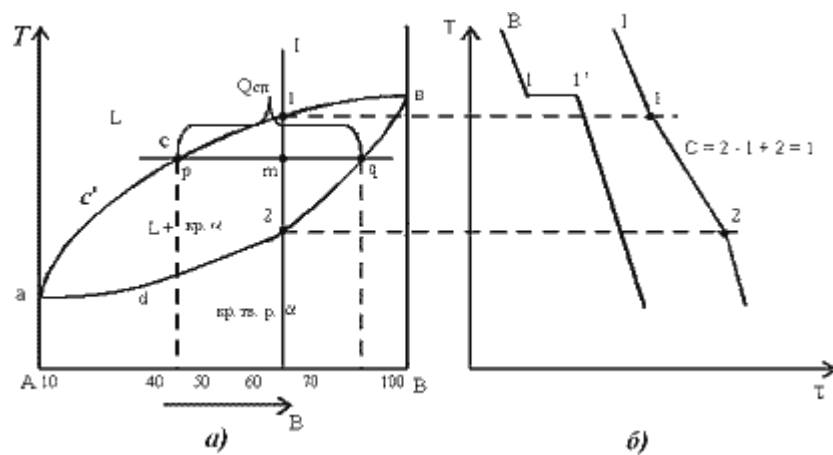


Рис. 3.6. Діаграма стану сплавів з необмеженою розчинністю компонентів в твердому стані (а); криві охолодження типових сплавів (б)

Аналіз діаграми

1. Кількість компонентів: $K = 2$ (компоненти А і В).
2. Число фаз: $f = 2$ (рідка фаза L , кристали твердого розчину α)
3. Основні лінії діаграми:
 - acb – лінія ліквідус, вище цієї лінії сплави знаходяться в рідкому стані;
 - adb – лінія солідус, нижче цієї лінії сплави знаходяться в твердому стані.
4. Характерні сплави системи:

Процес кристалізації сплаву I: до точки 1 сплав охолоджується в рідкому стані. При температурі, що відповідає точці 1, починають утворюватися центри кристалізації твердого розчину α . На ділянці 1...2 йде процес кристалізації, в двохкомпонентній системі при наявності двох фаз (рідкої і кристалів твердого розчину α) число ступенів свободи буде дорівнювати одиниці ($C = 2 - 2 + 1 = 1$). При досягненні температури відповідної точці 2 відбувається кристалізація (рис 3.7).

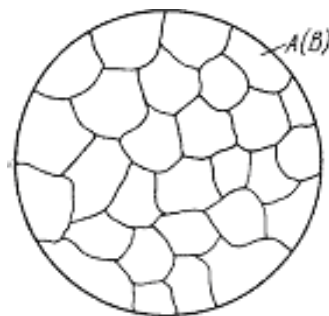


Рис. 3.7. Схема мікроструктури сплаву – однорідного твердого розчину

5. Кількісний структурно-фазовий аналіз сплаву.

При будь-якій температурі за *правилом відрізків* можна визначити число фаз їх склад і кількісне співвідношення. Через задану точку проводять горизонталь до перетину з найближчими лініями діаграми (ліквідус, солідус або осі компонентів).

а). Визначення складу фаз в точці m :

Для його визначення через точку m проводять горизонталь до перетину з найближчими лініями діаграми: ліквідус і солідус.

Склад рідкої фази визначається проекцією точки перетину горизонталі з лінією ліквідус p на вісь концентрації.

Склад твердої фази визначається проекцією точки перетину горизонталі з лінією солідус q (або віссю компонента) на вісь концентрації.

Склад рідкої фази змінюється по лінії ліквідусу, а склад твердої фази – по лінії солідусу.

Зі зниженням температури склад фаз змінюється в бік зменшення вмісту компонента B .

б). Визначення кількісного співвідношення рідкої і твердої фази при заданій температурі (в точці m):

Кількісна маса фаз зворотно пропорційна відріzkам проведеної коноїди. Розглянемо проведену через точку m коноїду і її відрізки.

Кількість всього сплаву (Q_{cn}) визначається відрізком pq .

Відрізок, що прилягає до лінії ліквідус pm , визначає кількість твердої фази.

$$Q_{тв} = \frac{pm}{pq} \cdot 100\%$$

Відрізок, що прилягає до лінії солідус (або до осі компонента) mq , визначає кількість рідкої фази.

$$Q_{рід} = \frac{mq}{pq} \cdot 100\%$$

Діаграма стану сплавів з відсутністю розчинності компонентів в твердому стані (механічні суміші)

Діаграма стану і криві охолодження типових сплавів системи представлені на рис. 3.8.

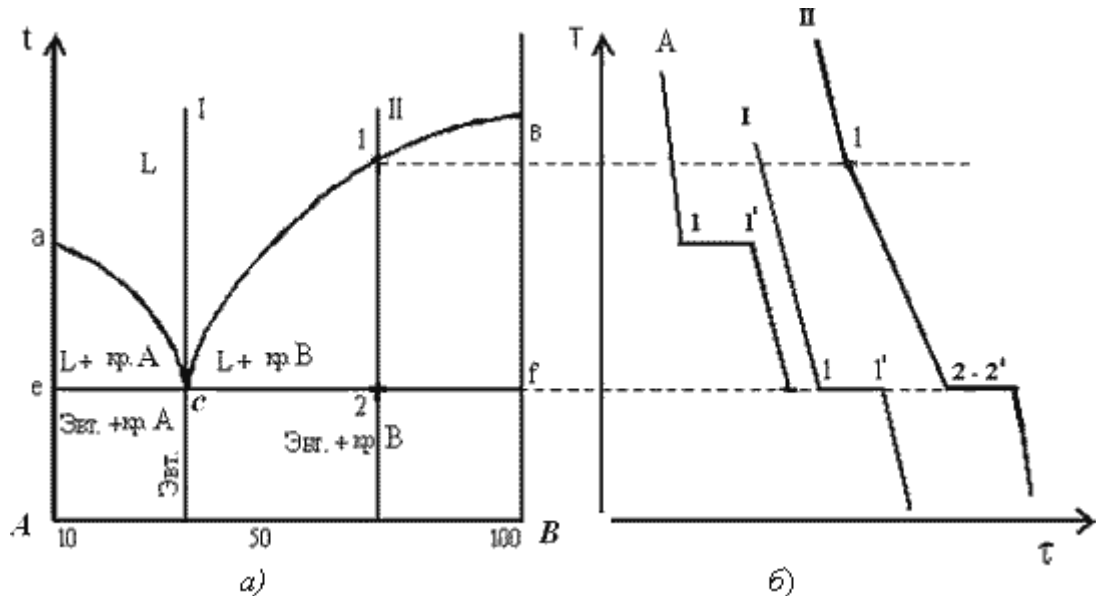


Рис. 3.8. Діаграма стану сплавів з відсутністю розчинності компонентів в твердому стані (а) і криві охолодження сплавів (б)

Проведемо аналіз діаграми стану.

1. Кількість компонентів: $K = 2$ (компоненти A і B);
2. Число фаз: $f = 3$ (кристали компонента A , кристали компонента B , рідка фаза).
3. Основні лінії діаграми:
 - лінія ліквідус acb , складається з двох гілок, що сходяться в одній точці;
 - лінія солідус esf , паралельна осі концентрацій прагне до осей компонентів, але не досягає їх;

4. Типові сплави системи.

При утворенні сплавів механічних сумішей евтектика складається з кристалів компонентів A і B : евт. (кр. A + кр. B). Евтектика – дрібнодисперсна механічна суміш різнорідних кристалів, що кристалізуються одночасно при постійній, найнижчій для даної системи, температурі.

Схема мікроструктури сплаву представлена на рис. 3.9.

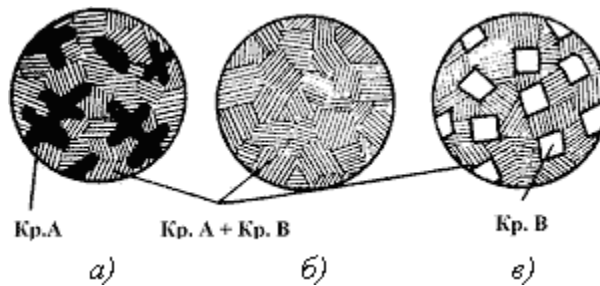


Рис. 3.9. Схема мікроструктур сплавів: а – доевтектичних, б – евтектичних, в – заевтектичних

Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю компонентів в твердому стані

Діаграма стану і криві охолодження типових сплавів системи представлені на рис. 3.10.

1. Кількість компонентів: $K = 2$ (компоненти А і В);
2. Число фаз: $f = 3$ (рідка фаза і кристали твердих розчинів (розчин компонента В в компоненті А) і (розчин компонента А в компоненті В));
3. Основні лінії діаграми:
 - лінія ліквідус $ac'b$, складається з двох гілок, що сходяться в одній точці;
 - лінія солідус $adc'fb$, складається з трьох ділянок;
 - dm – лінія граничної концентрації компонента В в компоненті А;
 - fn – лінія граничної концентрації компонента А в компоненті В.
4. Типові сплави системи.

При концентрації компонентів, що не перевищує граничних значень (на ділянках Am і nB), сплави кристалізуються аналогічно сплавів твердих розчинів з необмеженою розчинністю. При концентрації компонентів, що перевищує граничні значення (на ділянці dcf), сплави кристалізуються аналогічно сплавів механічним сумішам.

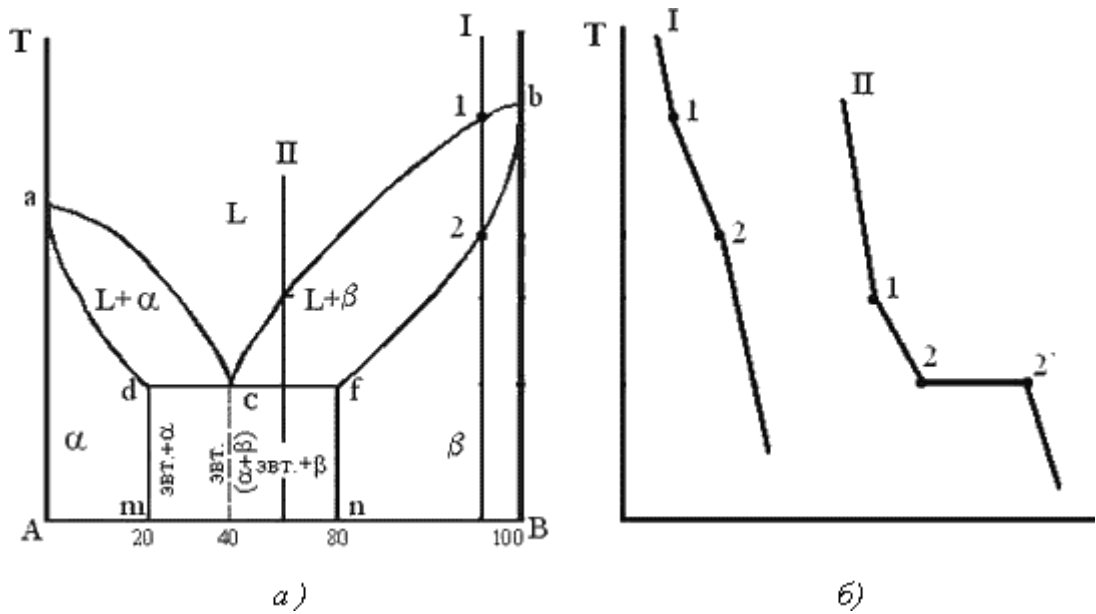


Рис. 3.10. Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю компонентів в твердому стані (а) і криві охолодження типових сплавів (б)

Діаграма стану сплавів, компоненти яких утворюють хімічні сполуки

Діаграма стану сплавів представлена на рис. 3.11.

