

**Національний університет «Чернігівський
колегіум» імені Т. Г. Шевченка**

**Навчально-науковий інститут професійної освіти
та технологій**

Гетта В.Г.

ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Курс лекцій

Чернігів 2025

УДК 620.22:621.9](042.4)

Г44

Рецензенти:

Геннадій БОЛОТОВ

доктор технічних наук, професор, професор кафедри технологій зварювання та будівництва. Національний університет «Чернігівська політехніка».

Микола ХОВИЧ

кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри технологічної освіти та інформатики. Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка.

Гетта В.Г.

Технологія конструкційних матеріалів. Курс лекцій. Чернігів. 2025 . 196 с.

Курс лекцій з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів» містить необхідний навчальний матеріал розрахований на студентів технологічних факультетів та інститутів педагогічного спрямування. Може бути використаний викладачами та студентами професійних закладів технічного напрямку.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
Тема 1. Будова ідеальних металів. Типи кристалічних решіток. Будова реальних металів.....	5
Тема 2. Теорія сплавів Діаграми стану-властивостей	11
Тема 3. Загальна характеристика компонентів сталей. Класифікація та маркування.....	22
Тема 4. Діаграма залізо-цементит	31
Тема 5. Інструментальні сталі, їх класифікація та маркування.....	38
Тема 6. Чавуни, їх класифікація, маркування та застосування.	43
Тема 7. Термічна обробка залізо-вуглецевих сплавів	49
Тема 8. Хіміко-термічна обробка металів і сплавів(ХТО).....	67
Тема 9. Металургія чорних металів	77
Тема 10. Металургія кольорових металів.....	103
Тема 11. Поняття про формоутворення деталей. Формоутворення деталей тиском.	112
Тема 12. Формоутворення деталей способом лиття.....	125
Тема 13. Основи теорії з'єднання зварюванням	138
Тема 14. Електродугове зварювання, обладнання. Ручне електродугове зварювання.....	154
Тема 15. Газове зварювання та різання металів.....	166
Тема 16. Пластичні маси та їх використання в техніці. Гума та вироби з неї.....	172
Тема 17. Деревина та матеріали з неї. Будова дерева.	187

ПЕРЕДМОВА

Навчальна дисципліна «Технологія конструкційних матеріалів» вивчається студентами першого курсу в першому семестрі. Вона має технічний характер із значною кількістю особливостей, порівняно з шкільними навчальними предметами. Більшість з них першокурсниками сприймається важко, тим більше в умовах дистанційного навчання.

По-перше, навчальний матеріал курсу має велику кількість нових для студентів технічних термінів, без засвоєння яких не можна опанувати знаннями з дисципліни. Відомо, що основні знання переважно зосереджені в поняттях, оперуючи якими людина мислить. Технічне мислення складніше за звичайне, воно трьохкомпонентне – понятійно-образно-практичне. Тобто крім оперування поняттями і образами, як у звичайному, додається практика – як діє, де застосовується. Ось тут у першокурсників є затруднення. Тому у даному навчальному посібнику цій особливості приділена значна увага.

По-друге, як показує досвід, у багатьох студентів виникає затруднення з уявленням образу, предмету сприйняття. Специфікою технології конструкційних матеріалів є те, що студенти в матеріалознавстві мають справу з невидимими об'єктами, а в технології навпаки, макрооб'єктами, яких теж вони переважно не бачили – доменні печі, конвертори, прокатні стани тощо. Для полегшення сприйняття в посібнику використана велика кількість графічних зображень – малюнків, схем тощо.

По-третє, навчальний матеріал дисципліни охоплює значну кількість конструкційних матеріалів – метали, пластмаси, гуму, скло, деревину тощо. Фактично першокурсники в школі на уроках технології стикались з металами та деревиною. В посібнику навчальний матеріал з інших конструкційних матеріалів викладається з опорою на фізику, хімію, природознавство та досвід, що полегшує його сприйняття.

По-четверте, посібник, підготовлений як курс лекцій, в порівнянні з традиційними підручниками це теж полегшує вивчення дисципліни, бо адаптує її зміст до лекцій, які проводить викладач.

Тема 1. Будова ідеальних металів. Типи кристалічних решіток. Будова реальних металів

Загальні відомості про метали

Типи кристалічних решіток в металах

Кристалізація металів

Будова реальних металів

Типи дефектів в кристалічних решітках реальних металів

Метали — це хімічні елементи, характерними ознаками яких є висока тепло- і електропровідність, пластичність та міцність. М.В. Ломоносов метали визначав як *«світлі тіла, які ковать можна»*. Це визначення не втратило значення і в даний час. Отже, властивість пластично деформуватись без руйнування — одна з головних ознак металів.

З відомих 106 хімічних елементів металічні властивості проявляють 83. Кожний з них різниться властивостями та будовою, але їх можна об'єднати в групи. Перш за все метали розділяють на чорні та кольорові. Чорні метали в свою чергу розділяють на залізні (залізо, кобальт, нікель та ін.), тугоплавкі, уранові, рідкоземельні та лужноземельні.

Кольорові метали розділяють на легкі (берилій, магній, алюміній), благородні (срібло, золото, платина та ін.), легкоплавкі (цинк, кадмій, ртуть, олово, свинець, вісмут, талій, сурьма, галій, германій).

Вказані властивості металів обумовлені їх електронною будовою. В них електрони, які знаходяться на зовнішніх оболонках (валентні електрони), не зв'язані з певними атомами, а відірвані від них і належать всьому металу в цілому. Тому метал можна уявити у вигляді іонної решітки, у вузлах якої розташовані позитивно заряджені іони, а між ними знаходяться колективізовані електрони. Якщо позитивно заряджені іони мислено з'єднати лініями, то утворюються геометрично правильні фігури. їх називають елементарні комірки (рис. 1). Найчастіше в поширених металах зустрічається об'ємцентрована кубічна (рис. 1, а) (Fe, NA, LI, Ta, Cr та ін.), гранецентрована кубічна (рис. 1, б) (Cu, Al, Au, Ag та ін.), гексагонально щільноупакована (рис. 1, в) (Mg, Zn, Ru, Co⁰ та ін.).

Кристалічні решітки характеризуються такими параметрами: період, базис, коефіцієнт упаковки, координаційне число та інші. Розташування вузлів у решітці визначається індексами Міллера.

Утворення кристалічної решітки в металі відбувається при переході з рідкого стану у твердий. При цьому відстань між атомами зменшується, а сили взаємодії між ними зростають. При наближенні атомів електрони, які знаходяться на зовнішніх оболонках, втрачають зв'язок з своїми атомами. Відбувається утворення вільних електронів.

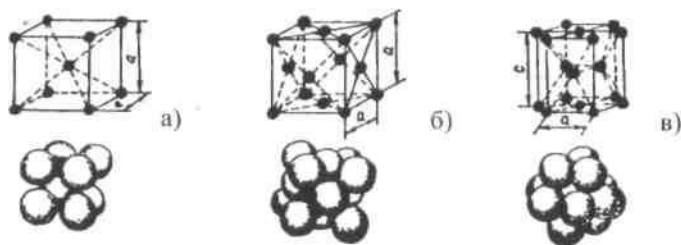


Рис. 1.

Зв'язок між атомами в металі здійснюється електростатичними силами. Між іонами і вільними електронами виникають електростатичні сили притягання, які стягують іони. Такий зв'язок називається металічним.

Крім того в металах діє іонний та ковалентний зв'язок. Іонний виникає між різнорідними атомами. Наприклад NaCl включає в себе Na^+ Cl^- . Він обумовлюється електростатичною взаємодією. Переважно такий зв'язок проявляється в діелектриках. Ковалентний зв'язок виникає за рахунок об'єднання валентних електронів (Кремній, вуглець алмазів тощо.) Тіла, в яких спостерігається правильне розташування атомів, прийнято називати кристалічними. Ті ж тіла, в яких атоми розташовані хаотично, називають аморфними.

Отже, метали є кристалічними тілами. Чи можна отримати аморфні метали? Так, можна, але для цього треба розплавлений метал дуже швидко охолодити. В даний час аморфні метали отримують у вигляді тонкого дроту чи пластинок, тобто таких тіл, які можна швидко охолодити по всьому перерізу.

Процес переходу металу з рідкого стану в твердий називається кристалізацією. Він відбувається в два етапи. Спочатку, при зменшенні температури розплавленого металу утворюється зародки, а потім ці зародки розростаються до утворення зерен. Зародки — це перші елементарні комірки, які утворюються в розплавленому металі в центрах кристалізації. Центрами кристалізації є домішки, стінки посудини та випадково розташовані атоми у вигляді геометрично правильних фігур, ідентичних до елементарних комірок, які характерні даному металу. Оскільки атоми в розплавленому металі швидко рухаються і їх величезна кількість, то завжди є імовірність утворення таких фігур в значній кількості. Отже, в розплавленому металі є величезна кількість центрів кристалізації. При певній температурі, яка характерна для кожного металу (температура плавлення), біля центрів кристалізації утворюються зародки довільно орієнтовані у просторі.

Розростаючись, вони утворюють зерна (рис. 2). Отже, метал складається з великої кількості зерен, тобто є полікристалічним тілом. Якби він кристалізувався з одного центра, то був би монокристалом.

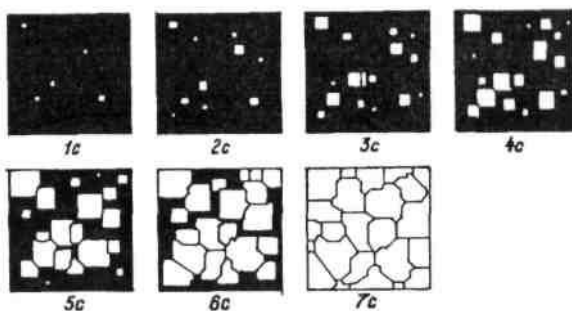


Рис. 2.

З вище сказаного випливає, що змінюючи число центрів кристалізації можна змінити величину зерна. Наприклад, додавши в розплавлений метал порошкоподібного модифікатора можна зменшити величину зерна. Число зародків, а значить і величину

зерна, можна змінити також шляхом переохолодження розплаву. Переохолодження металу – це охолодження з більшою швидкістю ніж тією, яка супроводжується рівноважними процесами. Воно характеризується стелінню переохолодження. Степінь переохолодження – це різниця між теоретичною температурою кристалізації (рівноважний процес) і практичною. Чим більша степінь переохолодження, тим меншими будуть зерна в металі.

Перехід металу з розплавленого стану в твердий відбувається при постійній температурі. Це пояснюється тим, що утворення елементарних комірок відбувається з виділенням тепла (схована теплота кристалізації).

При подальшому охолодженні кристалічні комірки в окремих металах можуть змінюватись. Атоми розташовуються в новому порядку, який енергетично вигідніший, ніж в попередньому. Це явище називається поліморфним або алотропічним перетворенням. Наприклад, залізо має α , γ , δ перетворення. До температури $911\text{ }^{\circ}\text{C}$ буде α -залізо з *ОЦК* решіткою. Від $911\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $1392\text{ }^{\circ}\text{C}$ буде γ -залізо з коміркою *ГЦК*, а від $1392\text{ }^{\circ}\text{C}$ і до плавлення буде δ -залізо з *ОЦК* коміркою.

Оскільки в зерні елементарні комірки об'єднуються в решітку, то спостерігається різна густина упаковки атомів в різних напрямках. Це приводить до анізотропії всіх його властивостей (неоднаковість властивостей в різних напрямках). Оскільки зерен в металі багато і вони розорієнтовані, це приводить до усереднення всіх властивостей, тобто метал є ізотропічним.

Таким чином, метал є полікристалічним тілом. Він має велику кількість зерен, кристалічні решітки яких розорієнтовані в просторі. Атоми металу розташовуються у вузлах кристалічної решітки, яка складається з елементарних комірок, характерних для даного металу. Комірки являють собою геометрично правильну фігуру.

У реальних умовах правильне розташування атомів у решітці порушується. Це викликається різними причинами. Так, до порушень (дефектів) приводять домішки, вакансії тощо.

Усі дефекти можна розділити на три види: точкові, лінійні та поверхневі.

Точкові дефекти мають незначні розміри у трьох вимірах (X , Y , Z). Причин їх виникнення дві. Одна з них – це виникнення в металі вакансій (рис. 3, а). Відомо, що атоми коливаються біля вузлів

решіток. З підвищенням температури амплітуда цих коливань збільшується. Більшість атомів кристалічної решітки мають однакову (середню) енергію і коливаються при даній температурі з однаковою амплітудою. Проте, окремі атоми можуть випадково отримати надлишок енергії від сусідніх атомів, якої достатньо, щоб атом покинув своє місце. Таким чином, утворюється вакансія. Кулонівські сили взаємного притягання стягують сусідні атоми і утворюють дефект. Найбільш часто це трапляється в поверхневих шарах металу. Утворена вакансія може швидко заповнитись атомом, який створив вакансію в іншому місці металу і т.д. Тобто вакансія може переміщуватись в глибину металу. Атом, який покинув вузол решітки, в свою чергу утворює точковий дефект, або навпаки заповнює вакансію.

Точковий дефект може створити також домішковий атом, який відрізняється від основних атомів своїми розмірами (рис. 3, б, в).

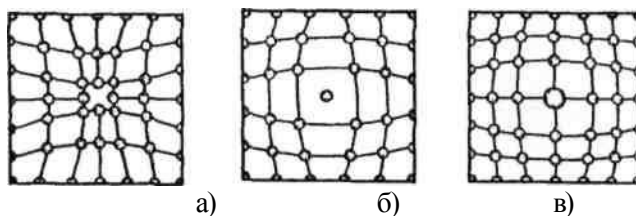


Рис. 3.

Лінійні дефекти мають незначні розміри в двох вимірах і значні в одному, тобто є протяжними. Вони можуть бути крайові (рис. 4, а) та гвинтові (рис. 4, б).

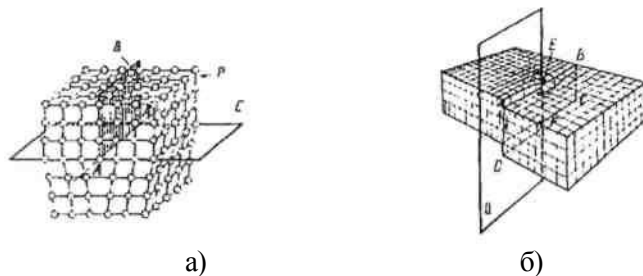


Рис. 4.

Крайові утворюються в результаті зсуву на одну міжатомну відстань однієї частини решітки відносно іншої вздовж якоїсь площини. Тоді число рядів атомів у верхній частині решітки на одиницю більше, ніж у нижній. Отже, у верхній частині решітки з'явиться ніби зайва атомна площа (екстраплощина). Край цієї площини створює лінійний дефект. Гвинтовий дефект утворюється в результаті кристалізації металу шарами, які заходять один під одиний. При цьому відбувається закручування атомних шарів по гвинтовій лінії. Поверхневі дефекти знаходяться на границях між зернами, оскільки на границях зерен атоми розташовуються неправильно. Крім того, по границям зерен зосереджуються дислокації і вакансії, а також концентруються домішки, що ще більше порушує порядок розташування атомів. Дефекти в кристалах суттєво впливають на властивості металів. Підрахунки показують, що ідеальні кристали мають високу теоретичну міцність (у 10...1000 разів більшу, ніж у реальних кристалах). Однак міцність змінюється в залежності від концентрації дефектів.

Питання для самоконтролю

1. Чому метали є полікристалічними тілами?
2. Було б погано чи добре, якби метали були аморфними чи полікристалічними?
3. Збільшення дефектів (точкових, лінійних, поверхневих) покращує чи погіршує властивості металів?
4. Як змінити величину зерен у металі?

Завдання для самостійної роботи

З'ясувати чим обумовлена висока теплопровідність металів

ЛІТЕРАТУРА

1. Афтандіянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 4-22
2. Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріознавство Тернопіль:2023 с.156
3. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025,С 4-5
4. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300
5. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. -Чернігів: 2001, С.6-11.
6. Гетта. В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів: с. 283.
7. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
8. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.
9. Шиліна О. П Технологія конструкційних матеріалів – Вінниця: 2020, с.108.

Тема 2. Теорія сплавів Діаграми стану-властивостей

Загальні відомості про металеві сплави

Типи сплавів

Діаграми стану сплавів

Діаграми стану-властивостей

Металічним сплавом називається складна речовина, отримана сплавленням (або спіканням) декількох металів або металів з неметалами (металоїдами). Сплав можна отримати дифузійним методом, тобто в метал впроваджують атоми якоїсь речовини. З часом, при створенні відповідних умов, вони дифундують у глибину металу. На практиці частіше всього використовують сплави, отримані методом розплаву.

Елементи, які входять до складу сплаву, називають компонентами. Сплави можуть бути двокомпонентні і більше. Однак

теорія багатокомпонентних сплавів складна, тому далі будемо розглядати тільки двокомпонентні сплави.

Однорідну частину системи, яка має чітку границю, при переході через яку різко змінюються властивості, називають фазою. Сукупність фаз, які знаходяться в рівновазі при певних зовнішніх умовах (тиску, температурі), називають системою. Наприклад, розплавлений метал є однофазною системою. Видиме взаємне розташування фаз, їх форма і розміри визначають поняття структура сплаву.

Металічних сплавів можна створити багато, тому що більшість відомих хімічних елементів є металами. Навіть якщо створювати сплави тільки з їх комбінації, то вже буде значне число сплавів.

У зв'язку з різноманітністю компонентів виникає багато запитань. Наприклад, як будуть вести себе компоненти, якщо їх розплавити та змішати між собою? Можливо, що вони необмежено розчинятимуться один в іншому, або буде неповна розчинність, чи-то не розчиняться один в іншому зовсім.

Виявляється, що більшість металів в розплавленому стані розчиняється один в одному в будь-яких співвідношеннях. В однорідному розчині атоми компонента *B* рівномірно розподіляються серед атомів металу *A* – розчинника. Лише деякі метали розчиняються в рідкому стані обмежено. І тільки дуже обмежена кількість металів із-за великої різниці в розмірах атомів не розчиняються один в іншому в рідкому стані.

Як же будуть вести себе компоненти при кристалізації сплаву? Як вона буде протікати? Кристалізація сплавів відбувається по такому ж механізму, як і метали. Хоча в процесах кристалізації є й відмінне. Так, кристалізація металів відбувається при постійній температурі, а сплавів – в певному інтервалі температур. Наприклад, залізо затвердіє при температурі 1539 °C, а сталь 45 починає кристалізуватися при температурі близько 1500 °C і закінчує при

1400 °C. Із зниженням температури кількість твердої фази росте. Щоб знайти співвідношення між фазами, можна застосувати так зване правило відрізків, яке буде розглянуте далі.

Другою відмінністю є те, що метали при затвердінні залишаються однофазними, а сплави можуть утворити твердий розчин, або механічну суміш, чи-то хімічну сполуку. Тверді

розчини утворюються в результаті переходу в твердий стан однорідних рідких розчинів. У твердому розчині одна з речовин, яка входить до складу сплаву, зберігає характерну їй кристалічну решітку, а інша розподіляється окремими атомами в кристалічній решітці першої речовини. При цьому можливі тверді розчини втілення та заміщення. В твердих розчинах втілення атоми розчинюваної речовини заходять в міжатомний простір кристалічної решітки розчинника. В твердих розчинах заміщення частина атомів розчинюваного заміщає атоми в кристалічній решітці розчинника.

Прикладом твердого розчину втілення може бути сплав заліза з азотом, бором, воднем тощо. Твердий розчин заміщення залізо створює з хромом, нікелем тощо.

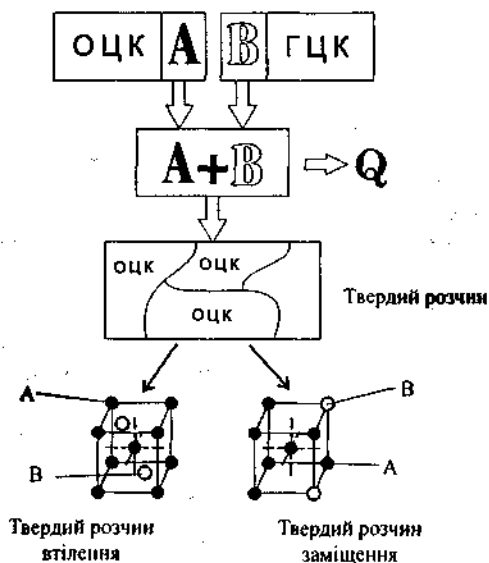
Сплав типу механічна суміш характерний тим, що після кристалізації розплаву утворюються зерна окремих компонентів з властивими для них комірками.

У сплаві типу хімічна сполука після кристалізації утворюються зерна з коміркою, яка не характерна ні компоненту A , ні компоненту B . Атоми компонентів в цій комірці розташовуються за законом A_mB_n , де m і n кількість атомів відповідних компонентів.

Хімічні сполуки, як і чисті метали, мають постійну температуру плавлення і, як правило, є великої твердості і крихкості.

Чи можна передбачити який тип сплаву створять ті чи інші компоненти? Точно сказати про це не можна. Хоча є певна імовірність це з'ясувати. Так, велика імовірність утворення сплаву хімічна сполука є тоді, коли елементи компонентів сплаву знаходяться далеко один від одного в таблиці Д. І. Менделєєва. Механічні суміші утворюють метали, які мають різні типи кристалічних решіток і значно відрізняються діаметрами атомів та температурою плавлення.

Схема утворення твердого розчину



Крім зазначених вище типів сплавів можуть виникати проміжні – тверді розчини на основі хімічної сполуки, упорядковані тверді розчини, електронні сполуки (фази Юм-Розері), фази втілення тощо.

Раніше розглядались тверді розчини, які утворились на основі чистих компонентів. Однак, здатність до утворення твердих розчинів характерна не тільки чистим елементам, але й хімічним сполукам. В таких випадках зберігається решітка хімічної сполуки, але надлишкова кількість атомів (наприклад, атомів *B*) розчиняється, заміщуючи в решітці якусь кількість атомів *A*. Можливе також розчинення і третього елемента *C*. У такому разі атоми *C* заміщують у вузлах кристалічної решітки атоми *A* і *B*.

Схема утворення механічної суміші

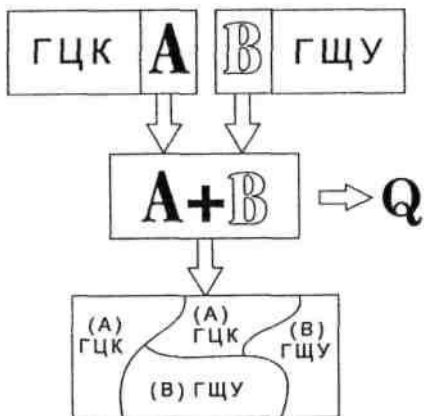
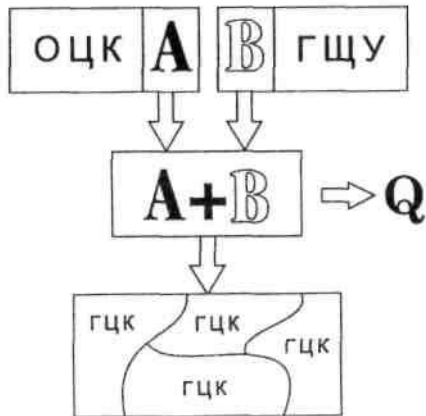


Схема утворення хімічної сполуки



Явище упорядкованості атомів у твердому розчині було помічене Н. С. Курнаковим. У звичайних твердих розчинах атоми розчиненого компонента розподіляються в решітці довільно. Але в окремих випадках атоми розчиненого елемента можуть розташовуватись правильно. Такі тверді розчини називають

упорядкованими. Наприклад, при повільному охолодженні сплаву міді та золота їхні атоми займають, певні місця в решітці. Так, атоми золота можуть зайняти всі кутові положення ГЦК, а атоми міді – центри граней.

Англійський металофізик Юм-Розері відкрив твердий розчин на основі електронного з'єднання. Цей вид з'єднань утворюється двома металами із слідуєчих груп: мідь, срібло, золото, кобальт, свинець, нікель, з однієї сторони та берилій, цинк, кадмій, алюміній, олово, кремній – з іншої. Ці з'єднання характеризуються певним відношенням валентних електронів до числа атомів ($3/2$; $21/13$ чи $7/4$), причому кожному відношенню відповідає певна кристалічна решітка. Так, відношенню $3/2$ відповідає ОЦК решітка, $21/13$ – складна кубічна, $7/4$ – гексагональна решітка.

До числа найбільш важливих з'єднань, які утворюються в сплавах, відносяться фази втілення. Це з'єднання перехідних металів (залізо, марганець, хром, молібден тощо) з неметалами, які мають малі атомні радіуси (вуглець ($0,077$ нм), водень ($0,046$ нм), азот ($0,071$ нм)). У цьому випадку атоми металу утворюють прості решітки, а атоми неметалу впроваджуються в пори цих решіток в певні місця. Основна відмінність фаз втілення від твердих розчинів втілення, полягає в тому, що перші утворюють нову кристалічну решітку із закономірним розташуванням атомів компонентів, а другі зберігають упаковку розчинника. Фази втілення мають високі температури плавлення, твердість і електропровідність.

Діаграми стану є графічним зображенням фазового стану сплавів в залежності від температури і концентрації компонентів.

Діаграми стану показують стійкий стан, при якому система має мінімум вільної енергії, тому вони називаються діаграмами рівноважного стану. Цей стан відповідає дуже повільному нагріванню та охолодженню сплаву. Оскільки істинну рівновагу в реальних умовах досягти важко, то діаграми стану носять теоретичний характер, а на практиці вони використовуються для розгляду перетворень при малих швидкостях нагріву та охолодження.

Загальні закономірності співіснування стійких фаз, які відповідають теоретичним умовам рівноваги, можуть бути виражені в математичній формі правилом фаз (законом Гіббса):

$$c = k - f + n,$$

де c – число степеней свободи; k – кількість компонентів; f – число фаз у системі; n – число зовнішніх факторів (k , n і f – незалежні змінні фактори рівноваги).

Під числом степеней свободи (варіантністю) системи розуміють число зовнішніх і внутрішніх факторів (температура, тиск, концентрація), які можна змінювати без зміни числа фаз в системі.

Якщо $c = 0$ (нонваріантна система), то зміна хоча б одного фактора приведе до порушення рівноваги та викличе зміну фазового стану системи. Якщо $c = 1$ (моноваріантна система), то можлива зміна в деяких межах одного з факторів і це не приведе до зменшення чи збільшення числа фаз.

Фазою називається однорідна частина системи, яка відділена від іншої частини поверхнею розподілу, при переході через яку хімічний склад, або структура речовини змінюється скачками. Так, розплавлений метал однофазний, а сплав механічна суміш – двофазний.

Число зовнішніх факторів n це температура і тиск. Оскільки в металах і сплавах усі перетворення відбуваються при постійному (атмосферному) тиску, то $n = 1$, тоді правило фаз записується так:

$$c = k - f + 1.$$

Правило фаз дозволяє перевірити правильність побудови кривих кристалізації та діаграм стану. При $c = 0$ на кривій охолодження відмічається полочка, а при $c = 1$ – перелом лінії. Діаграми стану будують на основі кривих охолодження. Для конкретного сплаву з різною концентрацією компонентів будують криві охолодження. Потім критичні точки з кривих охолодження переносять в систему координат температура-концентрація і з'єднують їх лініями. Так отримують основні лінії діаграм.

Конкретний приклад побудови діаграми сплаву свинець-сурма наведений на рисунку 2.1.

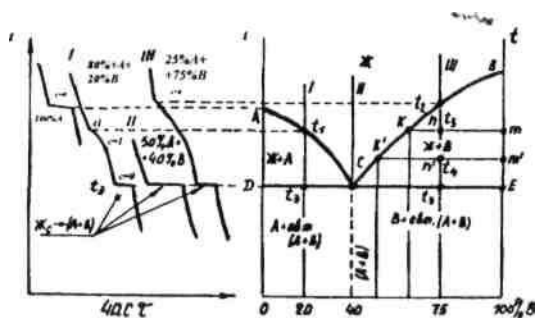


Рис. 2.2

Наприклад, при температурі t_3 точка m характеризує склад твердої фази компонента B . Перетин коноди з лінією ліквідус k дозволяє визначити склад рідкої фази (опустити перпендикуляр на вісь концентрації) (рис.2.2).

При зменшенні температури продовжується кристалізація компонента B , а тому його концентрація в рідині зменшується.

Таким чином, при охолодженні сплаву точка k переміщується по лінії ліквідус, наближуючись із зниженням температури до точки C . Значить, лінія ліквідус показує зміну концентрації компонента B в рідкій фазі по мірі кристалізації сплаву. В точці C рідина, яка залишилась, дає евтектичну суміш кристалів A і B .

Кількісна оцінка здійснюється правилом відрізків, яке можна сформулювати з двох частин. Перша з них формулюється так:

Щоб визначити концентрацію компонентів у фазах, через дану точку n , яка характеризує стан сплаву, проводять горизонтальну лінію до перетину з лініями, які обмежують дану область. Проекції точок перетину на вісь концентрації показують склад фаз.

Друга:

Для того, щоб визначити кількісне співвідношення фаз, через дану точку n проводять горизонтальну лінію. Відрізки цієї лінії tn і nk між заданою точкою і точками, які визначають склад фаз, обернено пропорційні кількості фаз.

Виходячи з цього правила знайдемо співвідношення між рідкою фазою ($Ж$) і кристалами ($В$):

$$Ж = \frac{mn}{mk} \cdot 100\%; \quad B = \frac{nk}{mk} \cdot 100\%$$

Якщо кількість сплаву позначити Q , то

$$Ж = \frac{mn}{mk} \cdot Q; \quad B = \frac{nk}{mk} \cdot Q$$

Після розгляду побудови діаграми сплаву свинець-сурма може виникнути запитання: чи велика різноманітність діаграм сплавів? Виявилося, що ні. Експериментальні дослідження показали, що всі діаграми можна розділити на чотири типи (рис. 2.3).

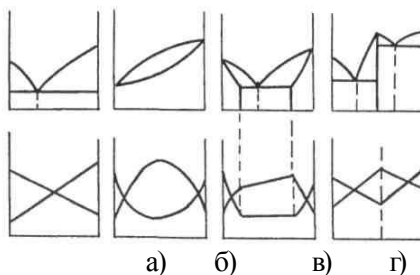


Рис. 2.3.

Як з'ясувалось, тип діаграми відповідає типу сплаву. Механічна суміш має діаграму, показану на рис. 2.3, а, твердий розчин з обмеженою розчинністю в твердому стані розчинюваного – рис. 2.3, б, твердий розчин з необмеженою розчинністю – рис. 2.3, в, хімічна сполука – рис. 2.3, г. Проте, діаграми деяких сплавів не співпадають із зазначеними вище. Вони складаються з їх частин. Виявляється, що тип сплаву залежить не тільки від його компонентів, а й від концентрації. До цього винятку належить і діаграма сплаву заліза з вуглецем. І при незначній кількості вуглецю залізо з вуглецем утворює і твердий розчин, а більший – хімічну сполуку.

Питання для самоконтролю

1. Що являють собою сплави? Які фази та структури можуть утворитися в сплавах при їх кристалізації?

2. Що називають твердими розчинами? Намалюйте схеми чистих металів і твердих розчинів.
3. Намалюйте та поясніть діаграму стану для випадку утворення неперервного ряду твердих розчинів.
4. Намалюйте та поясніть діаграму стану для випадку повної нерозчинності компонентів та утворення евтектики.
5. Намалюйте та поясніть діаграму стану для випадку обмеженої розчинності компонентів та утворення евтектики.

Завдання для самостійної роботи

З'ясувати методи побудови діаграм подвійних сплавів

ЛІТЕРАТУРА

1. Афтандіянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123. С 33-49
2. Бодрова Л.Г. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156
3. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025, С 5-9
4. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009, с.300
5. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. -Чернігів: 2001, С.12-21.
6. Гетта. В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів:
7. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301.
8. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.с. 283.
9. Шиліна О. П. Технологія конструкційних матеріалів – Вінниця: 2020, с.108.

Тема 3. Загальна характеристика компонентів сталей. Класифікація та маркування

Характеристика компонентів сталей

Домішки в сталях та їх вплив на властивості

Класифікація сталей

Вуглецеві конструкційні сталі та їх маркування

Леговані конструкційні сталі та їх маркування

Сталі спеціального призначення

Залізовуглецеві сплави – це сплави, отриманні методом розплаву заліза з вуглецем. До них відносяться сталь і чавун. Оскільки основними компонентами їх є залізо та вуглець, то спочатку розглянемо їх більш детально.

Залізо – це хімічний елемент з явно вираженими металічними властивостями. Воно добувається з надр землі, де знаходиться в рудах частіше всього в окислах Fe_2O_3 . Воно має сріблясто-білий колір. Густина заліза $7,8 \text{ г/см}^3$. Температура плавлення 1539°C . Кристалічна решітка ОЦК. При зміні температури залізо має поліморфні перетворення, які позначаються Fe_α , Fe_γ , Fe_δ . Атомний номер заліза 26, атомна вага 55,85. Залізо – феромагнітний матеріал, але при температурі 768°C (точка Кюрі) воно стає немагнітним. Найбільш чисте залізо, отримане в лабораторних умовах, має 99,9917% Fe. Залізо має невисоку твердість (80 НВ) і міцність (280 Мн/м^2).

Вуглець у природі зустрічається у двох модифікаціях: у формі алмазу із складною кубічною решіткою, та у формі графіту з простою гексагональною решіткою. Густина графіту $2,25 \text{ г/см}^3$. При нагріванні до 3650°C графіт починає сублімувати. Діаметр атома вуглецю – 0,154 нм.

Виходячи з типів комірок, розмірів атомів заліза та вуглецю, можна зробити висновок, що вуглець в α -залізі не розчиняється, а в γ -залізі розчиняється. Однак, експериментальна перевірка показує, що все-таки незначна кількість вуглецю розчиняється і в α -залізі. Пояснюється це наявністю в реальних решітках дефектів, особливо по границях зерен.

Основним конструкційним металічним матеріалом у промисловості є вуглецева сталь. Крім заліза і вуглецю в сталях є багато домішок. Вони можуть бути корисні та шкідливі, постійні та

випадкові. Як вуглець, так і кожна з домішок впливають на властивості сталі. Особливо на властивості сталі впливає вуглець. Навіть при незначній зміні кількості вуглецю помітно змінюються властивості сталі. На рисунку 3.1 показана залежність між кількістю вуглецю і механічними та фізичними властивостями сталі.

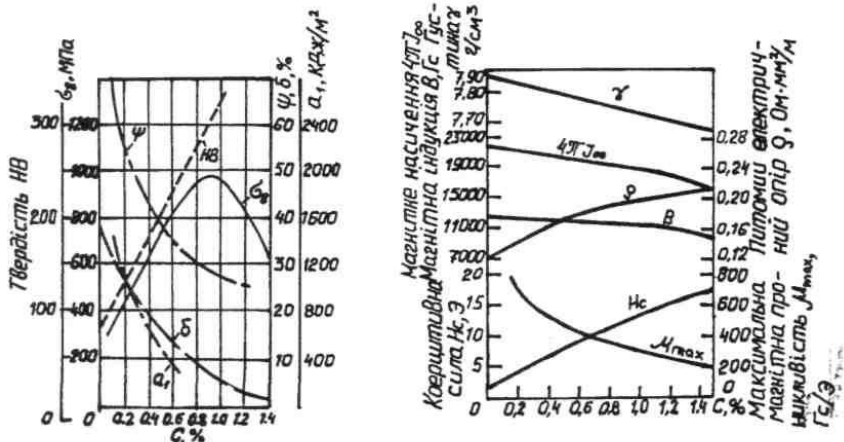


Рис. 3.1.

Постійними домішками в сталі є марганець, кремній, фосфор, сірка, а також гази: водень, азот та кисень.

Марганець суттєво впливає на властивості сталі, підвищує міцність, нейтралізує шкідливі з'єднання сірки тощо.

Кремній позитивно впливає на сталь. Його дія аналогічна до марганцю.

Фосфор є шкідливою домішкою в сталі. Розчиняючись у фериті, він різко підвищує температуру переходу в крихкий стан, викликаючи холодноломкість (синьоломкість) сталі.

Сірка, як і фосфор, потрапляє в метал із руд та разом з паливом. Вона теж шкідлива. Але не розчиняється в сталі. Сірка в будь-якій кількості утворює із залізом сірчасті з'єднання – сульфід заліза, які є евтектичними з температурою плавлення 988 °С і вище, тобто в районі температур червоного кольору. Тому це явище називають червоноломкістю. Це явище особливо небезпечне

при обробці сталі тиском, тому що при гарячій обробці тиском у металі з'являється надриви та тріщини.

Уведення в сталь марганцю зменшує шкідливий вплив сірки. Марганець з'єднується з сіркою, утворюючи сульфід марганцю, який плавиться при температурі 1620 °С.

Кількість фосфору і сірки обмежують. Фосфору у сталі допускається не більше 0,05 %, а сірки – 0,03 %.

Водень, азот, кисень знаходяться в сталі в незначній кількості. Їх кількість залежить від способу виробництва. У сталях вони знаходяться в раковинах, розчиняються у фериті, утворюють різні з'єднання (нітриди, оксиди). Наявність цих газів у металі приводить до шкідливих наслідків. Водень сприяє утворенню надривів (флокенив). Азот і кисень дуже впливають на зменшення в'язкості металу, зменшують ударну в'язкість.

Сталі класифікують за хімічним складом, призначенням, якістю, ступенем розкисленості, структурою тощо.

За хімічним складом сталі розділяють на вуглецеві та леговані. Сталь, властивості якої залежать в основному від вуглецю, називають вуглецевою. Вуглецеві сталі за вмістом вуглецю розділяють на низько-вуглецеві (до 0,25 % С), середньовуглецеві (0,25 – 0,6 % С) і вуглецеві (більше 0,6 % С).

Легованою називають сталь, до складу якої входять спеціально введені елементи для придання їй необхідних властивостей.

По кількості введених легуючих компонентів леговані сталі розділяють на три групи: низьколеговані (в сумі до 2,5 %), середньолеговані (від 2,5 до 10 %) і високолеговані (більше 10 %). Сталі розрізняються також у залежності від уведених елементів. Наприклад: хромисті, марганцеві, хромонікелеві і т.д.

Сталі за призначенням діляться на конструкційні, інструментальні та спеціального призначення з особливими властивостями.

Конструкційні сталі призначені для виготовлення деталей машин, приладів та елементів будівельних конструкцій. Із конструкційних сталей можна виділити цементуємі, покращуємі, автоматні, високоміцні, ресорно-пружинні та інші.

Інструментальні сталі розділяють на сталі для виготовлення ріжучого й вимірювального інструменту, штампів холодного й гарячого деформування.

Сталі спеціального призначення – нержавіючі, жаростійкі, зносостійкі тощо.

За якістю сталі розділяють на звичайної якості і якісні. Під якістю розуміється сукупність властивостей, які визначаються металургійним процесом її виробництва. Однорідність хімічного складу, будови та властивостей сталі залежить від вмісту шкідливих домішок. Основними показниками для розділення сталей за якістю є норми вмісту шкідливих домішок (сірки, фосфору). Сталі звичайної якості мають до 0,06 % сірки та 0,07 % фосфору, якісні – до 0,035 % сірки та 0,035 % фосфору.

За ступенем розкисленості сталі розділяють на спокійні, напівспокійні та киплячі. Ступінь розкисленості визначається величиною видалення кисню після виплавлення сталі. Спокійні сталі розкислені трьома розкислювачами – марганцем, кремнієм та алюмінієм. Напівспокійні сталі розкисляються марганцем та кремнієм. Киплячі – тільки марганцем.

Сталі за структурою класифікують на доевтектоїдні, евтектоїдні та заевтектоїдні.

Вуглецеві сталі розподіляються на три основні групи: сталі звичайної якості, якісні та спеціального призначення. Сталі вуглецеві звичайної якості дуже поширені. Споживачам поставляються у вигляді прокату в нормалізованому стані.

Вуглецеві сталі звичайної якості маркуються буквами та цифрами. Сталь позначається скороченням Ст., а її міцність цифрами від 0 до 6. Із збільшенням цифри зростає міцність. Значення міцності встановлюють за таблицями.

Перед позначенням Ст. вказується за якими показниками постачається сталь. Буква А означає, що сталь поставляється за механічними властивостями, Б – за хімічним складом, В – за механічними властивостями і за хімічним складом. Оскільки частіше всього сталі звичайної якості поставляються за механічними властивостями, то буква А у маркуванні не ставиться.

Перед буквами, що означають поставку, ставлять букви, що означають спосіб виробництва сталі: М – мартенівський, К – конвертерний, Е – в електропечах. Якщо поряд з буквами поставки відсутні букви, якими позначають спосіб виробництва, то це означає, що для даної сталі спосіб виробництва не має значення. Після цифр, які показують групу міцності, позначають ступінь розкисленості сталі: сп – спокійна, не – напівспокійна, кп – кипляча.

Оскільки більшість сталей випускають розкисленими, то в маркуванні сп не ставиться. Наприклад, МБСтЗ.

Якісні сталі маркуються двозначним числом, яке показує вміст вуглецю в сотих долях відсотка. У випадках, коли в тексті не йдеться про сталь, наприклад, на кресленнях, перед числом пишеться повністю слово «Сталь» – Сталь 40. Буква Г у марках сталей показує, що в даній сталі підвищена кількість марганцю (до 1%). Якісні сталі поставляють з гарантованими механічними властивостями та хімічним складом (табл. 2).

Таблиця 1. Склад сталей загального призначення групи Б, %

Марка сталі	Вміст, %		Марка сталі	Вміст, %	
	С	Мn		С	Мn
Ст0	< 0,23	–	Ст4	0,18 –	0,40 –
Ст1	0,06 –	0,25 –		0,27	0,70
	0,12	0,50	Ст5	0,28 –	0,50 –
Ст2	0,09 –	0,25 –		0,37	0,80
	0,15	0,50	Ст6	0,38 –	0,50 –
Ст3	0,14 –	0,30 –		0,49	0,80
	0,22	0,65			

Таблиця 2. Деякі механічні властивості якісних сталей

Марка сталі	Межа стійкості при розтягу $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Відносне видовження δ , %	Твердість, НВ	Призначення
15	380	27	149	Мало навантажувані деталі: шестерні, осі, ролики та ін.
20	420	25	163	
25	460	23	170	Середньо навантажувані

35	540	20	207	деталі: шестерні, вали, осі.
40	580	19	217	Середньо навантажувані деталі: шатуни, вали, шестерні, пальці.
45	610	16	229	
50	640	14	241	Високо навантажувані деталі: шестерні, муфти, пружини ін.
55	660	13	255	
65	710	10	255	Пружини, ресори, ексцентрики й інші деталі, які працюють в умовах тертя
75	730	9	285	
85	1150	6	302	
60Г	710	11	269	

Сталі спеціального призначення маркуються в залежності від типу. Автоматні сталі маркуються буквою А і цифрами, які показують вміст вуглецю в сотих долях відсотків. Наприклад: А12, А20, А30, А40Г.

Сталі листові котельні маркують так: 12К, 15К, 16К, 18К, 20К, 22К. Вміст вуглецю в них від 0,08 до 0,28 %. Ці сталі поставляють у вигляді листів і поковок, нормалізованими та відпущеними.

3.4. Леговані конструкційні сталі

Для поліпшення вуглецевих конструкційних сталей їх легують, тобто в розплавлену сталь вносять легуючі елементи (нікель, хром, вольфрам, марганець тощо). Кожний з внесених елементів по своєму впливає на властивості сталі.

Хром поліпшує механічні властивості конструкційних сталей, підвищує її корозостійкість. Його вводять у сталь у кількості до 2 %.

Нікель – найбільш цінний легуючий елемент. Його вводять у сталь у кількості від 1 до 5 %. Нікель помітно підвищує межу текучості сталі, але робить її чутливою до перегріву. У зв'язку з цим

для подрібнення зерна одночасно з нікелем у сталь вводять карбідоутворюючі елементи.

Марганець вводять у сталь до 1,5 %. Він розподіляється між феритом і цементитом.

Кремній є не карбідоутворюючим елементом і його кількість у сталі обмежують до 2 %. Він значно підвищує межу текучості сталі, а при вмісті більше 1 % зменшує в'язкість і підвищує поріг холодноломкості.

Молібден і вольфрам є карбідоутворюючими елементами, які в більшості розчиняються в цементиті. Молібден у кількості 0,2 – 0,4 % і вольфрам у кількості 0,8 – 1,2 % у комплексно легованих сталях сприяють подрібненню зерен, збільшують гартуємість і покращують інші властивості сталі.

Ванадій і титан – дуже карбідоутворюючі елементи, які вводять у невеликій кількості (до 0,3 і 0,1 %) у сталі, які мають хром, марганець та нікель, для подрібнення зерна. Перевищення вмісту ванадію, титану, молібдену і вольфраму в конструкційних сталях недопустиме, так як утворюються важкорозчинні карбіди. Надлишкові карбіди розташовуються по межах зерен, що приводить до крихкого руйнування та зниження гартуємість сталі.