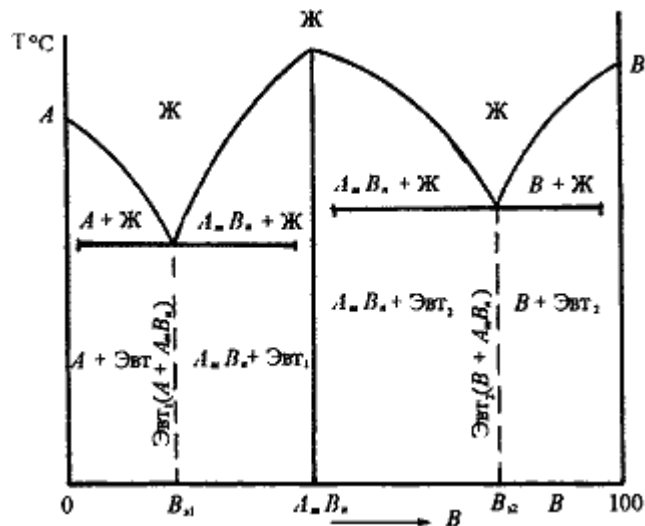


Рис. 3.11. Діаграма стану сплавів, компоненти яких утворюють хімічні сполуки

Діаграма стану складна, і складається з декількох простих діаграм. Число компонентів і кількість діаграм залежить від того, скільки хімічних сполук утворюють основні компоненти системи.

Число фаз і вид простих діаграм визначаються характером взаємодії між

компонентами.

Евт1 (кр.А + кр.А_мВ_п);

Евт2 (кр.В + кр.А_мВ_п).

Питання для самоконтролю:

1. Основні поняття теорії сплавів.
2. Класифікація сплавів твердих розчинів.
3. Аналіз діаграми стану сплавів з необмеженою розчинністю компонентів в твердому стані.
4. Аналіз діаграми стану сплавів з відсутністю розчинності компонентів в твердому стані (механічні суміші).
5. Аналіз діаграми стану сплавів з обмеженою розчинністю компонентів в твердому стані.
6. Аналіз діаграми стану сплавів, компоненти яких утворюють хімічні сполуки.

ТЕМА № 4.

Тема: Залізо і сплави на його основі

План:

1. Компоненти і фази в системі залізо-вуглець.
2. Діаграма стану залізо-цементит.
3. Фазові і структурні зміни в сплавах Fe-Fe₃C після твердіння.
4. Побудова кривих нагрівання і охолодження.
5. Вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталі.
6. Значення фазового і структурного стану сплавів при зварюванні.

Компоненти і фази залізовуглецевих сплавів

Компонентами вуглецевих сплавів є залізо, вуглець і цементит (рис. 4.1).

1. **Залізо** – перехідний метал срібло-світлого кольору. Має високу температуру плавлення – 1539°C ±5°C.

В твердому стані залізо може знаходитися в двох модифікаціях. При температурі нижче 911°C існує Fe_{α} з ОЦК граткою. В інтервалі температур 911...1392°C Fe_{γ} – з ГЦК. Вище 1392°C – ОЦК і називається Fe_{δ} , або Fe_{α} високотемпературне. При температурі нижче 768°C залізо феромагнітне.

2. **Вуглець** – (температура плавлення – 3500°C, щільність – 2,5 г/см³). В сплавах заліза з вуглецем вуглець знаходиться в стані твердого розчину з залізом та у вигляді хімічного з'єднання – цементиту (Fe₃C), а також у вільному стані у вигляді графіту (у сірих чавунах).

3. **Цементит** (Fe₃C) – хімічне з'єднання заліза з вуглецем (карбід заліза), містить 6,67% вуглецю. Цементит має велику твердість (більше 800 НВ) низька пластичність.

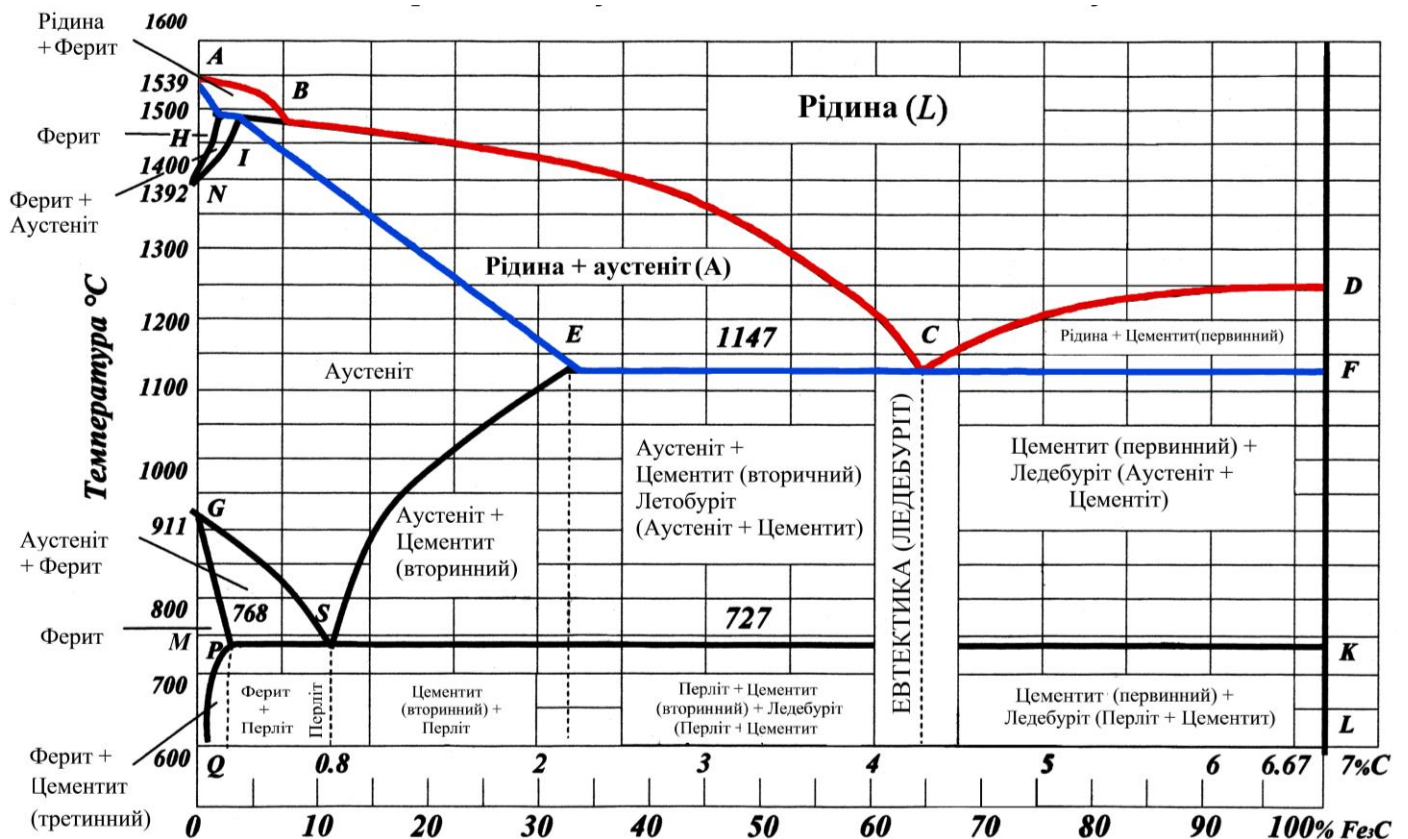


Рис. 4.1. Діаграма стану залізо-цементит

У системі залізо-вуглець існують наступні фази: рідка фаза, ферит, аустеніт, цементит.

1. *Рідка фаза.* В рідкому стані залізо добре розчиняє вуглець у будь-яких пропорціях з утворенням однорідної рідкої фази.

2. *Ферит (F_{Fe_α} (C))* – твердий розчин впровадження вуглецю в α -залізі.

Ферит має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальна – 0,006% при кімнатній температурі (точка Q), максимальна – 0,02% при температурі 727°C (точка P). Атоми вуглецю розміщуються в дефектах решітки.

При температурі вище 1392°C існує високотемпературний ферит (δ) (F_{Fe_δ} (C)), з граничною розчинністю вуглецю 0,1% при температурі 1499°C (точка J)

3. *Аустеніт (A) F_{Fe_γ} (C)* – твердий розчин впровадження вуглецю в γ -залізо твєрдість 200...250 НВ.

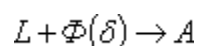
Аустеніт має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальна – 0,8% при температурі 727°C (точка *S*), максимальна – 2,14% при температурі 1147°C (точка *E*).

В залізовуглецевих сплавах присутні фази: цементит первинний (*Ц_I*), цементит вторинний (*Ц_{II}*), цементит третинний (*Ц_{III}*). Хімічні та фізичні властивості цих фаз однакові. Цементит первинний виділяється з рідкої фази у вигляді крупних пластинчастих кристалів. Цементит вторинний виділяється з аустеніту і розташовується у вигляді сітки навколо зерен аустеніту (при охолодженні – навколо зерен перліту). Цементит третинний виділяється з фериту та у вигляді дрібних включень розташовується на границях феритних зерен.

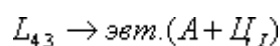
Процеси при структуроутворенні залізовуглецевих сплавів

Лінія *ABCD* – ліквідус системи. На цій ділянці *AB* починається кристалізація ферита (δ), на ділянці *BC* починається кристалізація аустеніту, на ділянці *CD* – кристалізація цементиту первинного.