Кожний елемент, який вноситься в сталь, у маркуванні вказується буквою: Н – нікель, Х – хром, М – молібден, І – марганець, Д – мідь, Р – бор, Б – ніобій, С – кремній, В – вольфрам, Т – титан, Ф – ванадій, Ю – алюміній. Перші цифри в марці показують середній вміст вуглецю в СОТІХ долях відсотка. Цифри, які йдуть після букви, показують приблизний вміст даного легуючого елемента. Наприклад, сталь 30ХГС має склад: 0,28 – 0,35 вуглецю, 0,8 – 1,1 % хрому, 0,9 – 1,2 % марганцю, 0,8 – 1,2 % кремнію.

Для нестандартних сталей можуть бути інші позначення.

У техніці часто виникає необхідність у конструкційних матеріалах з особливими властивостями. Наприклад, у приладобудівництві часто впаюють нагрівники, електроди чи арматурну сітку в скло. Але ж різний коефіцієнт лінійного розширення металу та скла може привести до руйнування скла. У такому разі треба мати сплави із заданим або малим коефіцієнтом лінійного розширення. Так, при виготовленні телевізійних кінескопів, ламп розжарення та інших вакуумних приладів без таких сплавів не обійтися.

До таких матеріалів належать залізонікелеві сплави (інвар), залізохромисті феритні сплави 18ХТФ і 18ХМТФ.

Велика потреба в техніці виникає в сплавах з особливими фізичними властивостями. До них належать магнітні сталі і сплави. Вони можуть бути магнітотверді та магнітом'які. З магнітотвердих сталей і сплавів виготовляють постійні магніти. Вони характеризуються високими значеннями коерцитивної сили, залишкової індукції та магнітної енергії.

Для досягнення необхідних властивостей склад і технологію виробництва магнітотвердих матеріалів підбирають так, щоб в максимальній мірі зафіксувати нерівноважний структурний стан феромагнетика з високими внутрішніми напруженостями. Для цього проводять такі види обробки, як гартування і старіння, модифіціювання та інші, які викликають викривлення кристалічної решітки, утворення дисперсних фаз та подрібнення зерен.

Найбільш поширеною і дешевою для виготовлення невеликих і невідповідальних магнітів є сталі марок У8 – У10. Більш якісними є хромисті та кобальтові сталі.

Для виготовлення високоякісних магнітів застосовують сплави алні, алністі, альніко (магніко). Магніти із цих сталей отримують методом точного лиття, оскільки їх обробка можлива тільки шліфуванням.

Магнітом'які матеріали характерні тим, що мають малу коерцитивну силу та високу магнітну проникність. Магнітом'які матеріали розподіляються на три групи: низькочастотні, високочастотні та матеріали з особливими магнітними властивостями.

Найбільш простим за складом магнітом'яким матеріалом є чисте залізо. Чим воно чистіше, тим має вищу магнітну проникність.

Трансформаторна та динамна сталі містять біля 0,1 % вуглецю і 0,8 – 4,8 % кремнію.

Якщо необхідно, щоб сплав мав високу початкову магнітну проникність в слабих магнітних полях, то до його складу вводять нікель (35 – 85 %) з добавкою 3 – 4 % молібдену. Такі сплави називають пермалоями.

Питання для самоконтролю

1. Які домішки в сталях відносяться до корисних а які до шкідливих?
2. Як виявити кількість корисних і шкідливих домішок в сталі?
3. Як позбутися в сталях надлишкової кількості сірки?
4. Як позбутися в сталях надлишкової кількості фосфору?
5. Які домішки покращують корозостійкість сталі?
6. Чи може негативно впливати на якість сталі велика кількість корисних домішок в сталі?

Завдання для самостійної роботи

З'ясувати як домішки впливають на пластичну деформацію конструкційних сталей

ЛІТЕРАТУРА

1. Афтанділянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 87-104
2. Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156
3. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів: с.133-151.
4. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів.-Чернігів: 2001, с.28-35.
5. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300
6. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
7. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.

Тема 4. Діаграма залізо-цементит

Загальна характеристика діаграми залізо-цементит.

Основні лінії і точки діаграми.

Фазові перетворення в сталях і чавунах при їх повільному нагріванні і охолодженні.

Розгляд окремих ділянок діаграми.

Виходячи з практичного застосування залізо-вуглецевого сплаву, діаграму будують не повністю від 0 до 100 % вуглецю, а в межах практичного і теоретичного значення. Таким значенням виявилась кількість вуглецю від 0 до 6,67 %, тобто від чистого заліза до сплаву, зерна якого називають цементит. Тому діаграму називають залізо-цементит (рис. 4.1).

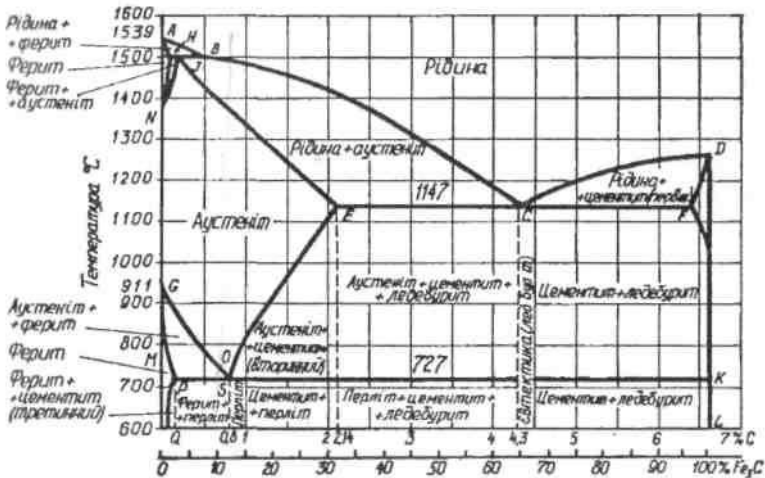


Рис. 4.1.

Лінія $ABCD$ є лінією ліквідує, а лінія $AHIECF$ – солідус. Всі критичні температури позначають буквою A з індексами s і z (s – нагрівання, z – охолодження) і цифрами. Тоді лінія PSK позначиться A_1 , лінія GS – A_3 , лінія SF – A_{C1} , лінія NI – A_4 . Лінію магнітних перетворень MO , яка відповідає температурі 768°C , позначають A_2 . Уведення індексів s і z обумовлене деяким неспівпадінням температур поліморфних перетворень при нагріванні та охолодженні в реальних умовах.

У залежності від кількості вуглецю змінюються фази. Так, при відсутності вуглецю буде чисте залізо. Оскільки залізо має поліморфні перетворення, то до температури 911 °С його позначають Fe_{α} , від 911 °С до 1392 °С Fe_{γ} , і від 1392 °С до 1539 °С Fe_{δ} , (оскільки Fe_{α} і Fe_{δ} мають однакову комірку, то інколи Fe_{δ} позначають Fe_{α}).

Отже, при нормальних умовах залізо є модифікації Fe_{α} . Залізо із незначним вмістом вуглецю (до 0,02 %) називають технічно чистим залізом.

При малій кількості вуглецю утворюється зерна *фериту* (Φ) – твердий розчин вуглецю в Fe_{α} . Розчинність вуглецю у фериті при кімнатній температурі до 0,005 %. Найбільша розчинність при 727°С – 0,02 %. Ферит має незначну твердість (80-100 НВ) і міцність (250 МПа), але високу пластичність ($\epsilon=50\%$).

При зростанні кількості вуглецю в сплаві поряд з феритом з'являються зерна *перліту* (Π) – механічна суміш (евтектоїд, подібний евтектиці, але утворюється із твердої фази), фериту і цементиту, з вмістом вуглецю 0,80 %. Перліт може бути пластинчастим і зернистим, що залежить від форми цементиту. При повільному охолодженні сплаву в розплаві першим утворюється зародки цементиту. Оскільки для його утворення потрібно 6,67 % вуглецю, то область розплаву навколо зародка цементиту збіднюється на вуглець і створюються умови для утворення фериту. Так відбувається чергування зерен Φ і Π . На протравленому зразку розчином азотної кислоти у спирті пластинчастий перліт виглядає як чергування світлих і темних ліній. При кімнатній температурі зернистий перліт має межу міцності 80 МПа, відносно видовження 15 % і твердість 160 НВ. Якщо вміст вуглецю в сплаві досягне 0,8 %, то буде чистий перліт. З підвищення кількості вуглецю в сплаві появляються зерна цементиту (Π) – кристалічна решітка цементиту складна (рис. 4.2).

Температура плавлення цементиту біля 1600 °С. Він дуже твердий (800 НВ), крихкий і практично не має пластичності. Цементит не стійкий і може розпадатись з виділенням вільного вуглецю (графіту).

Якщо кількість вуглецю перевищить 2,14 %, то крім перліту і цементиту з'являються зерна *ледебуриту* ($\mathcal{L}$) – механічна суміш (евтектика) перліту і цементиту, яка містить 4,3 % вуглецю. Ледебурит має твердість 600 – 700 НВ і велику крихкість. При збільшеній

вуглецю крім ледебуриту появляються зерна цементиту. Його кількість зростає аж до 6,67 %, при якій буде чистий цементит.

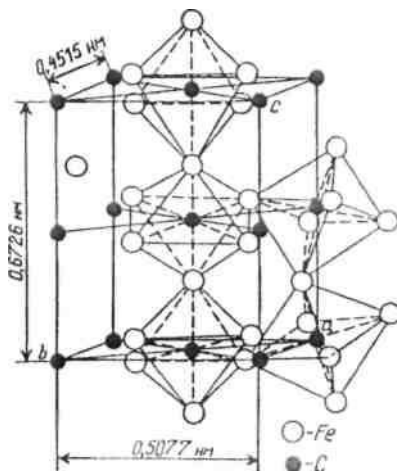


Рис. 4.2.

Суттєвих змін залізо-вуглецевий сплав зазнає при переході через точку, що відповідає 2,14 % вуглецю. До 2,14 % вуглецю графіт не виділяється, а після – значна частина вуглецю виділяється у вигляді графіту. Це спричиняє значні зміни у властивостях сплавів. В зв'язку з цим залізовуглецеві сплави розділяють на два види – сталь і чавун. Сталь це залізовуглецевий сплав із вмістом вуглецю від 0 до 2,14 %. Чавун – це залізовуглецевий сплав із вмістом вуглецю від 2,14 до 6,67 %.

Чавун з процентним вмістом вуглецю 4,3 % називають евтектричним. Якщо в чавуні вуглецю менше за 4,3 %, тоді його називають доевтектичним, а якщо більше – заевтектичним. Аналогічно називають і сталі. Сталь з вмістом вуглецю 0,8 % називають евтектоїдною. Якщо в сталі вуглецю менше, ніж 0,8 %, її називають доевтектоїдною, а більше – заевтектоїдною.

Оскільки залізо має поліморфні перетворення, то із зміною температури будуть змінюватись фази.

У сталях при повільному (рівноважному) нагріванні та охолодженні вони будуть характерними для доевтектоїдних, евтектоїдних і заевтектоїдних сталей. Якщо взяти доевтектоїдну сталь з процентним вмістом вуглецю, наприклад 0,5 %, і повільно нагрівати, то до лінії A_{C1} фазових змін не буде, тобто початкова

структура Φ + Ятак залишається до 727°C . По лінії A_{C1} відбудеться розпад перліту в аустеніт (A). Аустеніт – це твердий розчин вуглецю в Fe_γ . При подальшому нагріванні поступово розпадається Φ у A і після лінії A_{C3} буде тільки A . При подальшому нагріванні аустеніт залишається аж до розплавлення. Хоча на цьому шляху відбудуться два негативних явища. Так, спочатку більші зерна A будуть поглинати менші, що приведе до збільшення зерен A . Якщо з цього моменту почати охолоджувати сплав, то крупнозернистість аустеніту передається початковим фазам, що негативно вплине на механічні властивості такої сталі. Це явище називають *перегрівом сталі*. Його можна усунути шляхом спеціальної термічної обробки – *відпалу*.

Якщо ж сталь нагрівати далі, то великі зерна аустеніту почнуть окислюватись по межах зерен. Це явище називають *перепалом сталі*. Його можна усунути тільки шляхом *переплавлення сталі*.

Якщо скористатись умовними позначеннями, то зазначені вище перетворення можна записати так:



При повільному охолодженні аустеніт по лінії A_{ci} починає розпадатись у ферит. Це буде відбуватись до лінії A_{f1} . По лінії A_{f1} аустеніт, який залишився розпадається у перліт. Далі фазові перетворення відсутні. Тобто при повільному охолодженні спостерігається зворотній до попереднього процес перетворень. Його можна записати так:



У евтектоїдній сталі фазові перетворення не такі: при нагріванні $P \rightarrow A$; при охолодженні $A \rightarrow P$.

У заевтектоїдній сталі: при нагріванні – $P + C \rightarrow A + C \rightarrow A$, а при охолодженні – $A \rightarrow A + C \rightarrow P + C$.

Аналіз фазових перетворень у сталях при рівноважному нагріванні та охолодженні дає можливість зробити такі висновки:

1. До лінії A_1 (727 °C) фазові перетворення відсутні.
2. По лінії A_1 відбувається розпад, або утворення перліту, тому цю лінію можна назвати лінією перлітних перетворень.
3. Завершується нагрівання сталі завжди утворенням аустеніту.

У чавунах фазові перетворення при повільному їх нагріванні та охолодженні аналогічні. Поскільки в залізовуглецевих сплавах

відбувається кристалізація і перекристалізація, то фази, отримані з розплаву, називають первинними. Наприклад, якщо із розплаву утворився цементит, то його називають цементит первинний. Якщо ж він утворився із твердої фази (перекристалізація), то його називають вторинним, або навіть – третинним.

Окремо розгляду потребує ліва верхня частина діаграми (рис. 4.3).

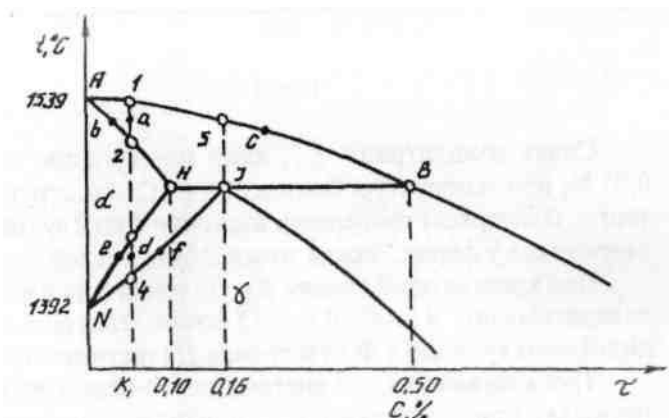


Рис. 4.3.

Цю частину називають областю *перитектичного* перетворення. Перитектичне перетворення характерне тим, що із первинного фериту і рідини утворюється аустеніт. Перитектичне перетворення відбувається по лінії *HNB*, тобто починаючи з 0,1 % С і закінчуючи 0,5 % С.

Кристалізація сплаву K_1 починається в точці 1 з утворенням первинного фериту. В точці 2 розплав перетворюється у ферит. Від точки 3 до 4 ферит перетворюється у аустеніт.

Сплав із вмістом вуглецю 0,16 кристалізується по перитектичній схемі. У точці 5 починає утворюватись ферит. У точці 1 при 1499 °С з фериту і рідини утворюється аустеніт.

Характерною є ліва нижня частина діаграми (рис. 4.4).

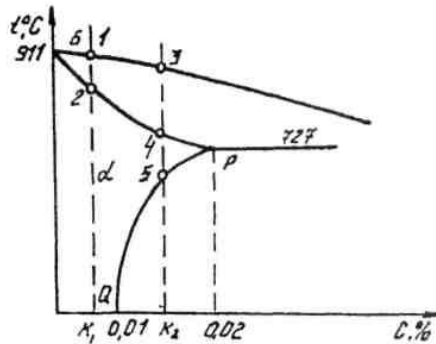


Рис. 4.4.

Сплав концентрації K_2 , який має вуглецю менш ніж 0,01 %, при температурі близько 1000 °С має структуру аустеніту. В інтервалі температур від точки 1 до 2 аустеніт перетворюється у ферит. Нижче точки 2 буде чистий ферит.

При кристалізації сплаву K_2 від точки 3 до 4 відбувається перетворення $A \rightarrow \Phi$. В точці 5 починається виділення надлишкового вуглецю з Φ і утворення Δ (третинного).

Треба зауважити, що система залізо-цементит нестійка, оскільки при певних умовах цементит розпадається на аустеніт і вільний вуглець у вигляді графіту. При дуже повільному охолодженні із розплаву, в процесі його кристалізації, вуглець виділяється у вигляді графіту. Систему залізо-цементит називають метастабільною, а залізо-графіт – стабільною.

Процес кристалізації графіту в сплавах заліза з вуглецем називають графітизацією. Вона може відбуватись і у твердому стані, оскільки цементит при високих температурах нестійкий.

Тому можна вести мову про діаграму залізо-графіт. Оскільки лінії діаграм залізо-цементит і залізо-графіт розташовуються в близьких інтервалах температур, то діаграму залізо-графіт зображають на діаграмі залізо-цементит пунктирними лініями. Вони проходять де що вище ліній діаграми залізо-цементит. Найбільшого відхилення зазнає лінія CD .

Питання для самоконтролю

1. Поясніть сутність поліморфних перетворень заліза. Як позначаються критичні точки заліза?

2. Намалюйте та поясніть діаграму стану сплавів залізо-цементит та залізо-вуглець.
3. Назвіть фазові та структурні складові залізовуглецевих сплавів та дайте їм загальну характеристику.
4. Поясніть по діаграмі стану залізо-цементит (по критичних точках) процес утворення структур сталей 45 та У12. Охарактеризуйте їх властивості у зв'язку з структурою.
5. Наведіть класифікацію та значення вуглецевих сталей, вкажіть місце їх застосування.
6. Які чавуни називають білими та сірими?
7. Опишіть властивості сірих пластинчастих, високоміцних та ковких чавунів у зв'язку з їх структурою.
8. Наведіть класифікацію сірих високоміцних та ковких чавунів, вкажіть спосіб їх отримання та місце застосування.

Завдання для самостійної роботи

З'ясуйте технологію виготовлення сірих пластинчастих, сірих ковких, сірих високоміцних та білих чавунів

ЛІТЕРАТУРА

1. Афтандіянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 36-49
2. Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156
3. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300
4. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. -Чернігів: 2001, С.21-27.
5. Гетта. В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів: с. 283.
6. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
7. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Львів: Світ, 2006, с.624.
8. Шиліна О.П Технологія конструкційних матеріалів – Вінниця: 2020, с.108.

Тема 5. Інструментальні сталі, їх класифікація та маркування.

Вимоги до інструментальних сталей для виготовлення ріжучих і вимірюваних інструментів

Класифікація і маркування інструментальних сталей

Вуглецеві інструментальні сталі та їх характеристика

Леговані інструментальні сталі та їх характеристика

Швидкоріжучі інструментальні сталі та їх характеристика

Сталі, які набувають в результаті термообробки високої твердості, міцності, зносостійкості та застосовуються для виготовлення різного інструменту, називаються інструментальними, їх можна розподілити на три групи: сталі для вимірювальних інструментів, сталі для ріжучих інструментів і штампові сталі.

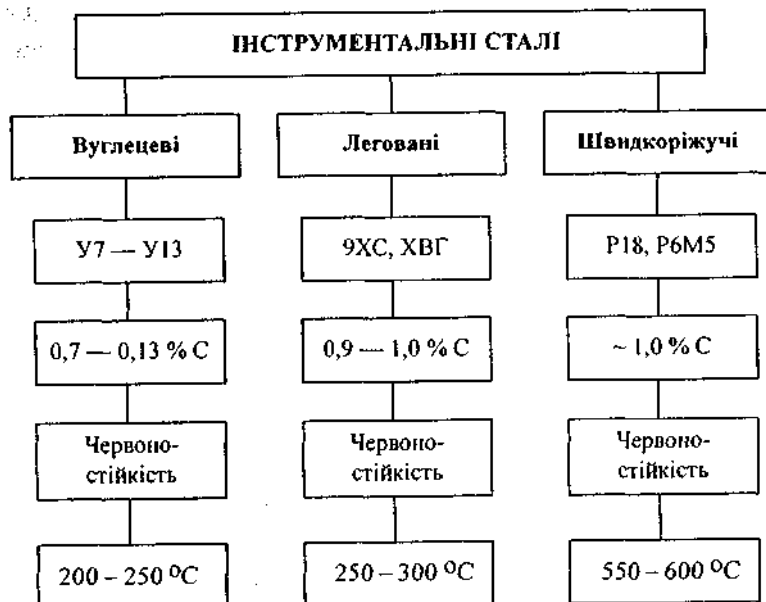
Основними вимогами до вимірювальних інструментів є необхідність збереження своєї форми та розмірів протягом тривалого часу. Тому їх треба виготовляти із сталей, які мають високу твердість, зносостійкість, корозостійкість, не змінюють з часом розміри, мають малий коефіцієнт лінійного розширення. До них можна віднести такі сталі: У8 – У12, Х, Х9, ХГ, Х12Ф1, цементуємі (сталь 15, сталь 20) і азотуємі (38ХМЮА).

Основною вимогою до сталей, з яких виготовляють ріжучий інструмент є збереження ріжучої кромки протягом тривалого часу роботи. Під час роботи ріжуча кромка інструменту тупиться, зношується. Особливо це характерно при обробці твердих металів із великими швидкостями, подачами та глибинами різання. Механічна енергія різання перетворюється в теплоту. Ріжуча кромка нагрівається до високої температури (більше 1000 °С). Для такого інструменту головна вимога – теплостійкість (червоностійкість).

Необхідні властивості сталі, яка призначена для ріжучого інструменту, забезпечуються не тільки кількістю в ній вуглецю, а й інших легуючих компонентів та домішок. Вуглець і легуючі компоненти сприяють пониженню або підвищенню гартуємості сталі. Якщо в сталі присутній вуглець у межах 0,7 – 1,2 %, то така сталь має понижену гартуємість. При гартуванні серцевина інструменту залишається незагартованою. При введенні в сталь

легуючих елементів (хрому, вольфраму, кремнію) у межах 1 – 3 % вона стає підвищеної гартуємості, тобто гартування відбувається по всьому перерізу інструменту.

Інструментальні сталі, з яких виготовляють ріжучий інструмент, розподіляють на три групи:



Вуглецеві інструментальні сталі випускають таких марок: У7, У8, У8Г, У9, У10, У11, У12, У12А і У13. Цифри показують на вміст у десятих долях відсотка вуглецю. Буква У показує, що ця сталь відноситься до вуглецевої. Буква Г після цифри означає, що сталь має підвищену кількість марганцю. Якщо сталь високої якості, то після цифри ставиться буква А. Підвищення якості цієї сталі здійснюється шляхом її вакуумації та обробки синтетичним шлаком.