Лінія *AHJECF* – лінія солідус. На ділянці *AH* закінчується кристалізація фериту (δ). На прямій *HJB* при постійній температурі 1499°C йде перитектичне перетворення, що полягає в тому, що рідка фаза реагує з раніше утвореними кристалами фериту (δ), в результаті чого утворюється аустеніт:



На ділянці *JE* завершується кристалізація аустеніту. На ділянці *ECF* при постійній температурі 1147°C проходить евтектичне перетворення, що полягає в тому, що рідина, що містить 4,3% вуглецю, перетворюється в евтектичну суміш аустеніту і цементиту первинного:



Евтектика системи залізо-цементит називається ледебуритом (*L*), за іменем німецького вченого Ледебура, містить 4,3% вуглецю.

При температурі нижче 727°C в склад ледебуриту входять цементит первинний і перліт, його називають ледебуритом перетвореним (ЛП).

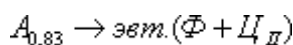
По лінії HN починається перетворення фериту (δ) в аустеніт, обумовлене поліморфним перетворенням заліза. По лінії NJ перетворення фериту (δ) в аустеніт завершується.

По лінії GS перетворення аустеніту в ферит, обумовлене поліморфним перетворенням заліза. По PG перетворення аустеніту в ферит закінчується.

По лінії EC починається виділення цементиту вторинного з аустеніту, обумовлене зниженням розчинення вуглецю в аустеніті при зниженні температури.

По лінії MO при постійній температурі 768°C мають місце магнітні перетворення.

По лінії PSK при постійній температурі 727°C відбувається евтектоїдне перетворення, що полягає в тому, що аустеніт, який містить 0,8% вуглецю, перетворюється в евтектоїдну суміш фериту і цементиту вторинного:



По механізму дане перетворення подібне до евтектичного, але протікає в твердому стані.

Евтектоїд системи залізо-цементит (механічна суміш $\Phi + \text{Ц}$) називається перлітом (П), містить 0,8% вуглецю.

По лінії PQ починається виділення цементиту третинного з фериту, обумовлене зниженням розчинення вуглецю в фериті при зниженні температури.

Температури, при яких відбуваються фазові та структурні перетворення в сплавах системи залізо-цементит, тобто критичні точки, мають умовні позначення.

Позначаються буквою A (від французького *arret* – зупинка):

A_1 – лінія PSK (727°C) – перетворення $\text{П} \leftrightarrow A$;

A_2 – лінія MO (768°C , т. Кюрі) – магнітні перетворення;

A_3 – лінія GOS (змінна температура, що залежить від вмісту вуглецю в сплаві) – перетворення $\Phi \leftrightarrow A$;

A_4 – лінія NJ (змінна температура, що залежить від вмісту вуглецю в сплаві) – перетворення $A \leftrightarrow \Phi(\delta)$;

A_{cm} – лінія SE (змінна температура, що залежить від вмісту вуглецю в сплаві) – початок виділення цементиту вторинного (іноді позначається A_3).

Структури залізовуглецевих сплавів

Всі сплави системи залізо-цементит за структурними ознаками поділяються на дві великі групи: *сталі* і *чавуни*.

З вмістом вуглецю менш 0,02% (точка P) – технічне залізо. Мікроструктури сплавів представлені на рис. 4.2.

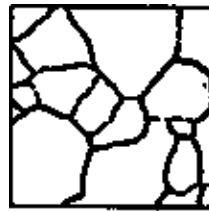


Рис. 4.2. Мікроструктура технічного заліза

Вуглецевими сталями називають сплави заліза з вуглецем, що містять 0,02...2,14% вуглецю, що закінчують кристалізацію утворенням аустеніту.

Структура сталей формується в результаті перекристалізації аустеніту. Мікроструктури сталей представлені на рис. 4.3.

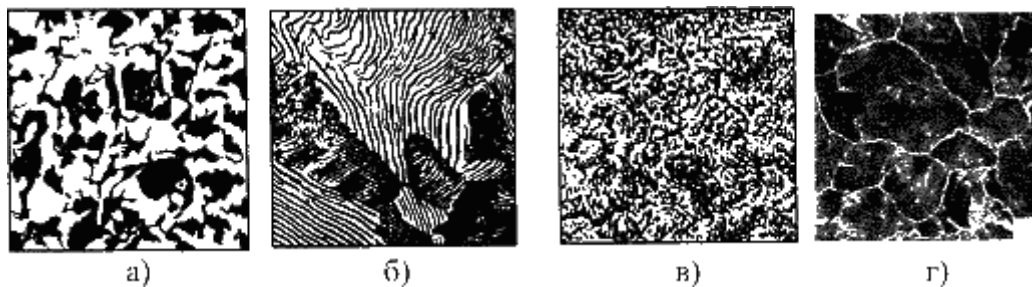


Рис. 4.3. Мікроструктури сталей: а – доевтектоїдна сталь ($\Phi+П$); б – евтектоїдна сталь (пластинчастий перліт); в – евтектоїдна сталь (зернистий перліт); г – заевтектоїдна сталь ($П+Ц_{II}$).

За змістом вуглецю і по структурі сталі підрозділяються на доевтектоїдні ($0,02\% < C < 0,8\%$), структура ферит + перліт ($\Phi+П$) (рис. 4.3. а); евтектоїдні ($C = 0,8\%$),

структура перліт (П), перліт може бути пластинчастий або зернистий (рис. 4.3. б, в); заевтектоїдні ($0,8\% < C < 2,14\%$), структура перліт + цементит вторинний (П+Ц_{II}), цементитна сітка розташовується навколо зерен перліту.

За мікроструктурою сплавів можна приблизно визначити кількість вуглецю в складі сплаву, враховуючи наступне: кількість вуглецю в перліті становить 0,8%, в цементиті – 6,67%. Зважаючи на малу розчинність вуглецю в фериті, приймається, що в ньому вуглецю немає.

Сплави заліза з вуглецем, що містять вуглецю більше 2,14% (до 6,67%), називають білими чавунами (рис. 4.4).

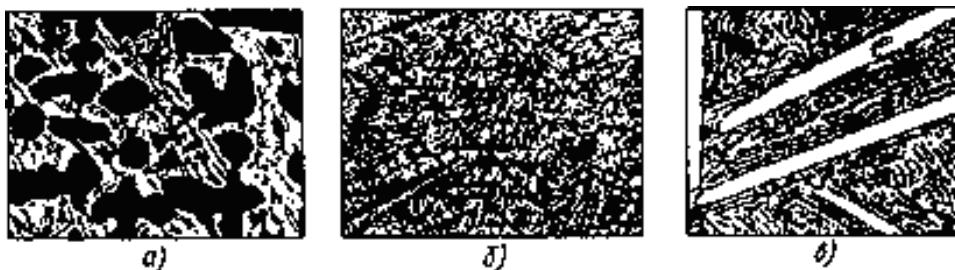


Рис. 4.4. Мікроструктури білих чавунів: а – доевтектичний білий чавун (П+Л+Ц_{II}); б – евтектичних білий чавун (Л); в – заевтектичних білий чавун (Л+Ц_I).

За кількістю вуглецю і по структурі білі чавуни поділяються на: до евтектичні ($2,14\% < C < 4,3\%$), структура перліт + ледебурит + цементит вторинний (П+Л+Ц_{II}) (рис. 4.4 а); евтектичних ($C = 4,3\%$), структура ледебурит (Л) (рис. 4.4 б); заевтектичних ($4,3\% < C < 6,67\%$), структура ледебурит + цементит первинний (Л+Ц_I) (рис. 4.4 в).

Значення фазового складу і структурного стану сплавів при зварюванні

Перехід сплавів з рідкого в твердий стан пов'язаний з можливістю утворення кристалізаційних тріщин на зварних швах. Механізм утворення тріщин. При охолодженні рідкого сплаву до температури ліквідусу з певним переохолодженням з нього починають випадати кристали твердої фази. Утворюється в рідкій фазі каркас зерен який малопластичний і може бути зруйнований під дією усадки металу. Температура можливої появи тріщин при кристалізації лежить трохи нижче

температури ліквідус. Гарячі тріщини є міжкристалічними. Найбільшою стійкістю проти утворення гарячих тріщин мають сплави з вмістом вуглецю $\leq 0,3\%$. Чим ширше інтервал температур кристалізації сплавів і чим ширше інтервал концентрацій, в яких відбувається перехід сплаву з рідини в твердий стан, тим більше схильність сплаву до утворення кристалізаційних тріщин.

Питання для самоконтролю:

1. Діаграма стану залізо-цементит.
2. Компоненти і фази в системі залізо-вуглець.
3. Фазові і структурні зміни в сплавах Fe-Fe₃C після твердіння.
4. Побудова кривих нагрівання і охолодження.
5. Структури залізівуглецевих сплавів.
6. Значення фазового і структурного стану сплавів при зварюванні.

ТЕМА № 5.

Тема: Сталі та чавуни

План:

1. Сталі різних способів виробництва.
2. Вуглецева сталь загального призначення.
3. Класифікація та маркування сталей.
4. Класифікація арматурної сталі.
5. Вуглецеві сталі для зварювального устаткування і зварних конструкцій.
6. Зварюваність вуглецевих сталей.
7. Діаграма стану залізо-графіт.
8. Структура і властивості чавуну.
9. Марка сірих і високоміцних чавунів. Ковкий чавун.

Класифікація та маркування сталей

Класифікація сталей

Сталі класифікуються:

1. За хімічним: складом: *вуглецеві і леговані*.
2. За змістом вуглецю:
 - *низьковуглецеві*, з вмістом вуглецю до 0,25%;
 - *середньовуглецеві*, з вмістом вуглецю 0,3 ... 0,6%;
 - *високовуглецеві*, з вмістом вуглецю вище 0,7%
3. За рівноважною структурою: *доевтектоїдні, евтектоїдні, заевтектоїдні*.
4. За якістю. Кількісним показником якості є вміст шкідливих домішок: сірки і фосфору:

- $0,04 \leq S \leq 0,06\%$, $0,04 \leq P \leq 0,08\%$ – вуглецеві сталі звичайної якості:
- $P, S = 0,03 \dots 0,04\%$ – якісні сталі;
- $P, S \leq 0,03\%$ – високоякісні сталі.

5. За способом виплавки:

- в мартенівських печах;
- в кисневих конверторах;
- в електричних печах: електродугових, індукційних та ін.

6. За призначенням:

- конструкційні – застосовуються для виготовлення деталей машин і механізмів;
- інструментальні – застосовуються для виготовлення різних інструментів;
- спеціальні – сталі з особливими властивостями: електротехнічні, з особливими магнітними властивостями та ін.