Недоліком вуглецевих інструментальних сталей є їх низька червоностійкість. При нагріванні в процесі роботи до температури вище 200 °С інструмент втрачає ріжучі властивості. Тому вуглецеві інструментальні сталі в основному використовують для виготовлення ручного слюсарного інструменту (табл.1)

Таблиця 1. Деякі властивості вуглецевих інструментальних сталей, які використовуються для виготовлення ручного слюсарного інструменту

Сталь	Температура відпуску, °C	Твердість робочої частини, HRC	Інструменти
У10 – У12	180 – 200	60 – 62	мітчики
У10 – У12	160 – 180	62 – 64	розвертки
У7	280 – 300	56 – 85	зубила
У8 – У10	200 – 220	60 – 62	матриці для холодної штамповки
У10	220 – 240	59 – 61	плашки

Леговані інструментальні сталі теж мають значну кількість вуглецю – 0,8 – 1,5 %, але, крім того, в них вводять легуючі елементи для підвищення червоностійкості (вольфрам, молібден, кобальт, хром), гартуємості (марганець), в'язкості (нікель), зносостійкості (вольфрам).

У залежності від сумарної кількості легуючих елементів інструментальні сталі поділяються на низьколеговані та високолеговані.

Низьколеговані сталі містять до 2,5 % легуючих елементів. Тому вони мають відносно велику твердість (62 – 69 HRC), значну зносостійкість, але малу теплостійкість (250-300 °C). У більшості низьколегованих сталей основним легуючим елементом є хром, який підвищує їх гартуємість. Якщо в сталь додати кремній, то її червоностійкість стає 250 - 260 °C . Із такої сталі виготовляють свердла, розвертки, фрези, мітчики, плашки.

Поширеною є сталь ХВГ. Вона легована хромом, вольфрамом і марганцем. Така сталь використовується для виготовлення великих і довгих протяжок, довгих мітчиків та розверток.

Інструментальні сталі з підвищеним вмістом легуючих компонентів (5 – 18 %) відрізняються високою твердістю та зносостійкістю, яка забезпечується наявністю хрому та ванадію. Хромисті сталі (12 % хрому) при температурі 225 °С зберігають твердість HRC 60, хромованадієві – при 270 -300 °С мають HRC 58 – 60. Із таких сталей виготовляють фрези по деревині, ножі, накаточний інструмент, вирубні штампи тощо.

Високолеговані інструментальні сталі, основним легуючим елементом яких є вольфрам, називають швидкоріжучими. Велика швидкість різання (у 2 – 4 рази більша, ніж у попередніх) забезпечується її високою червоностійкістю (500 - 600 °С). До складу швидкоріжучих сталей входить 0,7 – 1 % вуглецю, 6 – 18 % вольфраму, біля 4 % хрому, до 1 % молібдену, до 0,5 % марганцю та кременю.

Маркується швидкоріжуча сталь буквою Р (рапід-швидкий). Цифра, яка стоїть за буквою показує вміст вольфраму у відсотках. При вмісті в сталі більше 1 % молібдену, ванадію та кобальту їх вказують у марці відповідними буквами і цифрами (у відсотках). Наприклад, поширеною є сталь Р6М5. Вона містить 6 % вольфраму і 5 % молібдену.

Виготовляють із швидкоріжучих сталей свердла, розточні різці, фрези, які працюють у важких умовах.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть основні вимоги до інструментальних сталей
2. Як забезпечити корозостійкість сталей з яких виготовляють вимірювальні інструменти?
3. Які компоненти в інструментальних сталях покращують їх зносостійкість?
4. Які компоненти в інструментальних сталях покращують їх червоностійкість?
5. В яких випадках краще використовувати інструментальні сталі, аніж тверді сплави?

Завдання для самостійної роботи

З'ясувати як впливають шкідливі домішки на червоностійкість інструментальних сталей

Л І Т Е Р А Т У Р А

1. Афтандіянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 93
2. Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156
3. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернівці:2009,с.300
4. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. -Чернівці: 2001, С.35-38.
5. Гетта. В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернівці: с. 283.
6. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
7. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.
8. Шиліна О. П Технологія конструкційних матеріалів – Вінниця: 2020, с.108.

Тема 6. Чавуни, їх класифікація, маркування та застосування.

Загальна характеристика чавунів

Хімічний склад чавунів

Класифікація чавунів

Маркування чавунів

Використання чавунів в машинобудуванні

Чавун – це залізовуглецевий сплав, який має вуглецю від 2,14 до 6,67%.

Від сталі чавун відрізняється як за хімічним складом, так і за будовою.

Таблиця 1. Вміст деяких хімічних елементів у чавуні та сталі, %

Елементи	Вміст	
	Чавун	Сталь
Вуглець	2,14 – 6,67	0 – 2,14
Кремній	0,5 – 4,5	0,5 – 0,6
Марганець	0,4 – 1,3	0,7 – 0,8
Сірка	до 0,05	до 0,03
Фосфор	0,08 – 0,12	до 0,05

Суттєвою відмінністю чавуну від сталі є те, що в чавунах переважна більшість вуглецю знаходиться у вигляді графіту (за винятком білого чавуну). У чавунах не виділяється в графіт до 0,8 % вуглецю. Таким чином, чавун має стальну основу (доевтектоїдної або евтектоїдної сталі) й графіт.

Наявність графіту в чавуні визначає його властивості. У залежності від стану вуглецю чавуни розділяють на білі та сірі. У білих чавунах увесь вуглець знаходиться у зв'язаному стані у вигляді карбиду. Вони дуже тверді та крихкі, погано обробляються різанням.

Використовуються білі чавуни для виготовлення окремих деталей та ковкого чавуну.

Білими вони називаються тому, що на зламі мають білий колір і характерний металічний блиск. Зовні він схожий на сталь.

У сірих чавунах переважна більшість вуглецю знаходиться у вигляді графіту. У зв'язаному стані в сірих чавунах вуглецю знаходиться не більше 0,8 %. Це обумовлене тим, що при кристалізації розплавленого чавуну створюються сприятливі умови для утворення графіту. Розплав чавуну має дуже малі частинки різних включень, у тому числі графіту. На цих частинках починається кристалізація графіту. Робота утворення зародків графіту може і не більше роботи утворення цементиту, але остання обставина спонукає вуглець об'єднуватись у графіт навіть після лінії солідус.

Уведення в чавун різних домішок може привести до виникнення додаткових центрів кристалізації графіту. Наявність графіту в чавуні зумовлює його колір. Сірий чавун на зламі має темно-сірий колір.

Залежно від умов кристалізації графіт може об'єднуватись в області різної форми. Якщо розплавлений чавун охолоджувати повільно, то графіт розташовується пластинами, пелюстками (рис. 6.1, а).

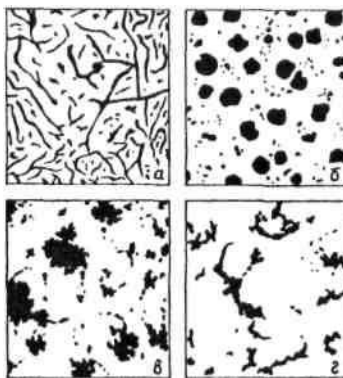


Рис. 6.1.

Такий чавун називається пластинчастим. Пластини графіту порушують суцільність чавуну, утворюють своєрідні тріщини. Чим більше графіту і чим він у більших пластах залягає, тим нижчі механічні характеристики чавуну. Знижується майже до нуля пластичність та міцність на розрив. Якщо подробити графіт у чавуні, він

стає більш міцним. Твердість і міцність на стискування такого чавуну визначається сталлю основою. За структурою металічної основи чавуни розділяються на феритні, феритно-перлітні та перлітні. Тип сталюї основи визначає міцність сірого чавуну. Найбільш міцними є перлітні чавуни. Із них виготовляють станини потужних верстатів, гільзи двигунів внутрішнього згорання, поршні, кільця, блоки двигунів тощо. Феритні та феритно-перлітні чавуни використовують для виготовлення невідповідальних деталей – фундаментних плит, корпусів редукторів та насосів, ступиць тощо.

Для поліпшення механічних властивостей чавуну графіт треба закруглити, найкраще об'єднати у формі кульок. Такий чавун називають високоміцним (рис.6.1, б). Щоб об'єднати графіт у кульки в чавун додають марганець. Одночасно з ним, або дещо пізніше, в рідкий чавун вводять феросіліцій. Кулькоподібний графіт менше послаблює металічну основу, ніж пластинчатий. Як і сірі пластинчаті, високоміцні чавуни можуть мати феритну, феритно-перлітну і перлітну основи.

Механічні властивості високоміцного чавуну дозволяють застосовувати його для виготовлення деталей машин, які працюють у важких умовах, замість сталі. Із них виготовляють деталі прокатних станів, ковальсько-пресового обладнання, парових турбін, тракторів, автомобілів. Так, наприклад, колінчатий вал легкового автомобіля «Волга» виготовляється з високоміцного чавуну з певними легуючими компонентами (3,4 – 3,6 % С; 1,8 – 2,2 % Si; 0,96 – 1,2 % Mn; 0,16 – 0,30 % Cr; S < 0,01 %; P < 0,06 %; 0,01 – 0,03 % Mg).

Низький вміст сірки й фосфору та невеликий вміст інших хімічних елементів забезпечується тим, що такий чавун виплавляють не у вагранках, а в електричних печах. Після термічної обробки механічні властивості чавуну отримуються дуже високими.

Проміжним станом графіту між пластами та кульками може бути графіт у вигляді пластівців. Такий чавун називають ковкий (рис. 6.1, в). Цю назву він має не тому, що його можна кувати, а тому, що він пластичніший, ніж пластинчатий. Ковкий чавун отримують з білого чавуну з перлітно-цементитною структурою.

У залежності від структури металічної основи розділяють ковкий феритний чавун і ковкий перлітний чавун. Феритні ковкі

чавуни отримують з білих чавунів, які виплавлені дуплікс-процесом і вміщують 2,4 – 2,8 % вуглецю; 0,8 – 1,4 % кремнію; 0,4 – 0,3 % марганцю. Для захисту від окислення при відпалі відливки із білого чавуну укладають в спеціальні металічні ящики та засипають піском, стальними стружками або шамотом. Відпал білого чавуну полягає в повільному нагріві (20 – 25 годин) до *температури* 950 – 1000°C і тривалій витримці (10 – 15 годин) при цій температурі. У процесі витримки відбувається перша стадія графітизації, яка полягає в розпаді евтектичного і надлишкового вторинного цементиту, який у невеликій кількості є при цій температурі. У кінці витримки закінчується перша стадія графітизації й чавун складається з аустеніту та включень вуглецю відпалу. Потім температура знижується до 720 - 740 °C і знову чавун витримується протягом 25 – 30 годин. У цей час відбувається друга стадія графітизації, яка полягає в тому, що розпадається цементит з перліту.

Перлітні ковкі чавуни отримуються з білих чавунів, які виплавлені у вагранках. Для зменшення вмісту вуглецю відпал проводять в окислюючому середовищі. Для цього відливки засипають окалиною або подрібненою залізною рудою, нагрівають до температури близько 1000 °C, тривалий час витримують (перша стадія графітизації) і повільно охолоджують до кімнатної температури.

Перлітні ковкі чавуни мають менше застосування, ніж феритні. З ковкого чавуну виготовляють деталі високої міцності, здатні витримати ударні навантаження і які працюють в умовах підвищеного зносу – картер заднього мосту, гальмівні колодки, ступиці, шестерні тощо.

У випадках, коли крім міцності чавун повинен мати ті чи інші специфічні властивості (зносостійкість, жаростійкість, хімічну стійкість тощо), виготовляють спеціальні чавуни. Наприклад, магнітний чавун, який використовують для виготовлення корпусів електричних машин, рам, щитів тощо. До такого чавуну відносять феритний з кулькоподібним графітом. Немагнітний чавун, який використовують для виготовлення кожухів і бандажів різних електричних машин. Це нікеле-марганцевий чавун. Аустенітний чавун – кислотостійкий, лугостійкий та жаростійкий. Це нірезіл (2 % хрому, 14 % нікелю, 7 % міді) та нікросіал (5 % кремнію, 18 %

нікелю, 2 % хрому). Жаростійкий чавун включає 20 – 25 % алюмінію.

Значні перспективи у використанні високоміцного чавуну виникають у зв'язку з останніми дослідженнями українських учених. Відкриття «карбідного ефекту» дозволяє крім магнію в якості модифікатора використовувати ітрії, гадоліній, церій, лантан, скандій, тербій, ітербій, стронцій та деякі інші сфероїдизатори графіту. Для практики особливий інтерес має кальцій. В природі його майже стільки ж, як і заліза. Кальцій, як і магній, також дає «карбідний ефект», зі своїми особливостями, які необхідно враховувати. Як тільки було визначено умови, за яких кальцій стає сфероїдизатором графіту, стало очевидним, що необхідно для модифікування чавуну застосовувати лише кальціємісні комплексні модифікатори.

Суть «карбідного ефекту» зводиться до того, що в усіх випадках утворенню кулястого графіту передують утворення карбідів магнію, церію, ітрію у нікель-вуглецевих та кобальт-вуглецевих сплавах карбідів нікелю, кобальту та їх подальший розпад із зародженням та ростом графіту.

За допомогою таких модифікаторів розроблені технології отримання зносостійких гальмівних колодок для залізничного транспорту, гальмівних барабанів для автомобільного транспорту, тонкостінних відливок з високоміцного чавуну з кулястим графітом, надійних і довговічних робочих органів нафтодобувних та інших насосів, а також багато інших виробів.

Високоміцний чавун за багатьма показниками не лише не поступається перед вуглецевими та леггованими марками сталі, але й у багатьох випадках значно перевищує їх. Наприклад, труби вантажної системи танкера, що виготовлені з цього матеріалу, знаходяться в експлуатації без заміни 20 – 25 років, а вантажна система із сталевих труб виходить з ладу в умовах морського агресивного середовища за 2 – 3 роки експлуатації.

Питання для самоконтролю

1. З чим пов'язаний розподіл залізовуглецевих сплавів на сталі і чавуни?
2. Як отримати сірі і білі чавуни?
3. Які чавуни називають пластинчатими?
4. Як отримати ковкі чавуни?
5. Як отримати високоміцні чавуни?
6. Чому білі чавуни малопоширені?

Завдання для самостійної роботи

З'ясуйте чим обумовлені високоливарні властивості чавунів

ЛІТЕРАТУРА

1. Афтандіянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 93-104
2. Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156
3. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025,С 4-8
4. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300
5. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. -Чернігів: 2001, С.40-44.
6. Гетта. В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.– Чернігів: с. 283.
7. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
8. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.
9. Шиліна О.П Технологія конструкційних матеріалів – Вінниця: 2020, с.108.

Тема 7. Термічна обробка залізо-вуглецевих сплавів

Загальні питання термічної обробки металів

Класифікація видів термічної обробки

Фазове перетворення в сталях при повільному нагріванні та швидкому охолодженні

Технологія термічної обробки сталі

Властивості металів можна змінити шляхом зміни їх хімічного складу та будови. Навіть незначна зміна, наприклад, вуглець в сталі приводить до відчутних змін її властивостей. Від будови також дуже залежать властивості металу. Зміну хімічного складу металу практично можна здійснити тільки коли метал розплавлений. У твердому стані це зробити важко. Будову ж металу можна змінити в твердому стані, тобто в звичайних умовах. Це можна зробити двома шляхами – термічною обробкою та пластичною деформацією. **Термічна обробка** – це технологічні процеси, які включають нагрівання, витримку та охолодження металічних виробів у певній послідовності з метою зміни властивостей. Будь-який процес термічної обробки може бути виражений графіком в координатах температура-час.



Рис. 7.1

Головними параметрами процесу термічної обробки є температура нагріву металу, час витримки та швидкість охолодження.

В основі теорії термічної обробки при нагріванні та охолодженні металів і сплавів лежать фазові перетворення. Фазові перетворення в сталях при повільному нагріванні та охолодженні були розглянуті вище.

Класифікація видів термічної обробки була запропонована академіком А.А.Бочваром. Відповідно до цієї класифікації всі види термічної обробки розділяють на:

- 1) власнотермічну обробку;
- 2) хіміко-термічну обробку;
- 3) термомеханічну обробку.

У кожному виді термічної обробки виділяють різновидності:



При власнотермічній обробці властивості металів та сплавів змінюються тільки тепловою обробкою.

При хіміко-термічній обробці крім обробки теплом зміну властивостей металів і сплавів здійснюють зміною хімічного складу їх поверхні. В поверхню металу на певну глибину впроваджують атоми хімічних елементів (вуглецю, азоту, інших елементів).

При термомеханічній обробці теж крім обробки теплом додатково проводять обробку поверхні металу чи сплаву, але в даному випадку поверхню наклепують.

При нормальних умовах у сталі розчиняється незначна кількість вуглецю. Так, у фериті його розчиняється біля 0,005%, а у перліті – 0,8%. З підвищенням температури розчинність вуглецю в сталі зростає і при цьому в утвореному аустеніті вона може досягнути 2,14%. Це пояснюється тим, що в аустеніті значно зростає відстань між атомами в решітці ГЦК і досягає такої, коли невеликі атоми вуглецю вільно заходять в комірку заліза.

При повільному охолодженні, коли перебудовується комірка ГЦК в ОЦК, вони дифузійно покидають зайняте місце і розчинність вуглецю знову зменшується. Якщо ж сталь охолоджувати швидко, то дифузійний процес не встигає відбутись, зайняте місце атом покинути не встигає. Тоді в комірці ОЦК виявиться надлишок атомів вуглецю, що приведе до її деформації. Замість кубічної, комірка стане витягнуто-тетрагональною. Таку комірку прийнято називати **мартенситною**. Схематичне зображення цього процесу показано на рис. 7.2.

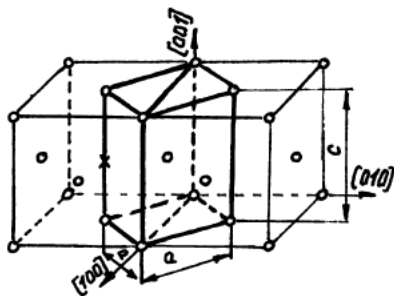


Рис. 7.2

Таким чином, при швидкому охолодженні з аустеніту утворюється **мартенсит** – пересичений твердий розчин вуглецю в α -залізі.

Перетворення аустеніту у мартенсит відбувається в певному інтервалі температур. Починається перетворення при температурі M_n , а закінчується при більш низькій температурі M_k . Мартенситні точки залежать від складу сталі, а особливо від вмісту вуглецю (рис. 7.3).

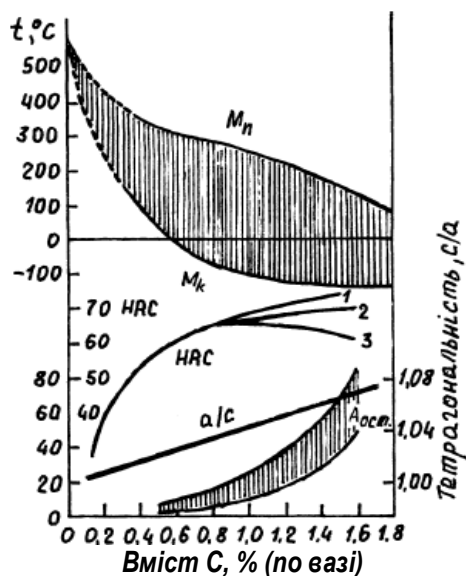


Рис. 7.3

При незначній кількості вуглецю в сталі мартенситні перетворення майже відсутні, бо мале збільшення його розчинності не змінює комірку до тетрагонального вигляду. При збільшенні вмісту вуглецю температурний інтервал (відстань між точками M_s і M_f) зростає, а точка M наближається до осі концентрацій. При вмісті вуглецю близько 0,6% лінія точок M_f перетинає вісь концентрацій, тобто кінець мартенситних перетворень відповідає 0°C . Подальше збільшення вмісту вуглецю приводить до того, що завершення мартенситних перетворень відбувається при від'ємних температурах.

Проте перетворення аустеніту у мартенсит не йде до кінця. В сталях завжди спостерігається залишковий аустеніт. Його кількість збільшується при зниженні точок M_s . Залишковий аустеніт є шкідливою домішкою у сталях, особливо в інструментальних.

Для розуміння явищ, які відбуваються в металі при термічній обробці, та визначення режиму її здійснення, проводять експериментальне дослідження розпаду аустеніту при певних постійних температурах. Для спостереження за розпадом аустеніту можна скористатися тим, що він не проявляє феромагнитних властивостей, тобто є парамагнетиком.

Такий експеримент можна провести з будь-якою сталлю, але для спрощення розглянемо ізотермічний розпад аустеніту евтектоїдної сталі (0,8 %). Зразок нагрівають вище температури лінії точок A_1 . При цьому весь перліт перетвориться в аустеніт. Потім зразок переносять у термостати, які мають температури 700, 600, 500, 400, 300°C. У кожному термостаті спостерігають за розпадом аустеніту і будують залежність між кількістю розпавшогося аустеніту і часом. Час на горизонтальній осі заносять у логарифмічній залежності. Це дає можливість прослідкувати за перетвореннями, які відбуваються від долей секунд до доби і більше.

При розміщенні зразка в термостат з температурою $t_1 = 700^\circ\text{C}$ певний час ніяких фазових перетворень не спостерігається. Цей час на графіку (рис. 7.4) позначений точкою a_1 . Його називають часом інкубаційного періоду, тобто часом, протягом якого утворюються зародки нового зерна. Потім спочатку повільно, а далі дуже швидко починає розпадатись аустеніт. У кінці розпад знову сповільнюється і завершується в точці b_1 . При перенесенні нагрітого зразка в кожний послідовний термостат характер розпаду аустеніту аналогічний, але відмінність спостерігалась в часі інкубаційного періоду. Спочатку він зменшувався (до 500°C), а потім почав зростати.

Для зручності користування дані отриманого графіка (рис. 7.4, а) можна перенести в нову систему координат. По вертикалі відкласти температуру, а по горизонталі – логарифм часу (рис. 7.4, б).

На новій діаграмі отримуються дві С-подібні лінії. Ліва з них – відповідає початку, а права – кінцю розпаду аустеніту. Проміжок між ними показує час розпаду аустеніту.

На діаграмі ізотермічного розпаду аустеніту, в залежності від степеня переохолодження, розрізняють три температурні області перетворення: *перлітну*, *бейнітну* та *мартенситну*.

Перлітне перетворення відбувається по горизонтальній лінії при температурі в межах 700-500°C. По цій лінії аустеніт розпадається в перліт.

При температурі 650°C інкубаційний період і час розпаду аустеніту зменшуються, в результаті утворюється структура *сорбіт* – різновидність перліту (механічна суміш фериту і цементиту з більшою дисперсністю карбідної складової).

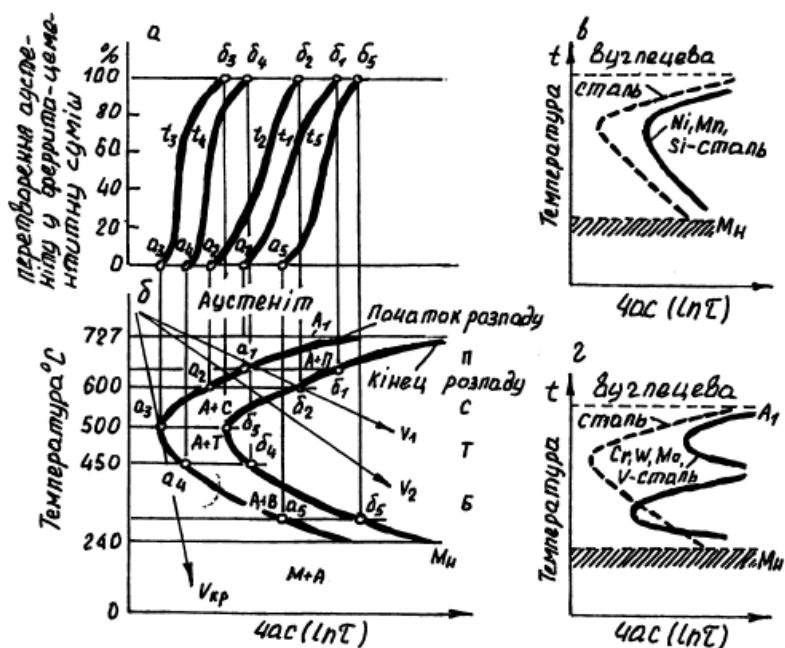


Рис. 7.4

При температурі 500°C аустеніт перетворюється в **троостит**, який являє собою дуже тонку суміш фериту і цементиту. Сталь, яка має структуру трооститу має підвищену твердість, достатню міцність, хорошу в'язкість і пластичність.

При температурах у межах 400°C відбувається розпад аустеніту у бейніт. Особливістю бейнітного перетворення є те, що воно протікає в інтервалі температур, де практично відсутня самодифузія заліза і легуючих елементів, але інтенсивно може відбуватись дифузія вуглецю. Спочатку аустеніт збіднюється із-за виділення карбідів вуглецю, що спричиняє (при досягненні певного збіднення) утворення мартенситу. Чим вища температура ізотермічної витримки, тим більше збіднюється аустеніт, тим менше утворюється мартенситу. Тому зовнішній вигляд структури бейніту суттєво залежить від температури його утворення. Бейніт розділяють на верхній і нижній, залежно від того при якій температурі він утворюється – зверху інтервалу чи знизу. Нижній

бейніт за своєю природою та властивостями мало відрізняється від ізотермічного мартенситу.

Головна відмінність бейніту від перлітних структур (перліту, сорбіту, трооститу) – вміст вуглецю у фериті. При високих температурах вуглецю у фериті 0,01 – 0,02%, а при низьких – 0,1 – 0,2%. При температурах у межах 200°C відбувається розпад аустеніту у мартенсит. Мартенсит має характерну голчасту структуру.

Таким чином, основним фактором, який визначає структуру та властивості аустеніту, є температура перетворення. Якщо на діаграмі розпаду аустеніту нанести промені (лінії охолодження), то можемо вище сказані перетворення пов'язати з відповідними лініями.

Верхня лінія v_1 показує швидкість охолодження, при якій утворюється перліт, v_2 – сорбіт, v_3 – троостит і v_4 – бейніт. Лінії, які не перетинають C -діаграму, показують швидкість охолодження аустеніту при якій утворюється мартенсит. Лінія, яка дотикається C -діаграми, називається **критичною**. Швидкість охолодження, яка відповідає цій лінії, називається критичною – $v_{кр}$. Ця швидкість відповідає охолодженню в охолоджену середовищі (воді, розчині солей у воді, мінеральних маслах тощо).

Як зазначалось, мартенсит утворюється, якщо аустеніт охолоджувати з швидкістю більше $v_{кр}$. Але чим більша швидкість охолодження, тим будуть більші внутрішні напруги, які потім важко усунути. Тому для утворення мартенситу аустеніт потрібно охолоджувати з швидкістю, близькою до $v_{кр}$. В нижній частині в окремих випадках швидкість охолодження варто зменшити, що сприятиме зменшенню внутрішніх напруг. Це можна здійснити шляхом охолодження аустеніту в двох середовищах з різною теплопровідністю (через воду в мастило).

Для доевтектоїдної сталі C -діаграма зберігає загальний вигляд (рис. 7.5), хоча є і відмінності, особливо у верхній частині. При переохолодженні до 650°C перетворення починається виділенням фериту. Після цього починається розпад аустеніту на перліт.



Рис. 7.5

Внесення в сталь легуючих елементів теж певною мірою змінює C-діаграму. Причому ці зміни залежать від того карбідоутворюючі чи не карбідоутворюючі елементи. Не карбідоутворюючі легуючі елементи зсовують C-діаграму вправо (рис. 7.6, а), а карбідоутворюючі – розривають її ніби на дві частини (рис. 7.6, б).

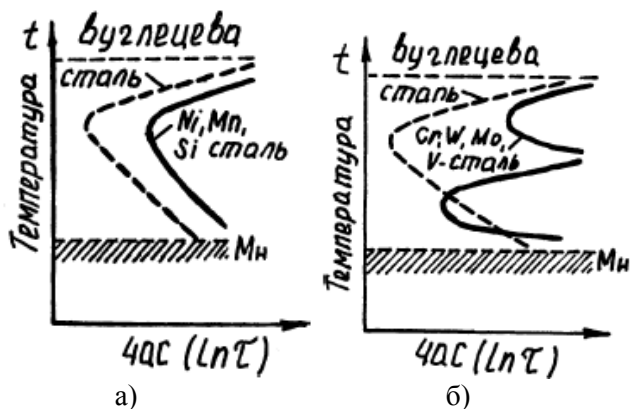


Рис. 7.6

Верхня частина відповідає перлітному, а нижня бейнітному перетворенню. Особливістю бейнітного перетворення є те, що воно не йде до кінця. Частина аустеніту, який залишається, перетворюється у мартенсит. Тоді кінцева структура буде $B+M$.

Зазначені вище особливості C -діаграми суттєво впливають на режим термічної обробки легованих сталей.

Внесення в сталь легуючих елементів зменшує критичну швидкість охолодження. В окремих випадках вона може навіть відповідати охолодженню на повітрі. В той же час збільшується кількість залишкового аустеніту. Легуючі елементи збільшують гартуємість сталі. Особливо сприяє цьому молібден.

Більшість легуючих компонентів підвищують температуру критичних точок A_1 і A_3 . Наприклад, лінія перлітного перетворення A_1 буде проходити не через 727°C , а вище. Дифузійні процеси в легованих сталях проходять значно повільніше, поскільки легуючі елементи утворюють тверді розчини заміщення, а вуглець – втілення. Тому, наприклад, при гартуванні сталь треба нагрівати на $50 - 60^\circ\text{C}$ вище лінії A_3 . В результаті гартування легованих сталей отримують структуру легованого мартенситу, що суттєво впливає на процеси, які протікають при відпуску.

Як зазначалося вище, термічна обробка сталі проводиться за такою схемою: нагрівання – витримка – охолодження. Тому для проведення будь-якого виду термічної обробки треба знати, до якої температури нагрівати сталь, скільки часу витримувати та з якою швидкістю охолоджувати (тобто в якому середовищі охолоджувати).

Виходячи з цього, розглянемо технологію проведення кожного з видів власнотермічної обробки за такою схемою: спочатку з'ясуємо призначення та види даної термічної обробки, потім установимо температуру нагріву сталі (зону нагрівання сталі покажемо на скелетній схемі діаграми залізоцементит), час витримки при цій температурі та швидкість охолодження.

Відпал I роду призначений для зняття внутрішніх напруг, відновлення структури та усунення лікваций (вирівнювання хімічного складу). Відповідно до призначення виділяють три види відпалу першого роду: відпал для зняття внутрішніх напруг, рекристалізаційний та дифузійний (гомогенізаційний).

При проведенні відпалу для зняття внутрішніх напруг сталь нагрівають до температури 400-600°C (рис. 7.7).

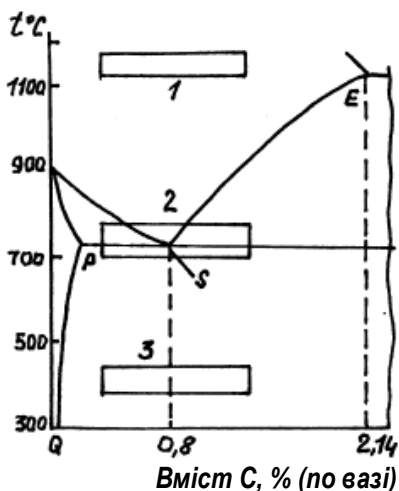


Рис. 7.7

При рекристалізаційному відпалі нагрівають до 700 – 750°C, а при дифузійному до 1000 – 1100°C. При всіх видах відпалу першого роду сталь витримують тривалий час. Його визначають за довідниковою літературою відповідно до площі поперечного перерізу виробу. Так, для тонких листів сталі та дроту витримка триває 25 – 30 хв., а дифузійний відпал легованих сталей триває 8 – 10 годин. Відпал для зняття внутрішніх напруг проводиться з

витримкою 2,5 хв. на 1 мм площі поперечного перерізу виробу. Охолоджують сталь після витримки в усіх випадках тривалий час (разом з піччю).

Відпал II роду призначений для попередньої теплової обробки перед механічною обробкою. На відміну від відпалу першого роду при відпалі другого роду фазові перетворення відіграють суттєву роль. Виділяють повний, неповний відпал та нормалізацію. Повний відпал проводиться для доевтектоїдних сталей, неповний – для заевтектоїдних, а нормалізація – для всіх сталей.

При повному відпалі сталі нагріваються до температури вище лінії A_3 на $30 - 50^\circ\text{C}$. Зона нагрівання показана на рисунку 7.8.

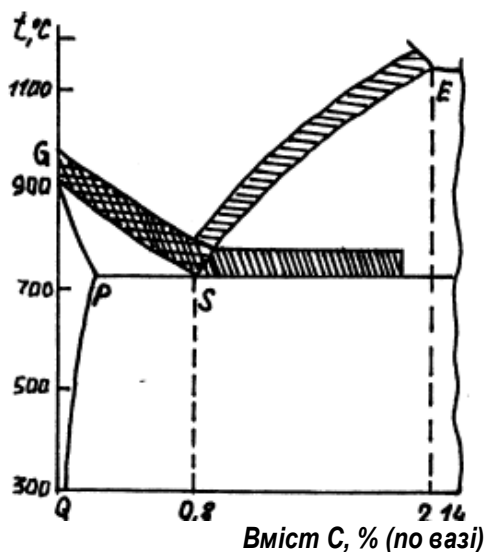


Рис. 7.8

При неповному відпалі сталі нагріваються до температури вище лінії A_1 на $30 - 50^\circ\text{C}$.

Нормалізація доевтектоїдних сталей проводиться при температурі вище лінії A_3 на $30 - 50^\circ\text{C}$, а заевтектоїдних – вище лінії $A_{ст}$ на $30 - 50^\circ\text{C}$.

Витримка при всіх видах відпалу другого роду пропорційна площі поперечного перерізу заготовки. Час витримки визначається з довідника.

Охолодження при повному і неповному відпалах другого роду повільне (разом з піччю), а при нормалізації охолодження заготовки відбувається на спокійному повітрі.

Повний відпал застосовують в основному після гарячої обробки поковок тиском та відливок з метою подрібнення зерен і зняття внутрішніх напруг.

Неповний відпал призначений для зняття внутрішніх напруг, зменшення твердості, підвищення пластичності, покращання оброблюваності різанням.

При нормалізації зменшуються внутрішні напруги, відбувається перекристалізація сталі, завдяки якій подрібнюється крупнозерниста структура зварних швів, виливків та поковок. Оскільки при нормалізації охолодження відбувається на повітрі, то вона, є дешевшою за повний та неповний відпал.

Гартування призначене для підвищення твердості та зносостійкості сталі. Виділяють два види гартування – повне та неповне. Повне проводиться для доевтектоїдних сталей, а неповне – для заевтектоїдних.

Неповне гартування для заевтектоїдних сталей проводять тому, що при повному гартуванні нагрівання вище лінії $A_{ст}$ викликало б швидкий ріст зерна і утворення після гартування крихкого крупнозернистого мартенситу. Крім того, при цьому збільшується кількість залишкового аустеніту та величина внутрішніх напруг. Підвищений нагрів також спричиняє розпад твердої складової заевтектоїдної сталі цементиту, який твердіший за мартенсит. Це спричиняє зниження загальної твердості.

Температура нагрівання при повному гартуванні вище лінії A_3 , на $30 - 50^{\circ}\text{C}$, а при неповному вище лінії A_1 на $30 - 50^{\circ}\text{C}$ (рис. 7.9).

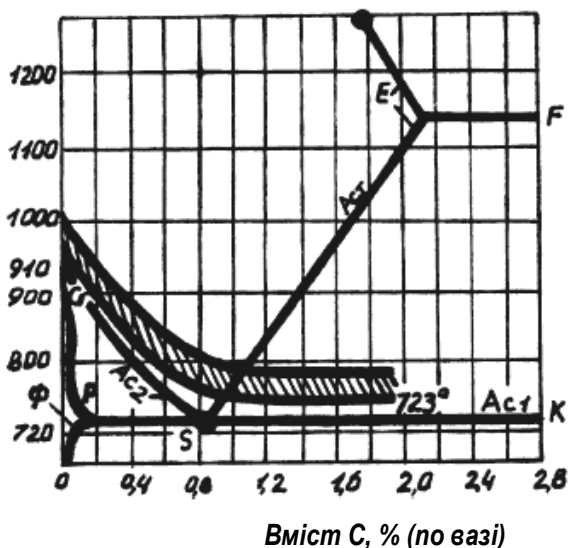


Рис. 7.9

Час витримки пропорційний перерізу деталі, вибирається по довіднику. При гартуванні сталі дуже важливо правильно вибрати охолоджуюче середовище. Основна вимога до нього – висока швидкість охолодження в області температур 650 – 550°C і більш низька – нижче 300°C. Це обумовлене тим, що при температурах 550 – 650°C дифузійна рух ливість атомів вуглецю і заліза ще не достатньо велика, а стабільність переохолодженого аустеніту мінімальна. Тому бажано уповільнити дифузійні процеси, швидко «проскочивши» ці температури. В області високої стабільності аустеніту (нижче 300°C) мартенситне перетворення іде із значним збільшенням об'єму сталі, тому бажано охолоджувати повільніше. При цьому внутрішні напруги не приведуть до короблення та появи тріщин у деталях.

Як охолоджуюче середовище використовують воду, мінеральне мастило, водний розчин 10%-ного розчину NaCl, розчинені солі, луги тощо. Ведуться пошуки заміни мінеральних масел більш дешевими і безпечними синтетичними охолоджувачами.

Якщо прийняти охолоджувальну здатність води при 20°C за одиницю, то охолоджувальна здатність мастила буде рівна 0,17 –

0,44, розплавленого свинцю (при 335°C) – 0,05, повітря – 0,03. При нагріванні води з 20 до 99°C охолоджувальна здатність її змінюється від 1 до 0,07. У зоні перлітних перетворень (650°C) вода охолоджує в 5 – 6 разів швидше ніж мастило.

Охолоджуючі середовища діють так: на першому етапі в момент, коли опускають виріб в охолоджуюче середовище, навколо нього утворюється плівка перегрітої пари (парова сорочка). Це уповільнює охолодження виробу. Цей етап називають плівкове кипіння. Далі парова сорочка розривається і охолоджуюча рідина починає кипіти на поверхні виробу. Цей етап називають бульбашкове кипіння. Швидкість охолодження зростає. Коли температура поверхні виробу стає меншою температури кипіння рідини, охолодження виробу сповільнюється. Цей етап називається етапом конвективного теплообміну. Таким чином, чим довше проходить бульбашкове кипіння, тим інтенсивніше охолоджується виріб. Це при гартуванні треба враховувати. Виріб у охолоджуючій рідині треба переміщати для того, щоб руйнувалась парова сорочка.

На практиці застосовуються різні способи охолодження і гартування в одному середовищі, в двох середовищах, ступінчасте, ізотермічне, з підстужуванням, з самовідпуском, з обробкою холодом тощо. Найбільш поширеним є **гартування в одному середовищі**. При цьому деталь опускають у охолоджуюче середовище і повністю охолоджують. Недоліком цього способу є те, що виріб охолоджується нерівномірно по перерізу і тому виникають великі внутрішні напруги.

При **гартуванні в двох середовищах** нагрітий виріб спочатку занурюють в середовище, яке здатне охолоджувати швидко (воду), а потім переносять його в інше середовище, яке охолоджує повільніше (мастило). Таке гартування, наприклад, застосовують для обробки інструментів, які виготовлені з високовуглецевих сталей. Однак при цьому способі дуже важко встановити точний час зміни середовища.

Ступінчасте гартування полягає в тому, що нагрітий виріб спочатку охолоджують в гарячому мастилі до температури дещо вищої початку мартенситного перетворення, а потім після кожної ізотермічної витримки (щоб вирівнялась температура по перерізу виробу) охолоджують на повітрі. При такому гартуванні зменшуються внутрішні напруги.

Ізотермічне гартування виконується так же, як і ступінчасте але витримка в охолоджуючому середовищі більш тривала. При цьому відбувається ізотермічний розпад-аустеніту в бейніт. Так гартують інструменти з сталей 9ХС, ХВГ та ін.

Гартування з підстужуванням застосовують для зменшення різниці температур металу і охолоджуючого середовища, якщо виріб нагрітий до температури, яка значно перевищує необхідну для гартування. Наприклад, підстужування потрібне після цементації.

Гартування з самовідпуском полягає в тому, що робочу частину нагрітого виробу занурюють в охолоджене середовище і витримують не до повного охолодження. За рахунок тепла неробочої частини виробу, яка не занурювалась, нагрівається робоча. Температуру відпуску при цьому способом гартування визначають за кольором металу. Таке охолодження застосовують при гартуванні зубил, кернерів, бородків та інших ударних інструментів, у яких твердість повинна зменшуватись від робочої частини до ударної.

Гартування з обробкою холодом полягає в тому, що охолодження сталі продовжується нижче кімнатної температури до кінця мартенситного перетворення. Це робиться з метою зменшення кількості залишкового аустеніту. Якщо цього не робити при гартуванні вуглецевих і легованих сталей, то в них буде біля 12% залишкового аустеніту, а в швидкоріжучих – більше 35%. Найбільш поширеним охолоджуючим середовищем з температурою – 78°C є суміш ацетону та твердої вуглекислоти.

Для отримання в'язкої серцевини та високої твердості поверхні деталі застосовують **поверхнєве гартування**. Його суть нічим не відрізняється від загальноприйнятого гартування. Різниця полягає в тому, що нагрівається тільки поверхня деталі.

В даний час існує декілька способів швидкого нагрівання поверхні деталі, залишаючи не нагрітою її серцевину. Це досягається струмом високої частоти, лазерами, полум'ям тощо. Найбільше застосування в машинобудуванні знайшло індуктивне нагрівання струмом високої частоти. Швидке нагрівання створює градієнт температур – поверхня (на глибину 1,5 – 5 мм) має температуру вище A_3 , а серцевина – значно нижчу. Після швидкого охолодження поверхня гартується, а серцевина або неповністю, або зовсім не гартується.

Поверхневому гартуванню підлягають частіше вуглецеві сталі (0,4 – 0,5% С), рідше леговані (хромисті, хромонікелеві та ін). Так, поверхнєве гартування проводять колінчатих і розподільчих валів, шестерен, валків прокатних станів холодної прокатки тощо.

Відпуск – це процес термічної обробки, який проводиться після гартування з метою зняття, внутрішніх напруг.

Виділяють три види відпуску: низький, середній та високий.

При низькому відпуску загартований виріб нагрівають до 150 – 250°C, у середньому – 300 – 500°C, а високому – 500 – 650 оС. Витримка при цих температурах залежить від площі поперечного перерізу виробу. Охолодження відбувається на спокійному повітрі. Вид відпуску вибирають в залежності від умов роботи виробу (рис. 7.10).

Низький відпуск застосовують в мету підвищення в'язкості без помітного зменшення твердості виробу. Наприклад, для інструментальних сталей, після цементації тощо.

Середній відпуск, при якому помітно зменшується твердість і зростає в'язкість, застосовують, наприклад, для пружин, ресор і деяких інструментів.

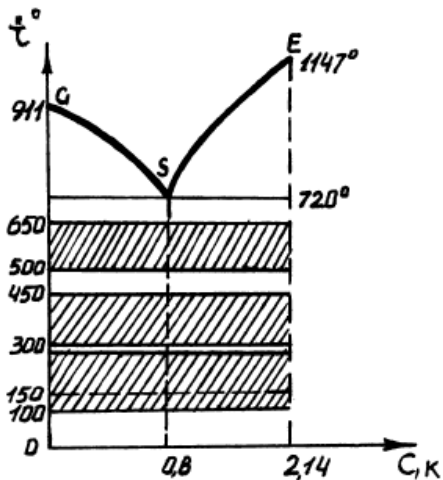


Рис. 7.10

При **високому відпуску** мартенсит розпадається у сорбіт відпуску, що приводить до найкращого поєднання міцності та пластичності сталі. Застосовується цей вид відпуску для деталей, які виготовлені з конструкційної сталі і працюють при ударних навантаженнях.

Гартування з наступним високим відпуском називають **покращенням**.

Відпуск, з невисоким нагрівом, називають **штучним старінням**. Процес штучного старіння полягає в тому, що загартовані деталі нагрівають 18 – 35 годин у масляних ваннах. При цьому стабілізується розміри деталі, а твердість і структура не змінюються.

Якщо відпуск відбувається при кімнатній температурі, то цей процес називають **природним старінням**. При природному старінні деталі та інструменти витримують при кімнатній температурі три і більше місяців.

Дефекти можуть виникнути при всіх видах термічної обробки.

У процесі відпалу можуть виникнути такі дефекти: окислення, вигорання вуглецю з поверхні деталі, перегрів і перепал.

При нагріванні в печах поверхня деталей взаємодіє з пічними газами. Це приводить до окислення їх поверхні, на якій утворюється окалина. Утворення окалини не тільки зменшує деталь, а й пошкоджує її поверхню. Поверхня сталі під окалиною роз'їдена і нерівна. Окаліну з поверхні видаляють травленням у розчині сірчаної кислоти у воді, очищенням у спеціальних установках дробом або галтовкою в барабанах.