Вуглецеві сталі звичайної якості (ДСТУ 2651:2005 Сталь вуглецева звичайної якості.)

Сталі містять підвищену кількість сірки і фосфору маркуються Ст.2кп., БСт.3кп, ВСт.3пс, ВСт.4сп. Ст. – індекс даної групи сталі. Цифри від 0 до 6 – це умовний номер марки сталі. За гарантіями при постачанні існує три групи сталей: А (гарантуються механічні властивості в маркуванні не вказується), Б (гарантується хімічний склад) і В (гарантуються і механічні властивості, і хімічний склад). Індекси кп, пс, сп указують ступінь розкисленням сталі: кп – кипляча, пс – напівспокійна, сп – спокійна.

Якісні вуглецеві сталі

Конструкційні якісні вуглецеві сталі маркують двозначним числом, що вказує середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Сталь 08кп, сталь 10пс, сталь 45.

Інструментальні якісні вуглецеві сталі маркуються літерою У і числом, що вказує вміст вуглецю в десятих частках відсотка. Сталь У8, сталь У13.

Інструментальні високоякісні вуглецеві сталі. А – позначення високої якості стали. Сталь У10А.

Класифікація арматурної сталі – арматура загальні відомості. (ДСТУ 3760:2019 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови)

Вироби з арматури застосовуються для випуску відповідальних конструкцій і будівельних деталей, які, як правило, працюють під високими навантаженнями. З цієї причини вони виготовляються зі спеціальних марок сталі, що називають **арматурними**. Вся сучасна **сталева арматура** підрозділяється на кілька типів, в залежності від різних показників і характеристик:

- за вихідним матеріалом – неметалева або сталева;
- за призначенням – розподільча, робоча, монтажна;
- за видом профілю – гладка, кругла, періодичного профілю;
- за принципом застосування – напружена та ненапружена;
- за технологією виробництва – канатної, стрижневий, дротяної;
- за методом монтажу – в'язаній і зварної у вигляді сіток, окремих стрижнів і каркасів.

На практиці застосовується розподіл арматури на **три основних типи**:

- на рифлену, яка призначається для виробництва особливо якісних і якісних конструкцій із залізобетону;
- на гладку, використовувану в якості складових елементів конструкцій стандартного рівня міцності;
- на вироби з періодичним профілем, які мають круглу форму з виступами (поперечними) і ребрами (поздовжніми).

Сталь використовується для армування попередньо напружених і звичайних з/б конструкцій. Як правило, таку сталь називають арматурною.

Арматурна сталь ділиться на шість класів:

- A240 (A-I);
- A300 (A-II);
- A400 (A-III);
- A600 (A-IV);
- A800 (A-V);
- A1000 (A-VI).

Вироби зі сталі класу А240 (тут число 240 говорить про границю текучості матеріалу) бувають виключно гладкими, арматура інших класів буває будь-яких профілів (і періодичного, і гладкого). Поставляється споживачам вона в мотках або стрижнях.

Читаємо символи маркування

Символьний код арматурного прокату починається з літери:

А – гарячекатана або холоднокатана (термічно зміцнена) продукція;

В – холоднодеформована;

К – канати.

Далі йде вказівка на клас арматури у вигляді цифрового набору від А240 до А1000, що позначає границю текучості сталі в МПа. Чим вище показник, тим міцніше і надійніше вироби.

Сталі для різних класів арматурного прокату:

1. **А240** або **А-I** – виробляється із сталі марок СтЗсп, СтЗпс, СтЗкп, класифікується як монтажні прутки з гладким профілем діаметром від 4 до 40 мм.

2. **А300** або **А-II** – виготовляється з металу серії Ст5сп (пс) або 18Г2С, відноситься до виробів з рифленою поверхнею перетином 10...80 мм. Залежно від діаметра проводиться у вигляді дроту, згорнутого бухтами або стрижнями довжиною 6...12 м.

3. **А400/А500** або **А-III** – випускається зі сталі марок 35ГС, 25Г2С, 32Г2Р. Це робоча арматура періодичного профілю перетином 6...40 мм. Проводиться також в серії «В» з металу методом холодного витягування. Це найбільш затребувана арматура для фундаменту плитного, стрічкового або пальового типу.

4. **А600** або **Ат-IV** – проводиться з низьколегованої термозміцненої (холоднокатаної) сталі класу 80С, 20ХГ2Ц, призначеного для зварних конструкцій. Довжина прутків класифікується як мірна (прутки по 6, 9 і 11,7 м) або немірна (стрижні і бухти до 12 м). Діаметр варіюється від 10 до 32 мм. Поверхня періодична, серповидного типу.

5. **А800** або **Ат-V** – виготовляється з металевої низьколегованої сировини марки 23Х2Г2Т, 25Г2С; 35ГС; 25С2Р; 20ХГС2. Продукція випускається в діаметрі 6...40

мм і призначена для формування зварних каркасів в звичайних і попередньо напружених ЗБВ.

6. **A1000** або **A-VI** – з низьколегованої сталі класів 22Х2Г2АЮ, 22Х2Г2Р і 20Х2Г2СР. Відмінна риса – застосування будь-якого типу зварних робіт без обмежень. Діаметр стрижнів варіюється від 6 до 32 мм.

Маркування включає також вказівку на особливі властивості продукції:

К (Ат-IVК) – підвищена стійкість до корозійного розтріскування під напругою. Вироби піддаються процесам цинкування, гальванізації та іншим, в результаті яких на поверхні утворюється захисна плівка, що запобігає окисленню.

С (Ат-IVС) – з'єднання методом зварювання.

СК (Ат-IVСК) – зварювальна; підвищена стійкість до корозійного розтріскування

Т (Ат) – термомеханічно зміцнена сталь.

Після основних параметрів вказується діаметр. Наприклад, маркування А500С Ø12 розшифровується як арматура гарячекатана з межею плинності 500 МПа і періодичним профілем, призначена для зварних робіт, діаметр вироби – 12 мм.

Для окремих видів продукції ГОСТ вимагають фарбувати кінці прутів. Для різних класів застосовуються такі кольори:

1. Для арматури з низьколегованої сталі: А-IV – червоний; А-V – червоний і зелений; А-VI – червоний і синій.

2. Для прокату з термоупрочненого металу: Ат-III – білий і синій; Ат-IV – білий і жовтий; Ат-IVК – зелений; Ат-V – синій; Ат-Vск – білий і зелений; Ат-VК – жовтий і зелений; Ат-VI – жовтий; Ат-VІК – зелений і чорний.

Кольорове маркування доповнює цифро-буквену, надає додаткову інформацію про продукт.

Не термооброблені кінці повинні бути пофарбовані червоною фарбою. Допускається фарбування зв'язок на відстані 0,5 м від кінців.

Класифікація чавунів

Залежно від стану вуглецю в чавуні розрізняють:

- білий чавун – вуглець у зв'язаному стані у вигляді цементиту;
- сірий чавун – весь вуглець або велика частина знаходиться у вільному стані у вигляді графіту

Діаграма стану залізо-графіт

Діаграма стану залізо-графіт показана штриховими лініями на рис. 5.1. Лінії діаграми знаходяться вище ліній діаграми залізо-цементит. Точки C , E , S – зрушені вліво.

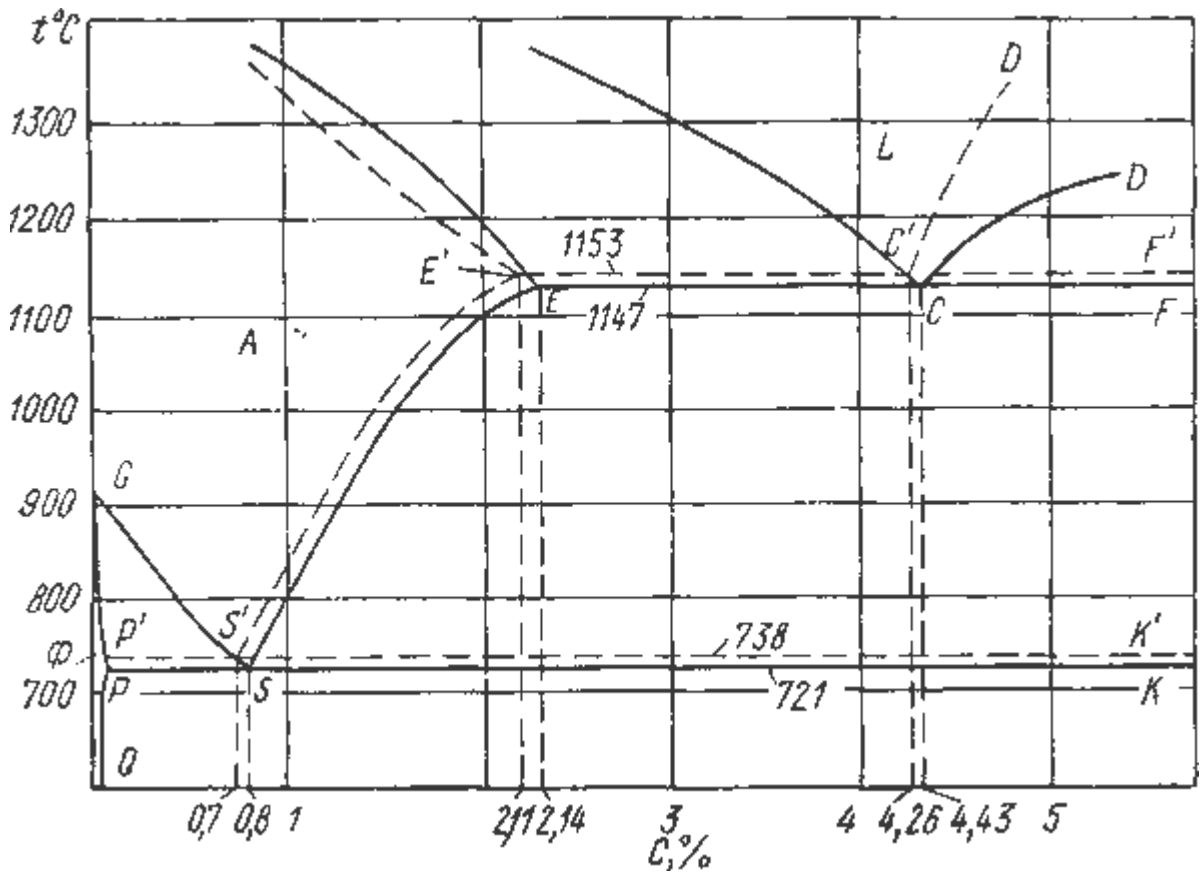


Рис. 5.1. Діаграма стану залізо-вуглець: суцільні лінії – цементитна система; пунктирні – графітна

Процес утворення графіту в сплавах заліза з вуглецем називається *графітизацією*. Графіт – це поліморфна модифікація вуглецю. Можливі два шляхи утворення графіту в чавуні.