При окисленні з поверхні сталі вигорає вуглець, що різко зменшує її міцнісні властивості. Для захисту сталей від окислення при відпалах застосовують гази, які вводять у піч.

При нагріванні сталей вище певних температур виникають шкідливі явища перегріву та перепалу, суть яких була з'ясована раніше.

У процесі гартування можуть виникнути такі дефекти: тріщини, деформація і короблення, вигорання з поверхні вуглецю, м'які плями та низька твердість.

Тріщини є наслідком виникнення великих внутрішніх напруг. Ймовірність їх виникнення збільшується в деталях складної конструкції з переходом поверхонь, при наявності на поверхні глибоких рисок, при наявності гострих кутів та тонких стінок тощо.

Деформація і короблення деталей відбувається в результаті нерівномірних структурних і пов'язаних з ними об'ємних перетворень, які викликані появою внутрішніх напруг у металі при нагріванні та охолодженні. Якщо, наприклад, довгу деталь

невеликого перерізу нагрівати тільки з одного боку, то вона прогнеться, тому що більш нагрітий бік більше видовжується, ніж менш нагрітий.

При зануренні деталей та інструментів в охолоджуючу рідину треба враховувати їх форму та розміри. Деталі, які мають товсті і тонкі частини, занурюються в охолоджуючу рідину спочатку товстою частиною, довгі деталі (штоки, протяжки, свердла, мітчики тощо) занурюють в строго вертикальному положенні, а тонкі та плоскі (диски, відрізки фрези, пластинки тощо) – ребром.

М'які плями – це ділянки на поверхні деталі чи інструмента з пониженою твердістю. Причиною їх появи є наявність на поверхні окалини, забруднень, ділянки з випаленим вуглецем, прояв парової сорочки.

Питання для самоконтролю

1. Чи можна загартувати метал, який не має поліморфних перетворень (наприклад, мідь)?
2. Чому після гартування сталь стає твердішою?
3. Чому низьковуглецева сталь не гартується?
4. Як вибирати охолоджуюче середовище для гартування сталей?
5. Якого роду виникають внутрішні напруги при термічній обробці сталей?

Завдання для самостійної роботи

З'ясуйте технологію гартування з охолодженням через воду в масло

ЛІТЕРАТУРА

1. Афтандіянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 104-134
2. Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156
3. Гетта В. Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025, С 9-11
4. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300

5. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. -Чернігів: 2001, С.45-61.
6. Гетта. В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів: с. 283.
7. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
8. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Львів: Світ, 2006, с.624.
9. Шиліна О.П Технологія конструкційних матеріалів – Вінниця: 2020, с.108.

Тема 8. Хіміко-термічна обробка металів і сплавів(ХТО)

Види ХТО. Фізичні явища, що супроводжують ХТО

Цементація. Технологія проведення цементації

Азотування. Технологія проведення азотування

Ціанування. Технологія проведення ціанування

Дифузійна металізація. Технологія проведення

Низькотемпературна і високотемпературна обробка металів тиском

Хіміко-термічна обробка (ХТО) – процес хімічної і термічної дії на поверхневий шар сталі з метою її покращання. Завдяки їй підвищується твердість поверхні сталі, її зносостійкість, корозостійкість та інше. *ХТО* знайшла широке застосування в машинобудуванні, оскільки є найбільш ефективним методом зміцнення сталених деталей і підвищення терміну їх роботи.

ХТО базується на таких явищах: дисоціація, абсорбція, дифузія та сублімація.

Дисоціація – це явище, яке полягає в розриві молекули на атоми та іони.

Абсорбція – захват поверхнею металу атомів речовини, якою він насичується.

Дифузія – переміщення захоплених поверхнею металу атомів у глибину виробу.

Сублімація – це випаровування твердого тіла, не переходячи у рідину.

При проведенні *ХТО* треба дотримуватися певних правил. Так, при *ХТО* швидкості дисоціації, абсорбції та дифузії повинні бути погоджені між собою. Для абсорбції та дифузії треба, щоб елемент, яким насичують поверхню металу, з основним металом утворював твердий розчин, або хімічну сполуку. *ХТО* не можлива, якщо основний метал і елемент, яким насичують його поверхню, утворюють механічну суміш. Дифузія відбувається краще, якщо твердий розчин буде типу втілення, а не заміщення. Це пояснюється тим, що при утворенні твердих розчинів заміщення атом, який впроваджувався в поверхню металу, займає в решітках місце основного атому, або вакансії і міцно там утримується силами міжатомних зв'язків.

Речовина, з якої беруть атоми для насичення, називається карбюризатором. Карбюризатор може бути твердим, рідким та газоподібним.

Основними видами *ХТО* є цементация, азотування, ціанування та дифузійна металізація.

Цементация – вид *ХТО*, при якому поверхня деталі насичується атомами вуглецю.

Цементують низьковуглецеві (0,1 – 0,3% С) сталі марок 10, 15, 20, АІ2, А20, Ст3, І5Х, 25ХТМ тощо. При цементации вміст вуглецю в поверхневому шарі доводять до 1%. Товщина цементованого шару досягає 0,5 – 2,5 мм. Після насичення поверхні атомами вуглецю деталь гартують. Це забезпечує високу твердість поверхні деталі при збереженні м'якості і в'язкості серцевини.

Технологія проведення цементации залежить від типу карбюризатора. При використанні твердого карбюризатора (рис. 8.1, а) деталі розміщують у металічному ящику 1, в перемішку з вугіллям із деревини 6. Заповнений ящик герметично закривають кришкою 2. У спеціальні отвори вставляють стержні 3 із сталі, яка цементується (свідки), для контролю процесу цементации.

Потім ящик з деталями нагрівають до температури 900 – 950°С. У ящику, в проміжках між шматочками вугілля, знаходиться повітря, кисень якого з вуглецем вугілля утворює газ СО. Потім за

реакцією $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$ утворюється атомарний вуглець, яким і насичується поверхня металу.

З метою активізації карбюризатора у вугілля додають BaCO_3 , Na_2CO_3 (сода), K_2CO_3 (поташ).

Процес цементації показаний на графіку (рис. 8.1, б).

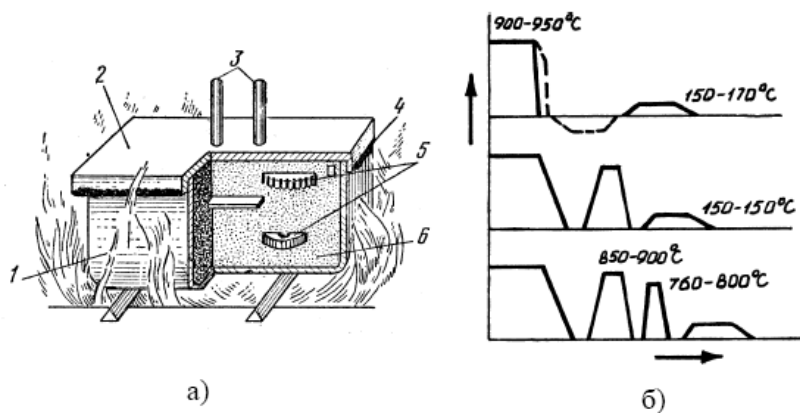


Рис. 8.1

Витримка після нагрівання тривала – 6 – 8 годин. Потім, оскільки деталі нагріті вище температури гартування, проводять підстижування до температури гартування і швидко охолоджують з послідовним відпуском.

При газовій цементації деталі нагрівають в герметичних печах (реторах) в атмосфері природного газу (вміщує до 92 – 96% метану).

Крім природного газу цементацію можна провести бензолом, який краплинами подають у ретору, де й утворюється газ метан і оксид вуглецю.

Структура цементованого шару така. Поверхня деталі має вуглецю біля 1%, тобто відповідає заевтектоїдній сталі із зернами перліту та цементиту (заевтектоїдна зона). Далі починається евтектоїдна зона із вмістом вуглецю біля 0,8%. Завершується цементований шар доевтектоїдною зоною, яка містить вуглецю менше 0,7 %. Після гартування на поверхні отримується високовуглецевий мартенсит, а серцевина залишається не гартованою, з низькою твердістю і високою в'язкістю.

Цементують деталі, які працюють в умовах тертя, при великих тисках і циклічних навантаженнях – шестерні, поршневі пальці, розподільчі вали тощо.

Процес цементації відомий давно і технологічно нескладний. До середини минулого століття методом цементації заліза отримували сталь

Азотування – вид *ХТО*, при якому поверхневий шар деталі насичується атомами азоту. При цьому поверхня деталі стає не тільки твердою та зносостійкою, як при цементації, а й корозієстійкою. Це відносно новий спосіб *ХТО*, його вперше здійснив Н.П.Чижевський у 1913 році.

Карбюризатором при азотуванні частіше всього служить аміак, який дисоціює на азот і водень. Оптимальна температура азотування – 500 – 600°C. При азотуванні деталі завантажують у герметичні печі, в які поступає аміак NH_3 . При нагріванні аміак дисоціює $\text{NH}_3 \rightarrow 3\text{H} + \text{N}$. Атомарний аміак поглинається поверхнею деталі і дифундує в глибину. Фази, які утворюються у вуглецевій сталі, не дають достатньо високої твердості. Тому азотують леговані сталі, які містять алюміній, молібден, хром, титан тощо. Нітриди цих елементів дуже дисперсні та мають високу твердість. Вона навіть вища ніж при цементації, а головне зберігається до високих температур 400 – 600°C, тоді як у цементованих сталей до 200 – 250°C.

Перед азотуванням шляхом гартування і високого відпуску покращують механічні властивості деталей. Оскільки азотування супроводжується деяким збільшенням розмірів деталі, то після нього проводять шліфування. Наприклад, повторно шліфують шийки колінчатих валів двигунів внутрішнього згорання.

Процес азотування тривалий – до 24 – 60 годин при температурі 500 – 520°C. Тому інколи з метою скорочення часу проводять двохступеневе азотування. Спочатку азотують при температурі 500 – 520°C, а завершують при підвищеній температурі 560 – 600°C. Підвищення температури прискорює дифузію атомів азоту в металі. Крім того, з цієї метою проводять іонне азотування. Процес проводять у розрідженому азотному середовищі при підключенні деталі до від'ємного електроду. Анодом служить контейнер установки. Між деталлю і контейнером утворюється тліючий розряд, в якому іони газу бомбардують поверхню деталі. Це скорочує час азотування в 2 – 3 рази.

Азотувати можна рідким карбюризатором в розплавлених ціаністих солях. При температурі 540 – 590°C азотування відбувається за 0,5 – 3 години.

Порівнюючи цементацію і азотування можна відмітити наступне:

- 1) тривалість цементації менша тривалості азотування;
- 2) зміцнений шар отримується більш глибокий і витримує більший питомий тиск при експлуатації;
- 3) твердість цементованого шару в 1,5 – 2 рази менша азотованого;
- 4) твердість при нагріванні цементованого шару зберігається до 180 – 250°C, а азотованого – 400 – 600°C.

Ціанування – вид *ХТО*, при якому поверхня деталі насичується одночасно атомами вуглецю і азоту. Після ціанування поверхня металу стає твердою, ізносостійкою і корозієстійкою. Карбюризатором служать ціаністі солі. При високих температурах ціаністі солі розпадаються з утворенням атомарного вуглецю та азоту. Вони шкідливі, мають температуру плавлення 550 – 650°C. Для підвищення температури плавлення і зменшення шкідливого випаровування до них додають нейтральні солі (NaCl, BaCl). Ціануванню підлягають дрібні деталі з конструкційної сталі.

Оскільки ціанування полягає в одночасному насиченні металу вуглецем і азотом, то його можна розглядати як суміщення цементації та азотування. При високій температурі процес ціанування наближається до цементації, а при низькій – до азотування. Змінюючи температуру, можна регулювати співвідношення між насиченням вуглецем і азотом.

Для отримання насиченого шару до 0,3 мм проводять низькотемпературне (820 – 860°C) ціанування. При цьому час ціанування – 0,5 – 1,5 годин. Після витримки деталей гартують і виконують низький відпуск. Низькотемпературне ціанування проводять для середньовуглецевих сталей та інструментів з швидкоріжучих сталей.

Для отримання насиченого шару більшої товщини (0,5 – 2 мм), проводять високотемпературне ціанування, при температурі 930 – 960°C. Тривалість процесу 1,5 – 6 годин. Після ціанування деталі охолоджують на повітрі, а потім гартують і роблять низький відпуск. Високотемпературне ціанування проводять для деталей,

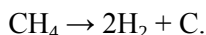
які виготовлені з низько- і середньовуглецевих сталей, а також для легованих сталей.

Процеси ціанування в порівнянні з цементацією більш продуктивні, забезпечують меншу деформацію та короблення деталей і дають зносо- і корозіостійкість.

Недоліком ціанування є шкідливість ціаністих солей та висока вартість.

Газова цементація заготовок здійснюється у герметичному просторі печі, наповненому газовим карбюризатором, який може бути природний (CH₄) та штучний газ, утворений з різних вуглеводів (гас, бензол та ін.) штучний газ в піч подають краплями, де він виділяє переважно CH₄, CO і H₂.

Метан природного газу в печі розкладається з виділенням атомарного карбону:



Знаючи хімічний склад сталі й регулюючи склад газової суміші, можна керувати насиченням заготовок вуглецем, а також легко автоматизувати процес. Він менш тривалий порівняно з цементацією у твердому карборизаторі. Тому газову цементацію застосовують у великосерійному й малому виробництвах.

Після цементації роблять термічну обробку заготовок – гартування й низькотемпературний відпуск з метою отримання заданих механічних властивостей. Режим термообробки залежить від умов експлуатації цементованої деталі та марки сталі, з якої ця деталь виготовлена. Мало відповідальні деталі одноразово гартують від температури цементації з подальшим низькотемпературним відпуском або перед гартуванням охолоджують на повітрі від температури цементації до температури 840 – 860°C. охолодження зменшує залишкові напруження та короблення заготовок. Під час гартування отримують грубо голчастий мартенсит. Вибір спадково дрібнозернистої сталі для виготовлення деталей дає змогу обмежити ріст аустенітного зерна під час цементації й отримати бажану структуру навіть в результаті одноразового гартування.

Коли потрібна висока поверхнева твердість, міцність і ударна в'язкість, термообробкою формують дрібнозернисту структуру і на

поверхні деталі, і в осерді, застосовуючи подвійне гартування і низькотемпературний відпуск.

Для поверхневого гартування заготовку, охолоджують після цементації на повітрі, нагрівають на $30 - 50^{\circ}\text{C}$ вище від температури A_3 цементованої сталі, тобто до $850 - 900^{\circ}\text{C}$. тоді метал повністю перекристалізовується, утворюючи дрібнозернистий аустеніт. Під час цього в аустеніті поверхневого насиченого шару розчиняється сітка цементиту. Продукти розпаду аустеніту мають теж дрібнозернисту структуру.

Під час другого гартування формується структура поверхневого шару, де вміст $C \geq 0,8\%$. З огляду на це температура гартування повинна перевищувати критичну точку A_1 на $30 - 50^{\circ}\text{C}$ і становити $760 - 780^{\circ}\text{C}$. під час нагрівання мартенсит, що утворився в поверхневому шарі при першому гартуванні, розпадається, виділяючи глобулярні карбіди. При температурі нижче $A_{\text{ст}}$ ці карбіди лише частково розчинюються в аустеніті, а не розчинені карбіди залишаються у загартованій зовнішній заевтектонічній зоні поверхневого шару, збільшуючи його твердість.

Низькотемпературний відпуск зменшує залишкові напруження й мало що знижує твердість поверхневого шару. Поверхневий шар після подвійного гартування й низькотемпературного відпуску має структуру відпущеного дрібнозернистого мартенситу з вкрапленням карбідів глобулярної форми. Ця структура характеризується підвищеною зносостійкістю. У деталях з вуглецевої сталі осердя має дрібнозернисту структуру, близьку до 90 сорбінтої. Перехід до легованих сталей збільшує прогартованість заготовок й сприяє утворенню в осерді, залежно від кількості легувальних елементів й перерізу заготовки, троститної, бейнітної структури або структури низько вуглецевого мартенситу. З огляду на низький вміст вуглецю осердя вуглецевих, як і легованих сталей, зберігає високу ударну в'язкість.

Цементовані сталі після гартування мають у поверхневому шарі великі напруження стиску, які підвищують границю витривалості.

Ціанування може проводитись газовим карбюризатором. Таке ціанування називається **нітроцементациєю**. Основою газового середовища служить ендотермічний газ, який складається з азоту (40%), водню (40%) і оксиду вуглецю (20%). При нітроцементациї деталі нагрівають до $850 - 870^{\circ}\text{C}$ у середовищі ендогазу з добавкою

природного газу (5 – 15%) та аміаку (5%) і витримують протягом 4 – 10 годин. Глибина нітроцементованого шару 0,2 – 0,8 мм. Після нітроцементзації деталі гартують і відпускають низьким відпуском.

Нітроцементують деталі складної форми, які працюють на знос та схильні до короблення.

Нітроцементзацію широко застосовують в автотранспортному виробництві. Так, на ВАЗ до 20% деталей підлягають нітроцементзації.

Дифузійна металізація – це вид *ХТО*, при якому поверхня сталльної деталі насичується атомами інших металів (алюмінієм, хромом, цинком та ін.). При насиченні поверхні сталі іншими металами утворюються тверді розчини заміщення, тому їх дифузія відбувається складніше, ніж вуглецю та азоту. Металізація відбувається при температурі 700 – 1400°C такими способами:

1. Твердим металізатором – феросплавом (ферохромом, феросиліцієм, феоалюмінієм та ін.) з додаванням хлористого алюмінію (NH_4Cl). Металізатор з'єднується з HCl або Cl_2 і утворює летючі з'єднання хлору з металом (наприклад, AlCl_3 , Cl_2 і т.д.). Доторкнувшись до поверхні деталі, летюче з'єднання хлору з металом дисоціює, внаслідок чого утворюють вільні атоми металу, які захоплюються поверхнею сталі.

2. Рідким металізатором – розплавленим металом. Деталь занурюють у розплавлений металізатор, який має низьку температуру плавлення (цинк, алюміній тощо).

3. Газовим металізатором – газом, який вміщує хлориди різних металів.

Насичення поверхневого шару деталі алюмінієм називають алітуванням. Процес дифузійного насичення відбувається при температурі 700 – 1100°C. Товщина насиченого шару 0,2 – 1 мм, а концентрація алюмінію в поверхневому шарі до 30%.

Алітування проводять для підвищення жаростійкості вуглецевих сталей. Алітують клапани, розливні ковші тощо.

Процес дифузійного насичення поверхні деталей хромом називають хромуванням. Воно підвищує зносостійкість деталей в агресивних середовищах. Хромують деталі парових турбін, насосів для перекачування агресивних середовищ тощо.

Як уже відмічалось, при термомеханічній обробці (*ТМО*) властивості металів і сплавів змінюються внаслідок зміни їх

будови, а будова змінюється обробкою теплом і пластичною деформацією (наклепом) поверхні деталі.

Суть наклепу полягає в тому, що при пластичній деформації змінюється структура металу, внаслідок чого метал стає міцнішим. Найбільша міцність металу настає тоді, коли структура буде волокнистою.

З'ясувалося, що найкращий результат досягається, коли наклеп сталі здійснюється в аустенітному стані. Аустеніт в результаті пластичної деформації набуває змін, які в значній мірі передаються мартенситу. В результаті сталь змінюється, як за рахунок обробки теплом, так і за рахунок збільшення дефектів, які успадкував мартенсит від деформованого аустеніту.

Виділяють два основних види *ТМО* – високотемпературну і низькотемпературну.

При високотемпературній *ТМО* аустеніт наклепують при температурах вище критичних точок A_3 і A_1 , а при низькотемпературній – нижче ліній точок A_1 (дуже переохолоджений аустеніт (рис. 8.2).

На рисунку процес пластичної деформації показаний зигзагоподібною лінією.

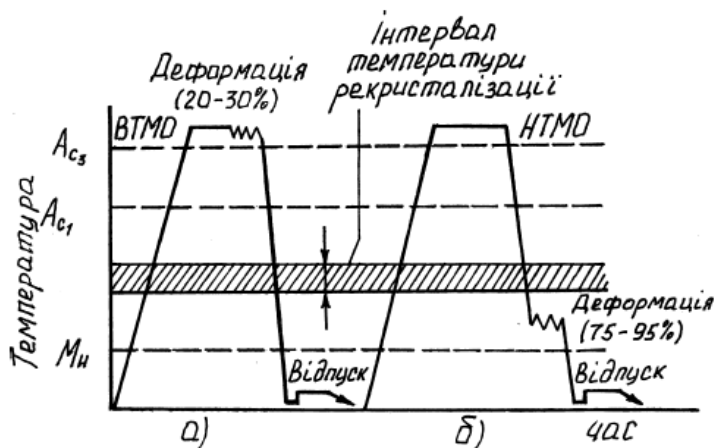


Рис. 8.2

Пластичну деформацію поверхні деталі проводять шляхом масованих ударів маленькими кульками з сталі або білого чавуну за допомогою дробоструминної установки. Рідше обкатують поверхню деталей роликком. В результаті дробоструминної обробки

утворюється наклепаний шар глибиною 0,2 – 0,4 мм. Крім того, за рахунок збільшення об'єму наклепаного шару на поверхні виробу з'являються залишкові напруги стискування, які дуже підвищують міцність на втому. Наприклад, термін служби пружин автомобіля, які працюють в умовах перевантаження, підвищується в 50 – 60 разів, а колінчатих валів – у 25 – 30 разів.

Питання для самоконтролю

1. При яких умовах проявляються фізичні явища: дисоціація абсорбція дифузія і сублімація?
2. Наведіть приклади деталей, які підлягають цементації, азотуванню, ціануванню та дифузійній металізації
3. Що таке нітроцементация?
4. Коли використовують низькотемпературну, а коли високотемпературну *ТМО*?

Завдання для самостійної роботи

З'ясуйте технологію нітроцементации

Л І Т Е Р А Т У Р А

1. Афтандіянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 163-187,159-163
2. Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156
3. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025, С 11-12
4. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300
5. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. -Чернігів: 2001, С.62-69.
6. Гетта. В. Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів:с. 283.
7. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
8. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.
9. Шиліна О. П Технологія конструкційних матеріалів – Вінниця: 2020, с.108.

Тема 9. Металургія чорних металів

Загальні відомості про металургію

Доменний процес. Будова доменної печі. Руди чорних металів та їх характеристика. Виробництво чавуну. Виробництво сталі. Мартенівські печі. Кисневі конвертори. Електродугові та індукційні печі. Новітні способи виробництва сталі. Розливка сталі

Галузь, яка займається виробництвом металів і сплавів і наука про способи виробництва та очистки металів називається металургією.

Існує декілька способів виробництва металів: пірометалургійний (вогневий), гідрометалургійний, електрометалургійний, хіміко-металургійний та порошкової металургії.

Пірометалургійний спосіб заснований на тому, що тепло, яке необхідно для виплавки металу або сплаву, забезпечується спалюванням палива. Пірометалургійним способом виплавляють чавун, переробляють чавун у сталь, виплавляють мідь.

Гідрометалургійний спосіб заснований на вилужуванні металів з руд. Цей спосіб використовується при виробництві міді з бідних руд, цинку, алюмінію та вольфраму.

Електрометалургійний спосіб полягає у виплавці металів і сплавів у дугових, індукційних та інших електричних печах, а також електролізі металів (алюміній, мідь, магній та ін.) з розчинів солей.

Хіміко-металургійний спосіб поєднує хімічні та металургійні процеси. Наприклад, виробництво титану здійснюється в декілька етапів: отримання хлориду титану, відновлення його в губчасту масу, розплавлення цієї маси електронагрівом у мідному тиглі.

Порошкова металургія – метод отримання металопродукції з порошків.

Метали внаслідок високої хімічної активності в надрах землі знаходяться в сполуках, які входять до складу складних мінералів – руд. Частина руди, яка містить метал, називається рудним мінералом, а яка не містить – пустою породою. Пуста порода переважно вміщує кремнезем, глинозем, вапнякові з'єднання тощо.

У залежності від вмісту металу руди діляться на багаті, середні та бідні. Збагачену руду називають концентратами, а відходи – хвостами. Збагачення руд може бути магнітною сепарацією, флотацією, гравітацією, електростатичним та іншими способами.

Для видалення з розплаву пустої породи, а також шкідливих домішок до складу шихти вводять флюси – матеріали, які утворюють з пустою породою легкоплавкі з'єднання. Розплав пустої породи з флюсами та золою коксу при виробництві чавуну, флюсу з окислами, сульфідами та іншими з'єднаннями при виробництві сталі називають шлаком.

Шлаки та флюси діляться на кислі, нейтральні та основні. При високих температурах кислі флюси взаємодіють з футеровкою, тому частіше використовуються основні флюси – вапняк і доломіт.

Для плавки шихти використовують металургійне паливо. Воно повинне задовольняти таким вимогам: мати високу теплотворну здатність, малу зольність та якомога меншу собівартість. У металургії переважно використовують кокс, мазут, природний та попутний газ.

Кокс – пористий продукт переробки коксуючого вугілля. При переробці коксуюче вугілля нагрівають у спеціальних печах (батареях) без доступу повітря до 950 – 1000°C і витримують 15 – 18 годин. Кокс вміщує 85 – 90% вуглецю, 0,5 – 2% сірки, до 0,2% фосфору, до 1,25% летких речовин, до 13% золи, до 6% вологи. Проте, кокс дефіцитне і дороге паливо.

Природний газ – висококалорійне і відносно дешеве паливо. Він майже не має сірки та сажі. Природний газ знаходить все більше застосування в металургії, хоча його теплотворна здатність нижча, ніж у коксу.

Поряд з природним газом використовується попутний – доменний та коксовий. Їх теплотворна здатність значно нижча, ніж природного.

Доменний газ має малу теплотворну здатність. Його використовують у суміші з іншими газами.

Вогнетривкі матеріали застосовуються для облицювання (футеровки) внутрішньої частини плавильних та нагрівних печей, різних ковшів, лотків для випуску чавуну та сталі, виливниць тощо. До них пред'являються складні вимоги. Поперше, вони повинні витримувати високу температуру, тобто повинні бути

вогнетривкими. По-друге, вони повинні в на грітому стані витримувати значні механічні навантаження. Потрете, вогнетривкі матеріали повинні бути хімічно стійкими, тобто повинні протистояти дії нагрітих металів, шлаків, пічних газів тощо.

По хімічній стійкості вогнетривкі матеріали розділяють на кислі, основні та нейтральні. Кислі виготовляються на основі піску. Використовуються у вигляді цегли (динасова цегла), кварцевого порошку, футеровочних плит тощо. Динас витримує температуру до 1700°C , добре витримує механічні навантаження, але має низьку термостійкість, тобто руйнується при різких коливаннях температури. Динас застосовується для футеровки кислих мартенівських та електричних печей, конвертерів, відбивних печей які використовуються у кольоровій металургії.

До основних вогнетривких матеріалів відносять магнезит, доломіт, хромомagneзит. Магнезитові матеріали витримують температуру $2000 - 2400^{\circ}\text{C}$. Доломіт (гірська порода) витримує температуру нагріву до $1800 - 1980^{\circ}\text{C}$. Хромомagneзитова цегла витримує температуру не менше 2000°C . На відміну від магнезиту він має високу термостійкість. Основні вогнетривкі матеріали використовують у мартенівському виробництві, а також для футеровки печей у кольоровій металургії.

Найбільш поширеними в металургії є нейтральні вогнетривкі матеріали. До них належать шамот, хромисті та високовуглецеві (графітні) матеріали.

Шамот – найдешевший вогнетривкий матеріал. Його отримують з вогнетривких глин. Він вміщує $30 - 40\% \text{Al}_2\text{O}_3$, $50 - 60\% \text{SiO}_2$ і $1,5 - 3,0\% \text{Fe}_2\text{O}_3$. Шамот витримує великий тиск, хоча має відносно невелику температуру – 1750°C . Ним футерують доменні печі, конвертери, сталерозливні ковші.

Хромисту цеглу виготовляють з хромітів, обпаленого магнезиту та глини. Вона якісніша за шамот. Вуглецеві вогнетривкі матеріали, основою яких є подрібнений графіт, кокс, антрацит, володіють дуже високою вогнестійкістю – більше 2000°C . Їх використовують для футеровки гірничо-доменних печей, електродних ванн при виробництві алюмінію тощо.

Залізні руди – основний вихідний матеріал для виплавки чавуну. Залізо в рудах переважно знаходиться в оксидах, рідше в карбонатах. Крім заліза в руді знаходиться пуста порода – кварц, піщаники з домішками глини та ін.

Залізні руди, в порівнянні з рудами інших металів, відносно багаті. В найбільш багатих рудах заліза – 60 – 65%, у середніх – 50 – 60%, а в бідних – 30 – 40%.

За типом рудного матеріалу руди розділяють на: червоний залізняк, магнітний залізняк, бурий залізняк, залізні кварцити, шпатовий залізняк та ін.

У **червоному залізняку** рудним матеріалом є гематит – безводний оксид заліза (Fe_2O_3 , 70% Fe). Це найбільш поширена руда. Найбільші поклади цієї руди у Кривому Розі.

Магнітний залізняк має рудний матеріал магнетит – магнітний оксид заліза (Fe_3O_4 , 72,4 Fe). Це найбільш багата і важко відновлювальна руда.

Бурій залізняк має рудний матеріал – водні оксиди заліза. У ньому міститься 30 – 50% заліза. Він забруднений миш'яком, фосфором.

Залізні кварцити мають рудний матеріал магнетит або гематит. Вони відносно бідні (35 – 40% заліза).

Шпатовий залізняк має рудний матеріал карбонат FeCO_3 (сидерит). Ця руда добре відновлюється, але бідна (30 – 40% заліза). Добувається в Кривому Розі.

При виробництві чавуну також використовуються марганцеві руди – добавка для введення в чавун марганцю. Марганцеві руди вміщують 20 – 55% марганцю в оксидах.

До комплексних руд відносять залізо-марганцеві, хромисті, ванадієві тощо.

Підготовка руд до плавки. Основна маса руди проходить підготовку до плавлення. Це викликане тим, що в домену піч можна завантажувати тільки багату руду з розмірами кусків у межах від 10 до 80 мм. Якщо завантажувати руду з вмістом менше 70% заліза, то це приведе до збільшення витрати палива, яке дуже дороге. Дотримання вказаних розмірів обумовлене тим, що занадто малі кусочки руди заважатимуть проходженню газів у печі, а великі – погано прогріватимуться.

Основні етапи підготовки руд до плавки такі: подрібнення, сортировка, збагачення і окуювання.

Руди чорних металів знаходяться в надрах землі у вигляді монолітної плити на незначних глибинах. Тому їх добувають відкритими способом. Очищається поверхня покладів від ґрунту, буряться глибокі свердловини, в які закладається вибухівка. Під

дією вибуху руда руйнується, утворюючи куски від пилу до глиб. Потім руда транспортується до збагачуючого комбінату, де спочатку подрібнюється на спеціальних дробилках (рис. 9.1).

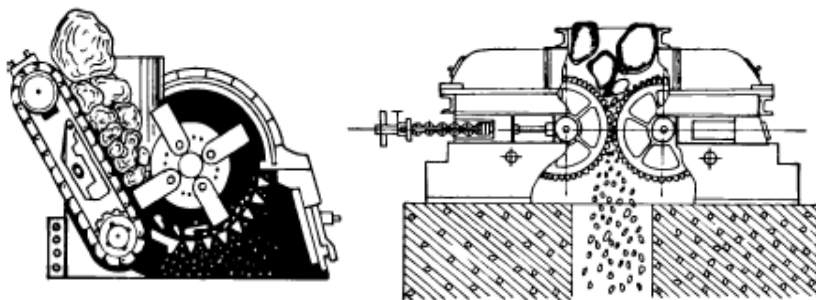


Рис.9.1

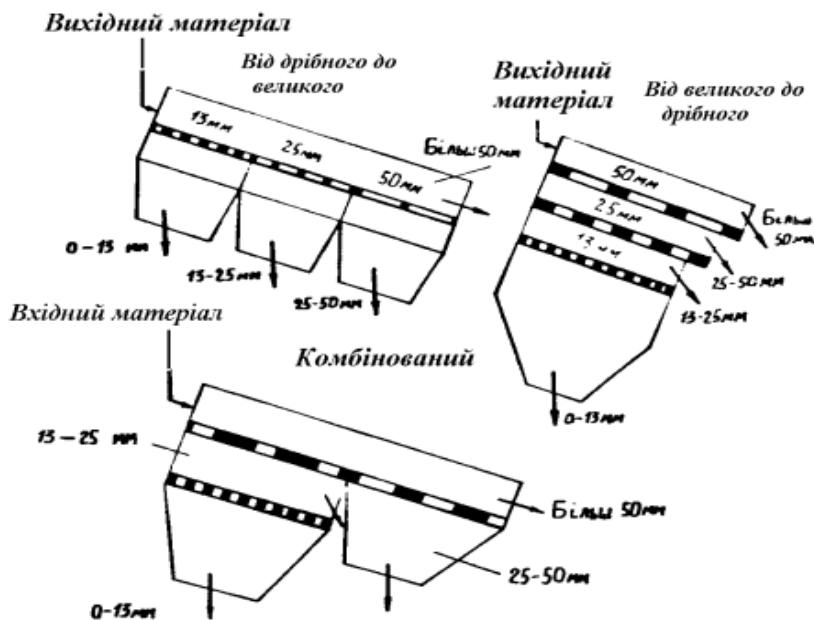


Рис. 9.2. Способи грохочення

Після подрібнення переважна більшість кусочків руди буде в межах 10 – 80 мм, але поряд з ними буде певна кількість рудного

пилу та кусочків більших за допустимі. Тому виникає потреба в сортуванні подрібненої руди. Сортування здійснюють на спеціальних грохотах, основною частиною яких є решета з необхідними вікнами (рис. 9.2).

Більш тонке сортування здійснюють за допомогою гідроциклонів або спеціальних пристроїв, де руду подають разом з водою і використовують те, що більші кусочки у воді осідають швидше, ніж менші.

Біля 80% руди підлягає збагаченню. Основним способом збагачення руд є мокра магнітна сепарація. Подрібнену руду спочатку промивають водою. Це дає можливість видалити з руди пісок, глину, частину пустої породи. В той же час змочена руда не запилує простір, що покращує умови збагачення. Установки, за допомогою яких відбувається збагачення, показані на рисунку 9.3.

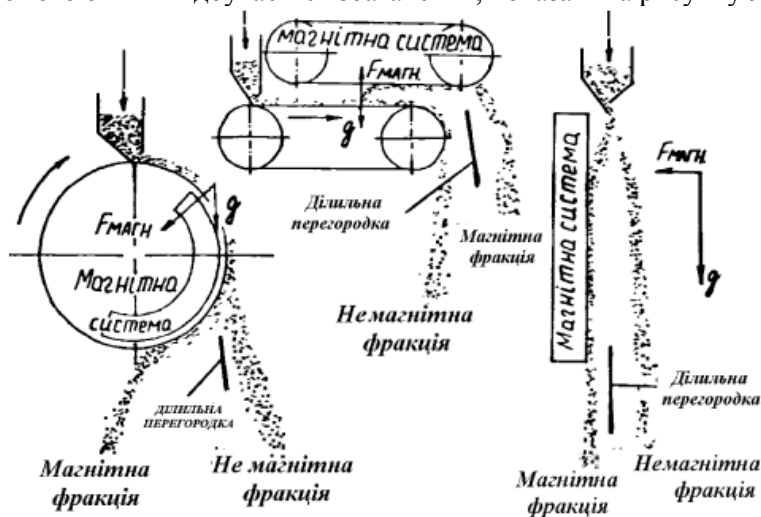


Рис. 9.3

Немагнітні руди перед збагаченням піддають магнітизуючому обпалу. Збагачення також можна проводити методом гравітаційного осадження.

Пилевидна і дрібна руда підлягає окусковуванню, яке проводиться шляхом агломерації або виробництва окатишів. Агломерацію проводять на машинах стрічкового типу (рис. 9.4).

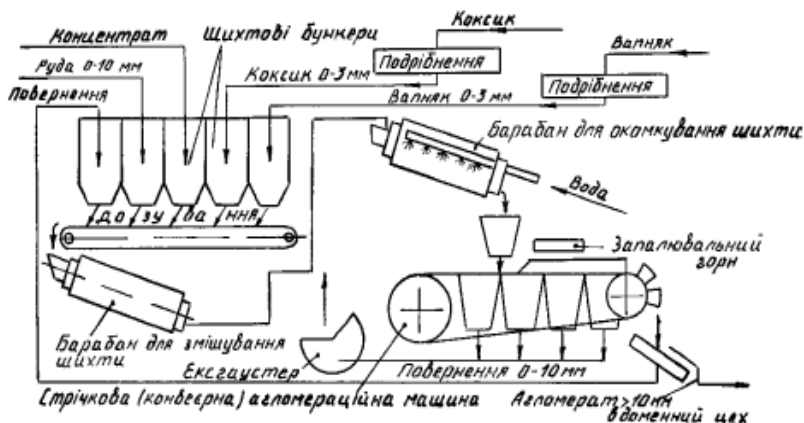


Рис. 9.4

Основною частиною машини є стрічковий конвеєр, який має значну кількість спеціальних ящиків (рис. 9.5)

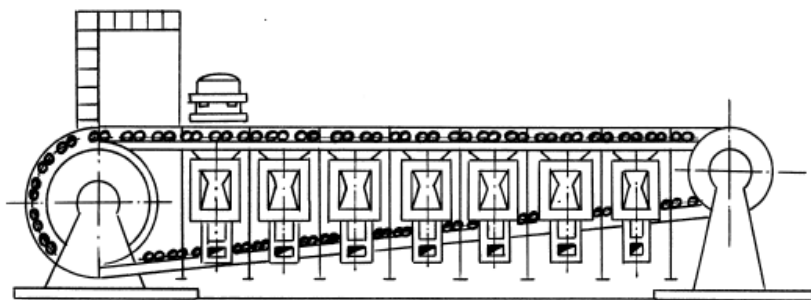


Рис. 9.5

Ящики кріпляться між ланцюгами так, що у верхній частині конвеєра вони рухаються заповнені шихтою, а в нижній – порожні (догори дном). У дні ящиків розташована колосникова решітка. Коли ящик підходить до завантажувального пристрою, то на колосникову решітку спочатку завантажується тонкий шар агломерату (постеля), а потім шихта. В шихту входить рудний пил, вапняк, окалина, дрібна металічна стружка, коксик тощо. Коксик – це відходи виробництва коксу.

Коли заповнений ящик відходить від бункера, на нього направляється факел полум'я і включаються вакуумні установки, завдяки яким у ящики всмоктується повітря. Коксик загорається. Горіння підтримує повітря. Виділене тепло плавить легкоплавкі включення, вапно. Розплавлена маса обліплює тверді кусочки руди. Завдяки вакуумним установкам коксик прогорає до дна ящика. У зоні горіння при температурі $1300 - 1500^{\circ}\text{C}$ відбувається спікання шихти. При цьому відбувається часткове відновлення заліза з окислів, а також на $85 - 95\%$ видаляється сірка. Після завершення горіння коксик, вакуумні установки відключаються, шихта застигає. Дійшовши до кінця конвеєра, ящик перевертається. Маса падає на грохот, де просіюється. Агломерат, який не спікся в куски, просіюється і йде на повторне спікання. Основна маса агломерату в кусках направляється в доменну піч.

Проте, агломерація виявляється малопродуктивною і не вигідною. Відсутність механізму кускоутворення приводить до затруднення плавки агломерату в доменній печі. Тому поряд з агломерацією в металургії використовується виробництво окатишів. Схема такого виробництва показана на рисунку 9.6.

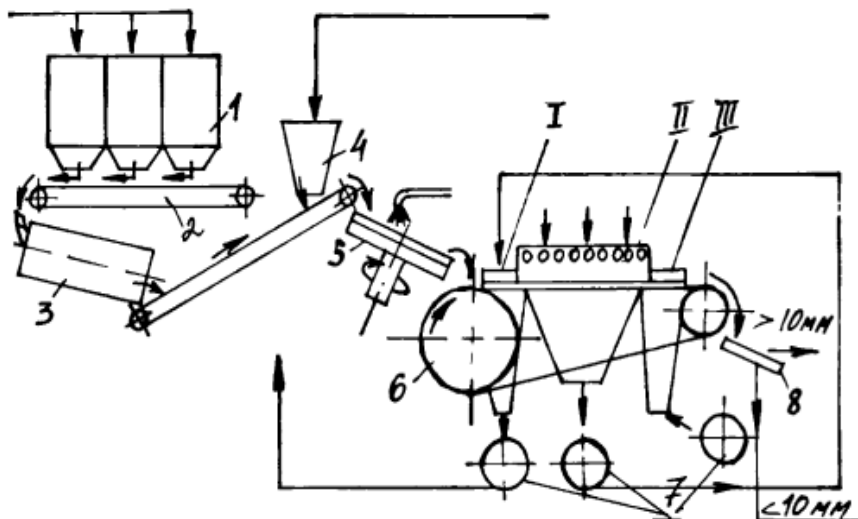


Рис. 9.6

Тонкоподрібнений концентрат, вапняк та неокускована шихта у відповідних дозах подається у барабан 3, де ретельно перемішуються. З барабана шихта поступає до гранулятора. Але на цьому шляху до неї додається речовина – бетоніт, який призначений для придання твердості окатишам.

Гранулятор (рис. 9.7) представляє собою велику тарілку 1, яка обертається з певною швидкістю. Над тарілкою розташований душ води, який направляє великі краплини води на шихту. Коли краплина води потрапляє на шихту, вона «окатується» дрібненькими частинками шихти і починає рухатись по складній траєкторії, яка показана на рисунку зверху. При такому русі утворюється і росте окатиш. Вага його зростає, тому він поступово опускається вниз і попадає на гумову транспортерну стрічку. Бетонітна глина його скріплює. Далі окатиші піддають сушінню (200 – 400°C) і обпалу при 1300 – 1400°C, у результаті чого вони стають твердими.

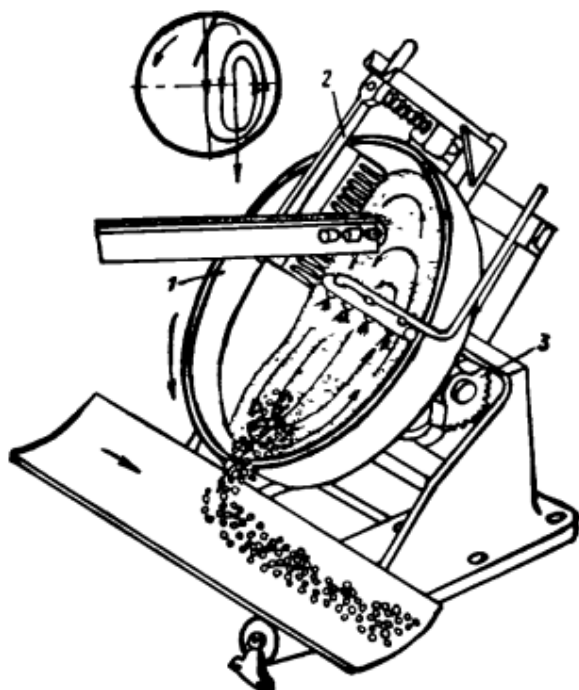
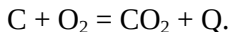


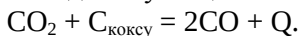
Рис. 9.7

Доменна піч працює за принципом протитоку. Шихта рухається вниз, а назустріч піднімаються нагріті гази, отримані при горінні палива. В результаті взаємодії окисли заліза поступово відновлюються в чисте залізо, а потім з'єднуються з вуглецем.

Біля повітряних фурм кокс, взаємодіючи з нагрітим киснем, згорає за реакцією:

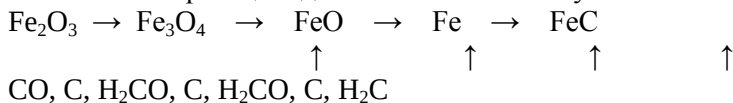


При цьому виділяється значна кількість тепла. Температура в зоні горіння досягає 1800 – 2000°C. Нагрітий вуглекислий газ піднімається вгору і взаємодіє з вуглецем коксу:



Оксид вуглецю CO у доменній печі є головним відновником заліза з руди. Крім того, додатковими відновниками є вуглець коксу в зоні губчатого заліза (в зоні розпару) та водень з парів води.

Хімічні реакції в доменній печі можна уявити так:



Відновлювальні реакції газом CO починаються в зоні температури 400 – 500°C і розвиваються з підвищенням температури. Завершуються в кінці шахти при температурі 900 – 950°C.

Відновлення твердим вуглецем називається прямим відновленням. Воно відбувається при температурах вище 950 – 1000°C (в зоні розпару печі) за реакцією:



Але ця реакція відображає лише кінцевий результат процесу прямого відновлення. Безпосереднього відновлення оксидів заліза при контакті з вуглецем коксу практично не відбувається. Реагентом взаємодії служить оксид вуглецю, який отриманий з коксу.