1. При сприятливих умовах (наявність в рідкій фазі готових центрів кристалізації графіту і дуже повільне охолодження) відбувається безпосереднє утворення графіту з рідкої фази.

2. При розкладанні раніше утвореного цементиту. При малих швидкостях охолодження ступінь розкладу цементиту більше.

Структура чавунів залежить від ступеня графітизації, тобто від того, скільки вуглецю знаходиться в зв'язаному стані.

Будова, властивості, класифікація і маркування сірих чавунів

Відрізняються від сталі тільки наявністю графітових включень, форма яких визначає спеціальні властивості чавунів.

Залежно від форми графіту і умов його утворення розрізняють наступні групи чавунів (рис.5.3): *сірий* – з пластинчастим графітом; *високоміцний* – з кулястим графітом; *ковкий* – з пластівчастим графітом.

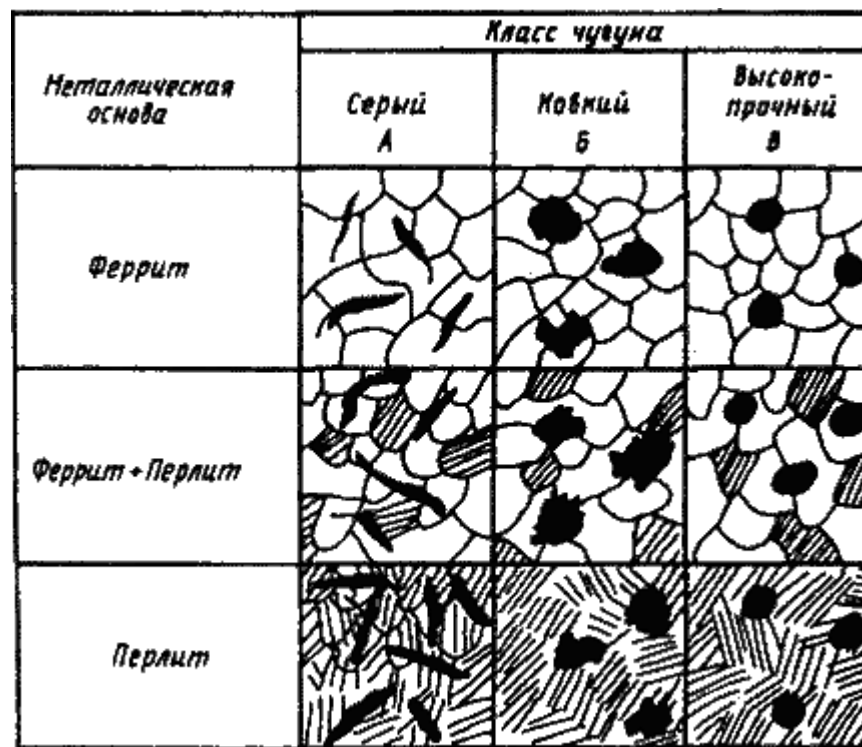


Рис. 5.3. Схеми мікроструктур чавуну в залежності від металевої основи і форми графітових включень

Сірий чавун широко застосовується в машинобудуванні, так як легко обробляється різанням і має гарні властивості. Сірі чавуни при малому опорі розтягу мають досить високий опір стиску. Сірі чавуни містять вуглецю – 3,2...3,5%; кремнію – 1,9...2,5%; марганцю – 0,5...0,8%; фосфору – 0,1...0,3%; сірки – < 0,12%.

Кращими властивостями міцності і зносостійкості мають перлітні сірі чавуни. Позначаються індексом СЧ (сірий чавун) і числом, яке показує значення межі міцності, помножене на 10 СЧ 15 ($G_s=150\text{МПа}$).

Високоміцні чавуни можуть мати феритну (ВЧ 35), ферито-перлітну (ВЧ45) і перлітну (ВЧ80) металеву основу. Отримують ці чавуни з сірих, в результаті модифікування (при виплавці), магнієм або церієм (додається 0,03...0,07% від маси виливки). У порівнянні з сірими чавунами, механічні властивості підвищуються, це викликано кулястою формою графіту. Високоміцні чавуни містять: вуглецю – 3,2...3,8%, кремнію – 1,9...2,6%, марганцю – 0,6...0,8%, фосфору – до 0,12%, сірки – до 0,3%. Мають задовільною зварюваністю. Позначаються індексом ВЧ (високоміцний чавун) і числом, яке показує значення межі міцності, помножене на ВЧ 100.

Ковкий чавун отримують відпалом білого доевтектичного чавуну може мати феритну, ферито-перлітну та перлітну металеву основу. Ковкі чавуни містять: вуглецю – 2,4...3,0%, кремнію – 0,8...1,4%, марганцю – 0,3...1,0%, фосфору – до 0,2%, сірки – до 0,1%. Відпал є тривалою 70...80 годин і дорогою операцією. Останнім часом, в результаті удосконалень, тривалість скоротилася до 40 годин. Позначаються індексом КЧ (ковкий чавун) і двома числами, перше з яких показує значення межі міцності, помножене на 10, а друге відносне подовження – КЧ 30-6.

Режими і прийоми зварювання чавуну

Зварюванням виправляють чавунне лиття як до механічної обробки, так і в процесі її, а також деталі, які були в експлуатації.

Сварка чавуну ускладнена з наступних причин:

- відбілювання чавуну в місці зварювання, тобто утворення твердої структури, що не піддається механічній обробці звичайним ріжучим інструментом;
- низька пластичність при нерівномірному нагріві, що викликає тріщини в зоні зварювання;
- неможливість зварювання в інших положеннях, крім нижнього, так як чавун не має пластичного стану при переході з твердого в рідкий;

– утворення пористості за рахунок великої кількості окису вуглецю і швидкого затвердіння розплавленого металу;

– утворення плівки окислів кремнію на поверхні ванни, що мають високу температуру плавлення.

Різновиди дугового зварювання чавуну.

1. Гаряче зварювання з попереднім і супровідним підігрівом виробу. Зварювання роблять чавунним електродом з покриттям або вугільним електродом з чавунним присадним прутком. Нагрівання здійснюється в газових або електричних печах до 400...450°C. Місце, яке підлягає зварці, обробляють і заформовують (для утримання розплавленого металу).

2. Холодне зварювання без попереднього підігріву виробу. Сварка виконується електродами УОНІ-13/45 і УОНІ-13/55, а також електродами інших марок зі сталевими і мідно-нікелевими стрижнями.

Питання для самоконтролю:

1. Класифікація та маркування сталей.
2. Класифікація арматури.
2. Вуглецеві сталі для зварювального устаткування і зварних конструкцій.
3. Класифікація чавунів.
4. Діаграма стану залізо-графіт
5. Будова, властивості, класифікація і маркування сірих чавунів.
6. Режими і прийоми зварювання чавуну.
7. Різновиди дугового зварювання чавуну.

ТЕМА № 6.

Тема: Леговані сталі. Особливості дугового зварювання різних конструкцій

План:

1. Маркування легованих сталей.
2. Класифікація легованих сталей.
3. Вплив легуючих елементів на поліморфізм заліза.
4. Розподіл легуючих елементів в сталі.
5. Карбідна фаза в легованих сталях.
6. Зварюваність сталі в залежності від її хімічного складу.
7. Зварювання листових конструкцій.
8. Розподіл легуючих елементів в сталі.

Якісні та високоякісні леговані сталі

Позначення буквено-цифрове. Легуючі елементи мають умовні позначення, Позначаються буквами українського алфавіту.

Позначення легуючих елементів:

Х – хром, **Н** – нікель, **М** – молібден, **В** – вольфрам,

К – кобальт, **Т** – титан, **А** – азот (вказується в середині марки),

Г – марганець, **Д** – мідь, **Ф** – ванадій, **С** – кремній,

П – фосфор, **Р** – бор, **Б** – ніобій, **Ц** – цирконій, **Ю** – алюміній

Буква **А**, що стоїть наприкінці позначення, показує, що сталь (високоякісна) має знижений вміст сірки і фосфору (наприклад, І2ХН3А, 30ХГСА, 30ХМА).

Леговані конструкційні сталі

Сталь 15Х25Н19ВС2

На початку марки вказується двозначне число, що показує вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Далі перераховуються легуючі елементи. Число, наступне за умовним позначення елемента, показує його вміст у відсотках, Якщо число відсутнє, то вміст елемента не перевищує 1,5%. Для позначення високоякісних легованих сталей наприкінці марки вказується символ А.

Леговані інструментальні сталі

Сталь 9ХС, сталь ХВГ.

На початку марки вказується однозначне число, що показує вміст вуглецю в десятих частках відсотка. При вмісті вуглецю більше 1%, число не вказується, Далі перераховуються легуючі елементи, із зазначенням їх змісту.

Швидкоріжучі інструментальні сталі

сталь Р18, Р6М5

Р – індекс даної групи сталей (від rapid – швидкість). Вміст вуглецю більше 1%. Число показує вміст основного легуючого елемента – вольфраму. У зазначеній сталі вміст вольфраму – 18%. Якщо сталі містять додаткові легуючі елементи, то їх вміст вказується після позначення відповідного елемента.

Шарикопідшипникові сталі

Сталь ШХ6, ШХ15ГС

Ш – індекс даної групи сталей. Х – вказує на наявність в сталі хрому. Подальше число показує вміст хрому в десятих частках відсотка, в зазначених сталях, відповідно, 0,6% і 1,5%. Також вказуються легуючі елементи, що входять до складу сталі. Вміст вуглецю більше 1%.

Розподіл легуючих елементів в сталі

Легуючі елементи розчиняються в основних фазах залізовуглецевих сплавів (ферит, аустеніт, цементит), або утворюють спеціальні карбіди.

Розчинення легуючих елементів в Fe_α відбувається в результаті заміщення атомів заліза атомами цих елементів. Ці атоми створюють в решітці напруги, які викликають зміну її періоду.

Зміна розмірів решітки викликає зміну властивостей фериту – міцність підвищується, пластичність зменшується. Хром, молібден і вольфрам зміцнюють менше, ніж нікель, кремній і марганець. Молібден і вольфрам, а також кремній і марганець в певних кількостях, знижують в'язкість.

У сталях карбіди утворюються металами, розташованими в таблиці Менделєєва, що розташовані лівіше заліза (хром, ванадій, титан), які мають менш добудовану d - електронну оболонку.

В процесі карбідоутворення вуглець віддає свої валентні електрони на заповнення d - електронної оболонки атома металу, тоді як у металі валентні електрони утворюють металевий зв'язок, що зумовлює металеві властивості карбідів.

При співвідношенні атомних радіусів вуглецю і металу більш 0,59 утворюються типові хімічні сполуки: Fe_3C , Mn_3C , $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 , Fe_3W_3C – які мають складну кристалічну решітку і при нагріванні розчиняються в аустеніті.

При співвідношенні атомних радіусів вуглецю і металу менш 0,59 утворюються фази впровадження: Mo_2C , WC , VC , TiC , TaC , W_2C – які мають просту кристалічну решітку і важко розчиняються в аустеніті.

Всі карбіди мають високу твердість і температуру плавлення.

Зварюваність сталі в залежності від її хімічного складу

Найбільший вплив на зварюваність сталі має кількість вмісту в ній вуглецю і легуючих компонентів.

За зварюваністю вуглецеві і низьколеговані сталі умовно поділяють на чотири групи: I – добре зварюються, II – задовільно зварюються, III – обмежено зварюються, IV – погано зварюються.

До групи I відносяться сталі з вмістом вуглецю до 0,25% і нормальним для вуглецевих сталей вмістом марганцю, кремнію, нікелю та хрому, а також низьколеговані сталі, що містять від 0,1 до 0,2% вуглецю.

До групи II відносять сталі з вмістом вуглецю 0,25...0,35%, також низьколеговані сталі, вміст вуглецю 0,3...0,35%.

До групи III відносять сталі, що містять 0,35...0,5% вуглецю і низьколеговані сталі, в яких підвищений вміст легуючих елементів.

До групи IV відносять сталі з високим вмістом вуглецю (більше 0,5%), а також низьколеговані з підвищеним вмістом хрому і кремнію.

Високовуглецеві інструментальні сталі від У7 (0,7% вуглецю) до У13 (1,3% вуглецю) мають досить низьку зварюваність, утворюють зварні з'єднання поганої якості; практично ці сталі не зварюють.

Вплив елементів, що містяться в сталях, на їх зварюваність

Вуглець. Сталі з невеликим вмістом вуглецю добре зварюються всіма видами зварювання, на будь-яких режимах. Підвищення вмісту вуглецю в сталі веде до збільшення твердості і зменшення пластичності. Метал в зварному з'єднанні буде гартуватися, що призведе до появи тріщин. Інтенсивне окислення вуглецю під час зварювання викликає утворення великої кількості газових пір.

Марганець. У невеликій кількості (в вуглецевих сталях зазвичай 0,3...0,8%) марганець не погіршує зварюваність і не ускладнює зварювання. Будучи хорошим розкислювачем, він сприяє зменшенню вмісту кисню в сталі. При вмісті марганцю 1,5...2,5% зварюваність погіршується, так як збільшується твердість сталі, утворюються гартівні структури і можуть з'явитися тріщини.

Кремній. У вуглецевих сталях кремній міститься в невеликій кількості (0,03...0,35%), вводиться як розкислювач і не впливає на зварюваність. При вмісті кремнію більш 1% зварюваність погіршується, так як утворюються тугоплавкі оксиди, що ведуть до появи шлакових включень. У зварному з'єднанні метал набуває велику міцність і твердість, а разом з цим і крихкість.

Хром. У вуглецевих сталях вміст хрому не перевищує 0,25%, що не впливає на зварюваність. В конструкційних сталях типу 15X, 20X, 30X, 40X хрому міститься від 0,7 до 1,1%. При такому вмісті хрому твердість збільшується, а зварюваність погіршується, особливо зі збільшенням вмісту вуглецю. Ще більш погіршується зварюваність у сталей, що містять значну кількість хрому (X5, 1X13, XI7), при зварюванні утворюються тугоплавкі оксиди, знижується хімічна стійкість сталі і утворюються гартівні структури.

Нікель. У звичайних вуглецевих сталях нікелю міститься: 0,2...0,3%, а в високолегованих – до 28%. Нікель разом з міцністю підвищує і пластичність металу зварного з'єднання, і не погіршує зварюваність.

Молібден. У теплостійких сталях молібден міститься в кількості 0,2...0,8%; в спеціальних сталях, призначених для роботи при високих температурах, вміст молібдену збільшується до 2...3%. Молібден в сильному ступені збільшує міцність і ударну в'язкість сталі, але погіршує зварюваність, так як викликає схильність до утворення тріщин як в самому шві, так і перехідній зоні.

Ванадій. Ванадій вводиться в сталі для збільшення міцності в інструментальних і штампових сталях його вміст доходить до 1,5%. Ванадій ускладнює зварювання, здатний сильно окислюватися при зварюванні, вимагає введення в зону плавлення активних розкислювачів.

Вольфрам. Сталі з вмістом вольфраму до 2% володіють досить значною твердістю і міцністю при високих температурах. Вольфрам погіршує зварюваність, сильно окислюється.

Титан і ніобій. У високолегованих хромистих і хромонікелевих сталях при зварюванні утворюються сполуки вуглецю з хромом – карбіди хрому. Зменшення вмісту хрому по межах зерен призводить до утворення міжкристалітної корозії і руйнування зварних швів. Для протидії цьому процесу в сталі вводять титан або ніобій в кількості 0,5...1%. Титан і ніобій з'єднуються з вуглецем, перешкоджаючи утворенню карбідів хрому. Тим самим титан і ніобій покращують зварюваність сталі.

Мідь. У сталях, які використовуються для відповідальних конструкцій високої надійності, міститься мідь в кількості 0,3...0,8%. Мідь покращує зварюваність, підвищуючи міцність, пластичні властивості, ударну в'язкість і корозійну стійкість сталей.

Сірка. Сірка – шкідлива домішка в сталі, її підвищений вміст призводить до утворення гарячих тріщин, підвищує червоноламкість. Найбільш допустимий вміст сірки – 0,06%, найменш в більшості легованих сталей – 0,02% (у деяких – 0,01%).

Фосфор. Фосфор – шкідлива домішка; підвищений вміст фосфору викликає при зварюванні появу холодних тріщин (холодноламкість), отже, погіршує зварюваність. У вуглецевих сталях вміст фосфору допускається не більше 0,08%.

Кисень, азот і водень. Кисень погіршує зварюваність сталі, знижуючи її механічні властивості: міцність, пластичність, ударну в'язкість.

Азот розчиняється в розплавленому металі, потрапляючи з навколишнього повітря; при охолодженні зварювальної ванни азот утворює хімічні сполуки з залізом (нітриди заліза), які підвищують міцність і твердість сталі і значно знижують пластичність.

Водень – шкідлива домішка в сталі. Водень накопичується в окремих місцях зварного шва, утворює газові бульбашки, викликає появу пористості і дрібних тріщин (флокени).

Зварювання листових конструкцій

У листових конструкціях використовують переважно прокатний листовий метал. Дрібні циліндричні резервуари зварюють автоматами під флюсом або в захисних газах. Барабани парових котлів високого тиску, товщина стінок яких досягає 160 мм, зварюють електрошлаковим способом. Електрошлакове зварювання використовується також при монтажі кожухів доменних печей, що мають товщину до 40 мм.

У листових конструкціях застосовують як стикові, так і нахлесні з'єднання. Одним з найбільш характерних прикладів листової звареної конструкції служить вертикальний резервуар для нафтопродуктів; ємність резервуарів досягає 50000 м³.

Резервуари виготовляють на заводах металоконструкцій, а на місці установки виконують тільки монтажні шви. Корпус, покрівлю та днище зварюють на заводі, згортають в рулони, переводять до місця установки, де і розгортають за допомогою лебідок або тракторів. Цей спосіб виготовлення резервуарів дозволяє застосувати автоматичне зварювання під флюсом. Для зварювання конструкцій з кольорового металу і їх сплавів використовується переважно зварювання в захисних газах.

Питання для самоконтролю:

1. Маркування легованих сталей.
2. Класифікація легованих сталей.
3. Розподіл легуючих елементів в сталі.
4. Зварюваність сталі в залежності від її хімічного складу.
5. Вплив елементів, що містяться в сталях, на їх зварюваність.
6. Зварювання листових конструкцій.

ТЕМА № 7.

Тема: Особливості дугового зварювання різних конструкцій. Кольорові метали та сплави

План:

1. Зварювання ґратчастих та балкових конструкцій.
2. Зварювання труб і трубопроводів.
3. Зварювання арматури залізобетону.
4. Мідь і сплави на її основі.

Зварювання ґратчастих та балкових конструкцій

До ґратчастих зварних конструкцій відносяться ферми, стійки, опори, щогли, кранові конструкції тощо. Ці конструкції виготовляють головним чином з профільного прокату: двотаврів, швелерів, куточків, труб та ін. В ґратчастих конструкціях переважно нахлесні з'єднання та короткі шви; тому їх виконують ручним дуговим зварюванням або напівавтоматичним в вуглекислому газі. На рис. 7.1, а...в представлені конструкції вузлів кроквяних ферм.

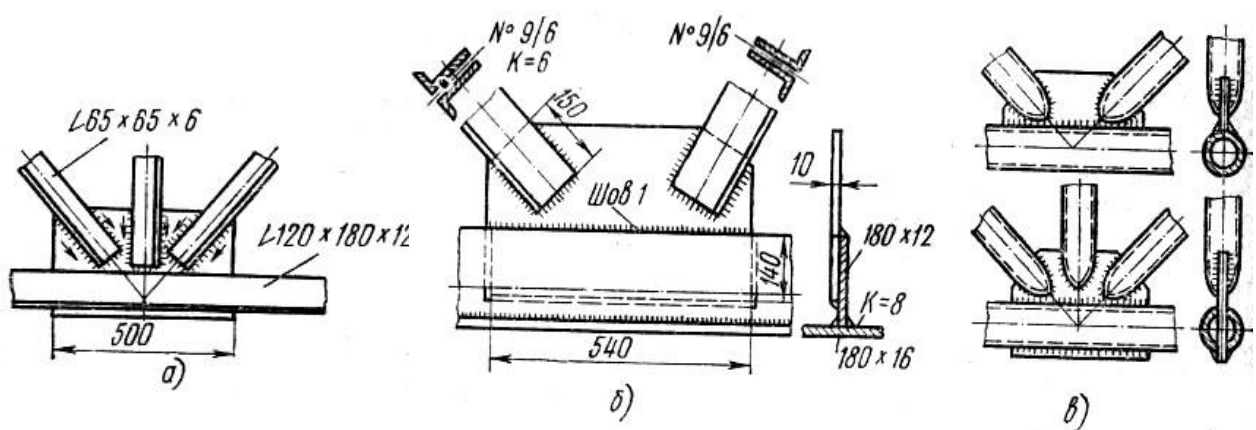


Рис. 7.1. Вузли стропильних ферм: сполуки: а – з косинкою, б – з накладкою, в – трубчастих елементів

На рис. 7.2, а показані балкові конструкції з профільних прокатних елементів і смугової сталі. На рис. 7.2, б показані конструкції з гнутих елементів, які широко застосовуються для 1 колон, стійок та ін.

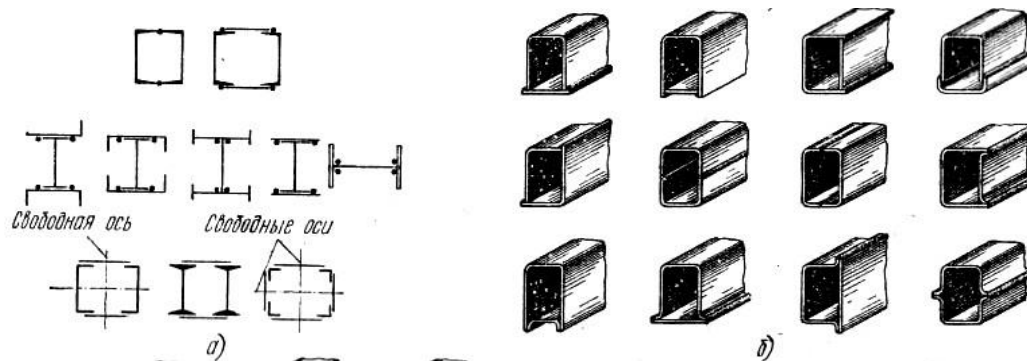


Рис. 7.2. Профілі балок: а – з прокатних елементів; б – з гнутих елементів

Зварювання труб. Зварюванням виготовляють близько 50% всіх труб з діаметрами від декількох міліметрів до 1620 мм. Для виготовлення труб діаметром до 530 мм застосовують різні способи зварювання; труби діаметром понад 530 мм зварюють автоматами під флюсом. Труби виготовляють з вуглецевих і легованих сталей.

За розташуванням швів зварні труби поділяються на три види: з одним поздовжнім швом (рис. 7.3, а); з двома поздовжніми швами (рис. 7.3, б); зі спіральним швом (рис. 7.3, в).

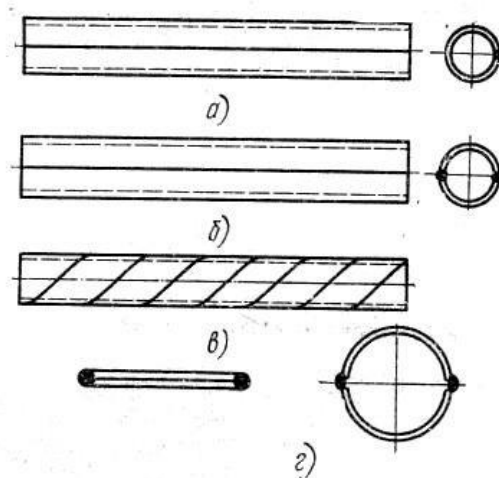


Рис. 7.3. Види електрозварювальних труб:

а – з одним швом, б – з двома швами, в – зі спіральним швом, г – пласкозвернута труба

Спіральний шов застосовується для труб діаметром більше 300 мм.

За допомогою електричного зварювання виготовляють пласкозвернуті труби з обмеженою товщиною стінки (4 мм). Заготовку довжиною 150...300 м згортають в рулон, доставляють на місце монтажу, де розгортають і роздувають стисненим повітрям тиском 12...15 кгс/см². Ці труби застосовують для невідповідальних трубопроводів; вартість такої труби, як і вартість монтажу, набагато менше звичайної.

Сварка трубопроводів. Магістральні трубопроводи прокладають на великі відстані в тисячі кілометрів; численні стики виконують механізованими способами зварювання. Попередньо зварюють секції або ланки довжиною 36...48 м і більше поворотними стиками на спеціальних автоматичних установках. При ручному дуговому зварюванні стиків труб корінь шва проварюють електродом діаметром 3 мм; наступні шари виконують електродами діаметром 4...5 мм.

Зварювання арматури залізобетону

Арматура для залізобетонних конструкцій випускається у вигляді стрижнів круглого перетину гладкого або періодичного профілю. Арматуру виготовляють з низьковуглецевої сталі, середньовуглецевої сталі Ст5 і низьколегованої 25Г2С і 35ГС. Діаметр стрижнів – від 6 до 90 мм.

З'єднання арматурних стрижнів виробляються всіма видами зварювання: ручним дуговим покритими електродами, напівавтоматичним в вуглекислому газі, порошковим і самолегуючим дротом, ванним і електрошлаковим – стикові з'єднання стрижнів діаметром більше 20 мм.

Деякі типи з'єднань арматури залізобетону наведені на рис. 7.4. До них відносяться: стикові (рис. 7.4, а), що виконуються дуговою або електрошлаковою зваркою в сталевій формі, що залишається, внакладку (рис. 7.4, б), з круглими накладками (рис. 7.4, в) і плоскими елементами (рис. 7.4, г), останні три – тільки дуговим зварюванням.

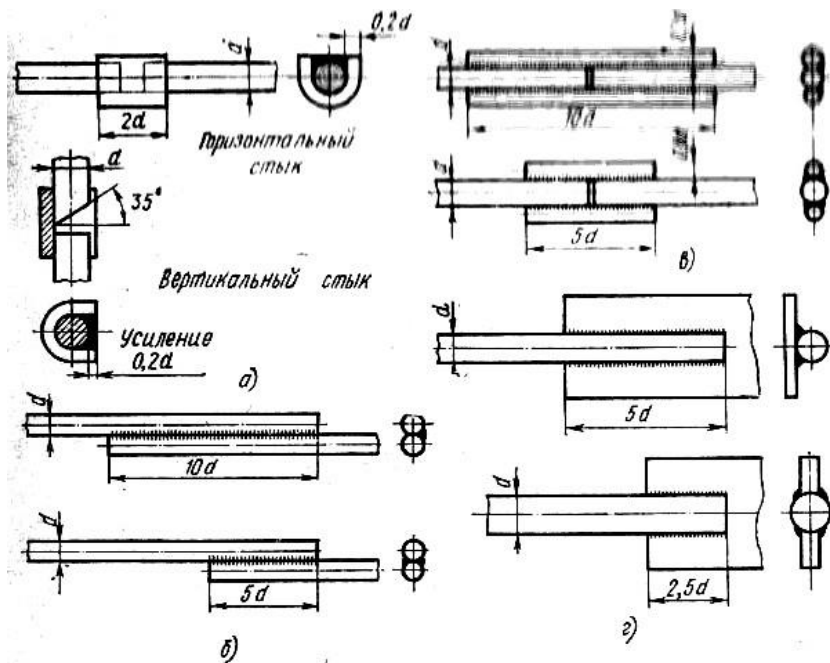


Рис. 7.4. Способи з'єднання зварний арматури залізобетону: а – стикові, б – внакладку, в – з круглими накладками, г – з плоскими елементами

Для зварювання ванним способом гребінкою електродів, стрижні збирають з зазором 10...15 мм. Для утримання розплавленого металу встановлюють і прихоплюють форму. Дуга збуджується в нижній частині форми; після утворення ванни розплавленого металу дуга горить в шарі розплавленого шлаку; гребінка електродів, затиснутих в дворучковому тримачі, поступово піднімається. Для отримання посилення у верхній частині стику, гребінка занурюється в рідкий метал, дуга згасає, електродний метал плавиться в ванні за рахунок тепла від проходження електричного струму.

При зварюванні арматурних стрижнів з низьколегованих сталей 25Г2С і 35ГС на відкритому повітрі при мінусовій температурі уникнути появи тріщин можливо попереднім підігрівом місця зварювання і подальшим повільним охолодженням звареного стику.

Режими і прийоми зварювання кольорових металів

Труднощі при зварюванні кольорових металів: велика теплопровідність, інтенсивне відведення тепла від зони зварювання; низька температура плавлення і кипіння, рідкотекучість; мала міцність і велика крихкість при високій температурі,

велика теплоємність і необхідність застосування високих теплових режимів; здатність рідкого металу поглинати шкідливі гази (кисень, водень, азот).

Різновиди дугового зварювання міді

Мідь має гранецентровану кубічну решітку. Щільність міді 8,94 г/см³, температура плавлення 1083°C. Характерною властивістю міді є її висока електропровідність, тому вона знаходить широке застосування в електротехніці. Технічно чиста мідь маркується: М00 (99,99% Cu) – М4 (99% Cu).

1. *Зварювання вугільним електродом.* Мідь товщиною до 3 мм зварюють по відбортовці без присадочного металу; більше 3 мм – з присадкою: мідь марки М1, фосфориста або кремниста бронза, попередній підігрів до 250...350°C.

2. *Зварювання металевим електродом* марки «Комсомолец-100».

3. Автоматичне зварювання під флюсом вугільним електродом при товщині деталей 4...6 мм. У зварювальний стик укладають смужку латуні ЛТ-80, флюс ОСЦ-45.

4. *Автоматичне зварювання під флюсом металевим електродом.* Зварювальний дріт М1, М2, флюси – ОСЦ-45, АН-20, АН-348А.

5. *Зварювання в середовищі аргону і азоту* виробів товщиною 1,5...20 мм. Зварювальний дріт М1 і М2.

Розрізняють дві групи мідних сплавів:

Зварювання латуні. *Латуні* – сплави міді з цинком. Латуні можуть мати в своєму складі до 45% цинку. За способом виготовлення виробів розрізняють латуні, що деформуються і ливарні.

Деформуємі латуні маркуються буквою **Л**, за якою слідує число, що показує вміст міді у відсотках, наприклад в латуні **Л62** міститься 62% міді і 38% цинку. Якщо крім міді і цинку, є інші елементи, то ставляться їх початкові літери (**О** – олово, **С** – свинець, **Ж** – залізо, **Ф** – фосфор, **Мц** – марганець, **А** – алюміній, **Ц** – цинк). Кількість цих елементів позначається відповідними цифрами після числа, що показує вміст міді, наприклад, сплав **ЛАЖ60-1-1** містить 60% міді, 1% алюмінію, 1% заліза і 38% цинку.

Ливарні латуні також маркуються буквою Л, Після літерного позначення основного легуючого елемента (цинк) і кожного наступного ставиться цифра, яка вказує його усереднений вміст в сплаві. Наприклад, латунь ЛЦ23А6Ж3Мц2 містить 23% цинку, 6% алюмінію, 3% заліза, 2% марганцю.

При зварюванні латуні з неї випаровується цинк; у шві утворюється пористість. Пари цинку токсичні; це створює значні труднощі при зварюванні латуні.

1. Зварювання вугільним електродом листів товщиною 1...10 мм. Присадний метал – латунь з вмістом 40% цинку, флюс – прожарена бура.

2. Зварювання металевим електродом листів товщиною 5...15 мм. Присадний метал – латунь з вмістом 38,5...42,5% цинку.

3. Автоматичне зварювання під флюсом. Дріт – латунь ЛК62-05, ЛК80-3, бронза БрОЦ4-3, БрКМц3-1 або мідь М1, М2, М3 діаметром 1,5...3 мм, флюси – ОСЦ-45.

Зварювання бронзи. *Бронзи* – сплави міді з іншими (крім цинку) елементами. Найбільш поширені бронзи: олов'яниста, алюмінієва, марганцевиста, фосфориста, свинцювата.

Різновиди зварювання бронзи:

1. Зварювання вугільним електродом. Присадний метал – литі прутки того ж складу, що й основний метал; флюс – бура, попередній підігрів до 250...350°C.

2. Зварювання металевим електродом. Для зварювання олов'янистої бронзи застосовують електроди, стрижні яких мають склад: 8% цинку, 6% свинцю, 3% олова, 0,2% фосфору, 0,3% заліза, 0,3% нікелю, решта – мідь. Попередній підігрів до 250...300°C. При зварюванні безолов'янистих бронз склад стрижня електрода повинен бути таким же, як і склад основного металу.

3. Автоматичне зварювання під флюсом. Цим способом зварюють алюмінієві бронзи, застосовують електродний дріт з бронзи БрАМц9-2 і флюс АН-20.

4. Аргонно-дугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом ведеться без флюсу, присадочний метал – прутки того ж складу, що і основного.

Зварювання алюмінію і алюмінієвих сплавів. *Алюміній* – легкий метал з щільністю 2,7 г/см³ і температурою плавлення 660°C. Має високу тепло- та

електропровідність. Хімічно активний, але швидко утворення щільної плівки оксиду алюмінію Al_2O_3 , оберігає його від корозії.

Алюміній високої чистоти маркується А99 (99,999% Al), А8...А0 (вміст алюмінію від 99,85% до 99%).

Технічний алюміній добре зварюється, має високу пластичність. З нього виготовляють будівельні конструкції, використовують в якості електротехнічного матеріалу для кабелів, проводів.

Принцип маркування алюмінієвих сплавів. На початку вказується тип сплаву: **Д** – сплави типу дуралюмінів; **А** – технічний алюміній; **АК** – кувальні алюмінієві сплави; **В** – високоміцні сплави; **АЛ** – ливарні сплави. Далі вказується умовний номер сплаву. За умовним номером іде позначення, що характеризує стан сплаву: **М** – м'який (відпалений); **Т** – термічно оброблений (гарт плюс старіння); **Н** – нагартвані; **П** – полунагартвані.

За технологічними властивостями сплави підрозділяються на три групи:

- сплави, що деформуються, і не зміцнюються термічною обробкою;
- сплави, що деформуються, і зміцнюються термічною обробкою;
- ливарні сплави.

Деформуємі сплави, що не зміцнюються термічною обробкою позначаються: з вмістом марганцю – АМц, магнію – АМг; після позначення елемента вказується його вміст (**АМгЗ**).

Нагартвані та полунагартвані сплави (**АМгЗП**) застосовують для виготовлення різних зварних ємностей.

Деформуємі сплави – дюралюміні (складні сплави систем алюміній - мідь - магній або алюміній - мідь - магній - цинк) зазвичай піддаються гартуванню з температури 500°C і природного старіння, якому передують дво-, тригодинний інкубаційний період. Максимальна міцність досягається через 4...5 діб. Широке застосування дюралюмінію знаходять у будівництві.

Високоміцними старіючим сплавами є сплави, які крім міді і магнію містять цинк **В95, В96**.

Кувальні алюмінієві сплави АК, АК8 застосовують для виготовлення поковок. До складу алюмінієвих сплавів додатково вводять нікель, залізо, титан, які підвищують температуру рекристалізації і жароміцність до 300°C.

До *ливарних сплавів* відносяться сплави системи алюміній - кремній (*силуміни*), що містять 10...13% кремнію. Ливарні сплави маркуються від АЛ2 до АЛ20.

Температура плавлення алюмінію – 657°C; на поверхні алюмінію утворюється тонка і міцна плівка оксиду (Al_2O_3), температура плавлення якої 2050°C. Ця плівка утрудняє зварювання алюмінію; її можна зруйнувати введенням у зону плавлення флюсів.

Різновиди зварювання алюмінію та його сплавів:

1. Дугове зварювання вугільним електродом ведеться на графітових або сталевих підкладках; при товщині листів або шин більше 10...12 мм необхідна обробка крайок під загальним кутом 60...70°.

2. Дугове зварювання металевими електродами ОЗА-1 і ОЗА-2 ведеться з попереднім підігрівом: для металу товщиною 6...9 мм – до 200...250°C, 9...16 мм – до 300...350°C.

3. Автоматичне зварювання під шаром флюсу. Зварювальний дріт – Св-А97 і Св-АМц діаметром 2...3 мм; висота шару флюсу (АН-А1, АН-А4) – 15...30 мм.

4. Аргонно-дугове (ручне і автоматичне). Зварювання неплавким електродом виконується змінним струмом, зварювання електродом, що плавиться – на постійному струмі зворотної полярності.

Зварювання титану. Титан сріблясто-білий легкий метал з щільністю 4,5 г/см³. Температура плавлення титану залежить від ступеня чистоти і знаходиться в межах 1660...1680°C.

За способом виробництва деталей розрізняються деформуються (ВТ 9, ВТ 18) і ливарні (ВТ 21л, ВТ 31л) сплави.

Титан при високій температурі нагріву і розплавленні стає активним, з'єднується з киснем, воднем, і особливо з азотом. Тому при зварюванні його необхідно захищати від взаємодії з атмосферою. Необхідні умови при зварюванні титанових сплавів: травлення кромки, що зварюються або механічна зачистка;

– повний захист розподіленого металу і ділянки, що перебуває при температурі вище 500°C, від дії повітря; застосування чистих захисних газів без домішок кисню, водню, азоту і водяної пари; мінімальний час нагрівання при зварюванні.

Зварювання титану виконується в захисних газах і під флюсом. При зварюванні під флюсом необхідно використовувати титанову підкладку або мідну колодку, що охолоджується водою. Марки флюсів – АН-Т1, АН-Т3.

Питання для самоконтролю:

1. Способи та методи зварювання будівельних конструкцій.
2. Мідь і сплави на її основі.
3. Різновиди дугового зварювання міді та мідних сплавів.
4. Зварювання алюмінію і алюмінієвих сплавів.
5. Зварювання титану.

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА

Основна література

1. Власенко А.М. Матеріалознавство та технологія металів : підручник для здобувачів професійної освіти. – Київ: Літера ЛТД, 2019. – 224 с.
2. Бурда, М.Й. Металознавство і зварювання [Текст]: лаб. практикум / М.Й. Бурда, О.М. Матвієнків. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. – 69 с.
3. Спеціальні способи зварювання: підручник / І.В. Кривцун, В.В. Квасницький, С.Ю. Максимов, Г.В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б.Є. Патона. – Миколаїв: НУК, 2017.– 346 с.
4. Металознавство: навч. посібник / І.В. Прокопович. – Одеса: Екологія, 2020. – 308 с.
5. Матеріалознавство: навчальний посібник / І. Савуляк, О.П. Шиліна, В.Й. Шенфельд / ВНТУ – Вінниця: 2019.-34 с.
6. Матеріалознавство. Сталь: класифікація, виробництво, споживання, маркування. За ред. Криля Я.А. Новий світ-2000: 2021. – 267 с.
7. Пахаренко В.Л., Марчук М.М., Пахаренко О.В. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство (обробка металів різанням) НУВГП Рівне: 2018. – 252 с.
8. Бодрова Л.Г. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство, розділ Матеріалознавство: Навчальний посібник / Л.Г. Бодрова, Г.М. Крамар, Я.О. Ковальчук, І.В. Коваль – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 157 с.

Нормативні джерела:

1. ДСТУ 2651:2005 Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. Київ ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ 2006.
2. ДСТУ 4484:2005/ГОСТ 535-2005 Прокат сортовий і фасонний зі сталі вуглецевої звичайної якості. Загальні технічні умови. Київ ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ 2005.
3. ДСТУ 7806:2015 Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. Київ. (ДП «УкрНДНЦ») 2016.

4. ДСТУ 8833:2019 Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. Київ. (ДП «УкрНДНЦ») 2019.
5. ДСТУ 3925-99 Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки. З поправками (ІПС № 9-2002, ІПС № 8-2006). Київ. ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ 2000.
6. ДСТУ ГОСТ 15527:2005 Сплави мідно-цинкові (латунні), оброблювані тиском. Марки (ГОСТ 15527-2004, ІДТ). З Поправками (ІПС № 6-2005), (ІПС № 9-2005). Київ ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ 2005.
7. ДСТУ ГОСТ 5017:2007 Бронзи олов'яні, оброблювані тиском. Марки (ГОСТ 5017-2006, ІДТ).
8. ДСТУ ISO 209-1:2002 Алюміній та алюмінієві сплави здеформовні. Хімічний склад та види продукції. Частина 1. Марки (ISO 209-1:1989, ІДТ). Київ ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ 2004.
9. ДСТУ EN ISO 3834-1:2022 «Вимоги до якості для зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 1. Критерії вибору належного рівня вимог до якості». — Діючий (набрав чинності 31.12.2023).
10. ДСТУ EN ISO 9606-1:2018 «Кваліфікаційні випробування зварників. Зварювання плавленням. Частина 1. Сталі». — Діючий.

Навчальне видання

ОПОРНИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни
«МЕТАЛОЗНАВСТВО ТА ЗВАРЮВАННЯ».

*(для здобувачів вищої освіти
спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія»)
(Електронне видання)*

Укладач: БІЛОШИЦЬКИЙ Микола Володимирович

Оригінал - макет Н.І. Білошицька

Підписано до друку _____

Формат 60×84¹/₁₆. Папір типограф. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. ____ . Обл.-вид.арк. ____ .

Тираж ____ прим. Вид. № ____ . Замовл. № ____ . Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Адреса видавництва: м. Київ, вул. Іоанна Павла II буд 17, Телефон: +38(050) 218 04 78,
факс (064 52) 4 03 42

E-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com

E-MAIL: UNI@SNU.EDU.UA