Відновлення заліза з руди завершується при температурі 1300 – 1400°C (в розпарі печі). При цій температурі залізо знаходиться в твердому стані пл

$T_{\text{пл}}^{\circ} = 1539^{\circ}\text{C}$ у вигляді губчатої маси.

Паралельно з відновленням заліза в печі відбувається з'єднання його з вуглецем. Інтенсивність цього процесу значно зростає в зоні розпару печі, коли залізо починає плавитись.

Воно обтікає шматки розжареного коксу і в цей час інтенсивно з'єднується з вуглецем.

У доменну піч разом з шихтою попадають марганець, сірка та інші елементи у вигляді різних хімічних з'єднань. Вони теж відновлюються і входять до складу чавуну, покращуючи чи погіршуючи його властивості.

Корисними домішками є марганець, кремній та інші метали. Шкідливими – сірка та фосфор.

Пуста порода та інші неметалічні включення, які присутні в руді, утворюють шлак. Шлак починає утворюватись в розпарі печі. Стікаючи вниз, шлак взаємодіє з розплавленим чавуном та іншими складовими шихти, в результаті чого змінює свій склад.

Хімічний склад шлаку визначає склад чавуну. Типовий склад шлаку такий: 40 – 50% CaO ; 38 – 40% SiO_2 ; 7 – 10% Al_2O_3 .

У складних фізико-хімічних процесах взаємодії шлаку з чавуном, коксом та ін., крім складу, велике значення має його кількість, в'язкість та інші властивості.

Продуктами доменної плавки є чавун, шлак і доменний (колошниковий) газ.

У доменних печах виплавляють переробний (для переробки в сталь) чавун, ливарний і спеціальний чавуни. Біля 81 – 82% чавуну переробляють в сталь. З того, що залишився, відливають різні заготовки та деталі – станини верстатів, корпуси редукторів тощо. З шлаку виготовляють будівельні матеріали, добрива, цемент, ливарні вироби тощо.

Доменний (колошниковий) газ виділяється в печі у значних кількостях і неперервно відводиться через газовідводні труби. При згоранні однієї тони коксу утворюється біля 5000 м^3 газу. Середня піч за добу дає 15 – 17 млн. м^3 газу. До його складу входить значна кількість горючих складових. Після очищення від пічного пилу доменний газ використовують як паливо для нагрівання повітря нагрівних печей, водяних і парових котлів. Його також використовують у суміші з природним газом у мартенівському виробництві.

Чавун виплавляється з руд у домнах – вертикальних печах шахтного типу. Висота доменної печі досягає 40 м. Її діаметр у три рази менший висоти. Об'єм сучасних печей від 3,5 до 5000 м^3 . Найбільша доменна піч побудована в Кривому Розі. Її об'єм –

5000 м³. Такий об'єм дозволяє виплавляти чавун з неперервним його випуском.

Доменна піч має складну конфігурацію. Верхня її частина (шахта) є прямим зрізаним конусом. Середня – зворотний зрізаний конус (заплечики). Нижня частина – циліндрична (горно) (рис. 9.8, б).

Стіни печі викладені з вогнетривкого матеріалу – в основному з шамоту. Горно печі викладене з вуглецевих (графітизованих) блоків. Зовні доменна піч має сталевий кожух. Товщина його в середній частині (розпарі) досягає 35 см. Для зменшення навантаження на нижню частину печі, верхню частину (шахту) роблять на сталевому кільці, яке опирається на колони. Уся піч опирається на потужний фундамент (рис. 9.8, а).

Зовні доменна піч охолоджується системою труб, якими циркулює вода. Зверху піч має колошники, через які автоматично завантажуються шихта.

Завантажувальний пристрій складається з двох конусів, які працюють за принципом шлюзів. Це дає можливість уникнути виходу газів у атмосферу. Крім того, у верхній частині розташовані газовідвідні труби, через які пічні гази відводяться для господарських потреб.

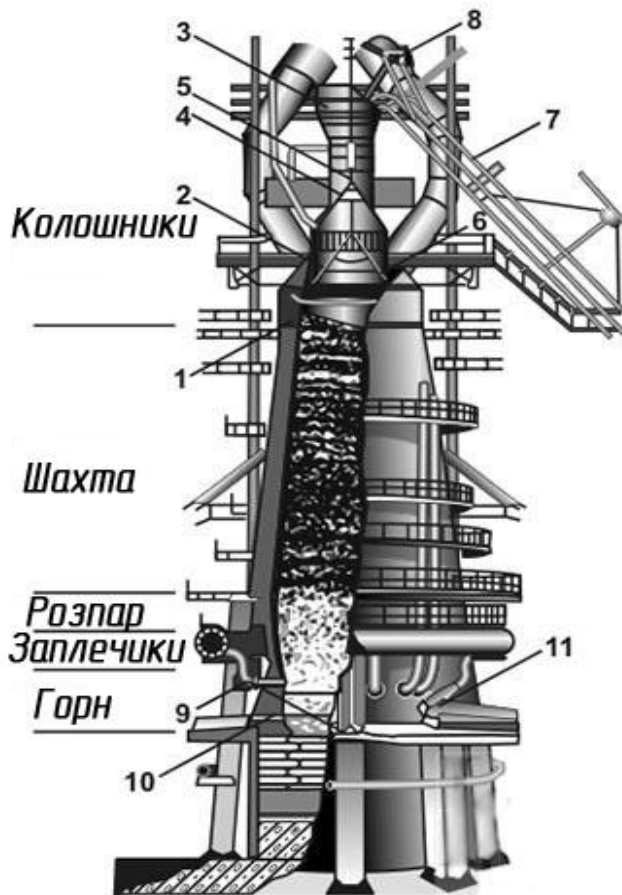


Рис. 9.8 Доменна піч

1 – захисні сегменти колошника; 2 – великий конус; 3 – приймальна воронка; 4 – малий конус; 5 – розподільні шахти; 6 – воронка великого конуса; 7 – нахелений міст; 8 – скип; 9 – повітряна фурма; 10 – чугунна летка; 11 – шлаковая летка.

Повітря з технічним киснем подається в піч через 14 – 24 фурми, які розташовані у верхній частині горна. Фурми об'єднані тороїдною трубою, яка під'єднана до нагрівних пристроїв. У сучасних печах повітря з киснем нагрівається до 1200 – 1300°C. У нагріте повітря додають пару води та подрібнене до порошку кам'яне вугілля. Це дозволяє значно підвищити ефективність

плавки та знизити собівартість чавуну. Кам'яне вугілля в кисневому дутті згорає вибухоподібно, що підвищує температуру горіння та знижує зольність вугілля.

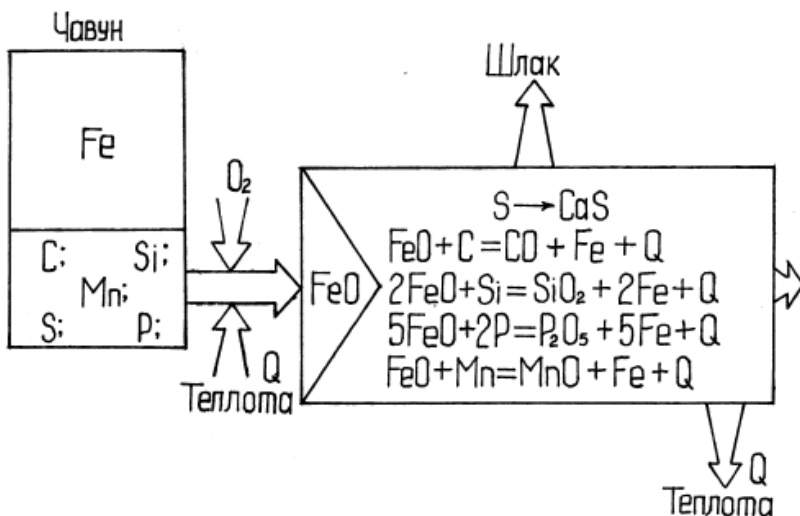
В стінах горна розташовані льотки для випуску чавуну та шлаку. Льотки для чавуну розташовані нижче за льоток шлаку. Для забезпечення роботи доменної печі працюють шихтові двори, вантажно-розвантажувальне обладнання, вагон-ваги, ковши-чавуновози, шлаковози, розливні машини, печі для нагрівання повітря та кисню тощо.

Для виплавки тонни чавуну витрачається 1,8 тонн офлюсованого агломерату, 575 кг коксу. Тобто, піч об'ємом 3 тис. м³ за добу споживає близько 8500 тонн шихтових матеріалів і виплавляє біля 5000 тонн чавуну.

Сталь – це сплав заліза з вуглецем з процентним вмістом вуглецю до 2,14%. Сталь отримують з переробного чавуну та металобрухту (скрапу).

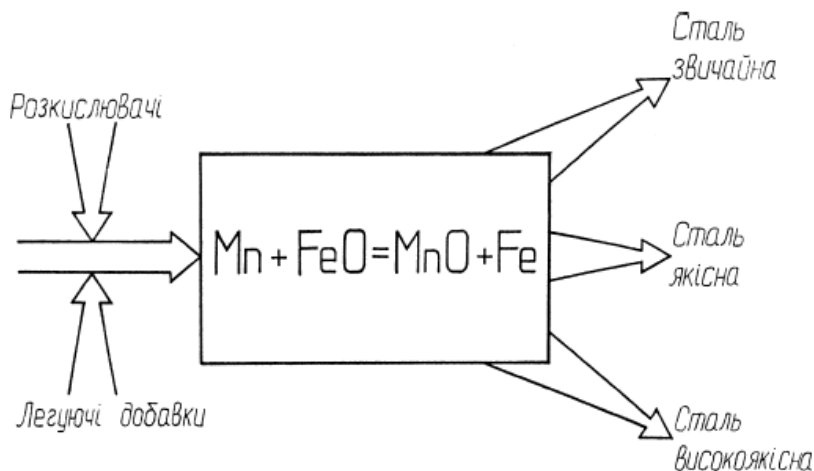
Переробний чавун, як правило, має в своєму складі 3 – 4% вуглецю, 0,2 – 2,0% кремнію, 0,6 – 3% марганцю, 0,07 – 1,6% фосфору, 0,03 – 0,08% сірки. Звідси випливає, що для переробки чавуну у сталь потрібно значно зменшити вміст вуглецю (практично 0,3 – 0,5%), зберегти кількість корисних домішок і зменшити кількість шкідливих домішок. Так, сірки в сталі допускається до 0,03%, а фосфору до 0,05%.

Практично це можна зробити шляхом випалювання, окислення вуглецю і виведення в шлак сірки та фосфору. Для цього треба через товщу розплавленого чавуну та металобрухту пропустити кисень. По закону діючих мас в першу чергу окислиться залізо (бо його найбільше), а потім закись заліза окислюватиме вуглець та інші домішки. Процес окислення показаний на схемі:



Реакції окислення екзотермічні, тому виділене тепло можна використати для розплавлення сталюого металобрухту.

Проте при припиненні дуття киснем сталь охолоджується, а дія FeO на компоненти не припиняється. В результаті цього виділяються гази, які об'єднуючись у бульбашки, піднімаються на поверхню, створюючи видимість кипіння сталі. Коли температура сталі знизиться до кристалізації, бульбашки до поверхні не доходять, зависають у верхній частині злитку, утворюючи раковини. Реакція FeO з іншими компонентами припиняється, але частина його залишиться як шкідлива домішка, яка спричиняє крихкість. Така сталь буде низькоякісна, кипляча. Треба своєчасно нейтралізувати FeO . Для цього сталь перед застиганням слід розкислити. Для цього в неї треба внести розкислювачі феросіліцій, феромарганець та чистий алюміній. Причому для здійснення ефективного розкислення потрібно внести всі перелічені вище розкислювачі і в тій же послідовності. Внесення одного феросіліцію залишає сталь киплячою. Якщо з феросіліцієм внести феромарганець, сталь буде напівспокійною. Внесення всіх трьох розкислювачів робить сталь спокійною. Процеси розкислення показані на схемі:



Розкислювачі вносять або в піч (електричну, мартенівську), або в струмінь сталі при розливці в ковші.

Технічно процеси виробництва сталі здійснюються трьома способами – мартенівським, конвертерним та в електропечах.

Переробний чавун переробляється в сталь переважно **конвертерним способом**, який був розроблений у 1855 році Бессемером (Англія).

Суть його полягає в тому, що налитий в конвертер чавун продувається повітрям. Під час продувки вуглець, кремній, марганець та інші домішки окислюються, завдяки чому чавун перетворюється у сталь (рис. 54, а).

З часу винайдення Бессемером цього способу виробництва сталі принципових змін не було, хоча й відбулись дві суттєві зміни. У 1878 році англічанин Томас запропонував у бессемерівському конвертері замінити футеровку з кислотої (динасової) на основну (доломітову), що дало можливість додавати у піч вапно і переробляти чавун, який містить фосфор. За відсутності кисню продувка, як у бессемерівському конвертері, так і в томасовському, відбувалась нагрітим повітрям.

У 1956 – 1957 рр, з появою в достатній кількості технічного кисню, було запропоновано замінити повітряну продувку чавуну на кисневу. З того часу при переробці розплавленого чавуну в сталь переважно користуються киснево-конвертерним способом.

Кисневий конвертер представляє собою грушоподібну сталюну піч, футеровану зсередини хромомагнетитом або доломітом (основним вогнетривким матеріалом). Схема кисневого конвертера показана на рисунку 9.9, а.

Конвертер встановлюється на спеціальних опорах і може повертатися навколо горизонтальної осі. Горловина конвертера служить для завантаження чавуну, скрапу та флюсу, введення технічного кисню та відводу газів.

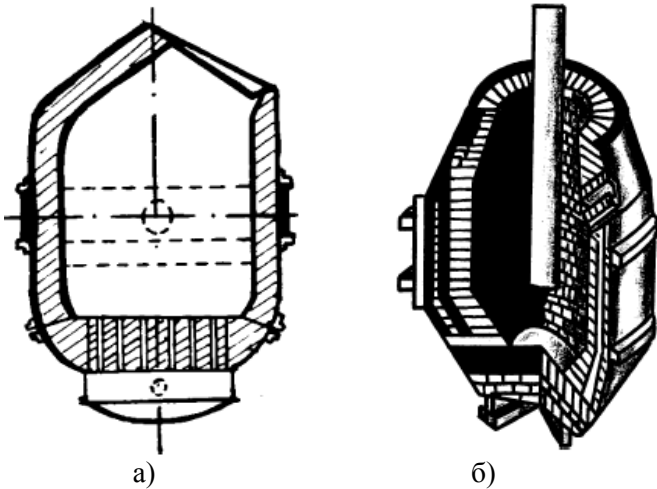


Рис.9.9

Ємність сучасних конвертерів 250 т і більше.

Кисень подається в конвертер через мідні фурми, які охолоджуються водою. Тиск кисню 0,9 – 1,4 МПа. Температура в зоні дуття досягає 2200 – 2500°C, що дозволяє переробляти металобрухт.

Перед завантаженням конвертер повертають під кутом до горизонту. З міксера заливають розплавлений чавун, завантажують певну кількість металобрухту. Потім конвертер повертають у вертикальне положення, вводять фурму і вмикають подачу технічно чистого кисню. Одночасно з подачею кисню в конвертер завантажують першу порцію шлакоутворюючих речовин (вапняк або плавиловий шпат) і залізну руду.

Потім шлакоутворюючі речовини додають по ходу плавки. Для розрідження шлаку в конвертер вводять боксити.

При досягненні необхідної кількості вуглецю подачу кисню припиняють. Виймають фурму. Конвертер повертають в горизонтальне положення. Беруть пробу сталі та шлаку на хімічний аналіз. Потім сталь виливають у ківш через випускний отвір. Розкислювачі вводять у ківш під час випуску сталі. При виплавленні легованої сталі частіше легуючі елементи вносять в ківш, а нікель, молібден – у конвертер.

Сталь, отримана конвертерним способом використовується для виробництва листів для кузовів автомашин, виготовлення профільних матеріалів (кутників, швелерів, двотаврів, рельсів тощо).

Мартенівський спосіб був розроблений у Франції в 1864 році батьком і сином Мартенами. Він отримав широке розповсюдження. До недавнього часу цим способом вироблялась більшість сталі. Проте мала продуктивність, висока собівартість виробленої сталі (висока вартість палива), поява електropечей поступово зменшує використання мартенівського виробництва сталі. Останнім часом такі печі навіть не будують.

Мартенівські печі відносяться до полумених відбивних регенераторних печей (рис. 9.10).

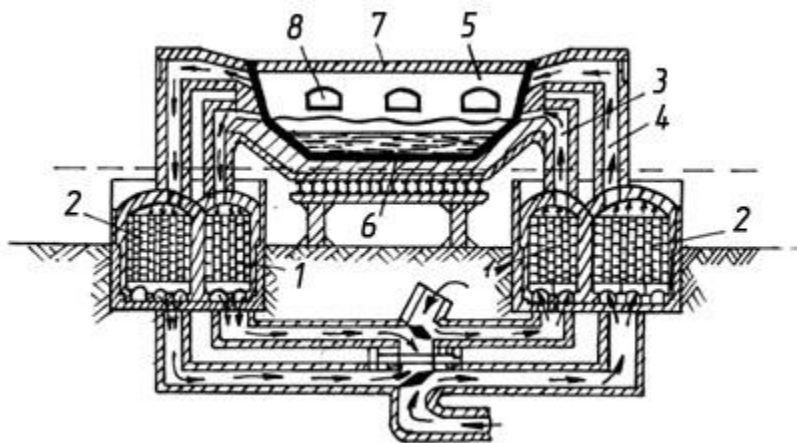


Рис. 9.10

Мартенівська піч складається з ванни 6, та регенераторів 2. Ванна зверху закрита склепінням 7. З боку ванни розташовані

завалочні вікна 8. Регенератори служать для нагрівання повітря та газу за рахунок тепла, яке переноситься з димом.

У ванну печі через завалочні вікна завантажуються шихта – металобрухт, руда, флюси. Шихта нагрівається за рахунок спалювання мазуту та природного газу. Дим, нагріте повітря, перш ніж потрапити в димохідну трубу, проходить через регенератор, приміщення з чисельними каналами, викладеними вогнетривкою цеглою. При цьому вогнетривка цегла нагрівається до температури близько 1400°C. Якщо, наприклад, дим проходить через ліву частину регенератора, то в той же час через його нагріту праву частину, проходить у піч повітря та газ. Через 20 хвилин відбувається автоматичне перемикання.

Ємність мартенівських печей коливається в широких межах: від 30 до 900 т. Із збільшенням ємності печі її продуктивність зростає.

По конструкції печі можуть бути стаціонарними та коливаючими, однованними та двохванними. Стаціонарні печі нерухомі. Коливні встановлені на котках. Це дає можливість її нахилити при виливанні сталі та шлаку.

В двохванних печах більш повно використовується тепло газів, які виходять в димохід. Коли в одній ванні відбувається нагрівання і плавлення шихти, то в другій сталь продувається киснем. Це зменшує кількість витраченого палива та кисню.

У залежності від розмірів печі, марки сталі, якості шихти тривалість плавки коливається від 3 до 18 годин. У мартенівських печах виплавляють якісну сталь з наперед заданим хімічним складом.

У залежності від складу шихти розрізняють скрап-рудний, скрап-процес і рудний процеси.

При скрап-рудному процесі в піч вводять 60 – 75% рідкого чавуну, 40 – 25% скрапу, до 15% залізної руди та підвищену кількість флюсу. Окислення домішок чавуну відбувається за рахунок кисню руди.

При скрап-процесі шихта складається з 60 – 70% сталюого металобрухту та 30 – 40% переробного чавуну в чушках. Цей процес здійснюють там, де немає доменних печей.

Якщо металічна шихта складається тільки з рідкого чавуну, а в піч в твердому стані завантажуються тільки залізна руда, то процес називається рудним.

Плавка при основному скрап-рудному процесі протікає в такій послідовності: заправка печі, завалка шихти, прогрів шихти, заливка чавуну, плавлення, кипіння, розкислення і випуск готової сталі.

Заправка печі полягає в її огляді, усуненні пошкоджень футеровки тощо. В підготовлену піч завантажують залізну руду та вапняк, прогрівають їх, а далі додають скрап. Потім повторно нагрівають і заливають в шихту розплавлений чавун, який взаємодіє з рудою і скрапом і приводить до окислення домішок та утворення шлаку. По закінченню плавлення шихти настає період кипіння сталі. У киплячу сталь додають залізної руди або вдувають у ванну кисень, що спричиняє інтенсивне утворення оксиду вуглецю. Потім на короткий час відключають подачу палива і повітря, що викликає зниження тиску в печі та бурхливе виділення окису вуглецю, який викликає пінення шлаку. Частина шлаку витікає через завалочні вікна в шлакові чашки. Це робиться з метою видалення сірки та фосфору. Для додаткового очищення металу від шкідливих домішок у піч завантажують вапняк і боксит або плавиковий шпат, які утворюють новий шлак. Потім знову включають газ і повітря. Відбувається реакція окислення домішок.

У період кипіння починають розкислення сталі, а закінчують у ковші при випуску сталі.

Якщо варять леговану сталь, то легуючі компоненти вводять в піч після розкислення металу.

Електросталеплавильний процес – найбільш прогресивний метод виробництва сталі. Він має ряд переваг у порівнянні з мартенівським і конвертерним. В електричних печах легко регулювати тепловий режим, плавку можна здійснювати при вищих температурах, достатніх для розплавлення тугоплавких елементів, сталь не забруднюється шкідливими домішками, які вносяться з паливом, плавка відбувається не в окислюючій атмосфері тощо. Єдине, що заважає широкому, запровадженню електropечей є дороговизна електроенергії. У даний час в електropечах вироблюється біля 10% сталі.

У сучасному металургійному виробництві застосовуються два типи електричних печей – дугові та індукційні.

Дугові печі працюють на використанні тепла дуги, яка виникає між графітними електродами 8 і металобрухтом (рис. 9.11).

Піч складається з циліндричного сталюого кожуха 4, викладеного вогнетривкою масою. Зверху піч має склепіння 6, яке футероване динасовим або хромомагнетитовим вогнетривким матеріалом. Збоку печі є завалочне вікно 9 і випускний отвір 2. У склепінні печі встановлені три вугільних електроди, які піднімають і опускають автоматично. До електродів підведений трифазний змінний струм. Об'єм печі – 200 – 400 т. Піч встановлена на спеціальних котках, що дає можливість повертати її при виливанні сталі.

В піч завантажують якісний металобрухт та флюси, опускають електроди та підключають їх до змінного струму. Між електродами та шихтою утворюється електрична дуга, яка дає температуру близько 3000°C. Відбувається плавлення шихти та окислення домішок. Під час плавки 2 – 3 рази зливають шлак, завдяки чому зменшують кількість шкідливих домішок.

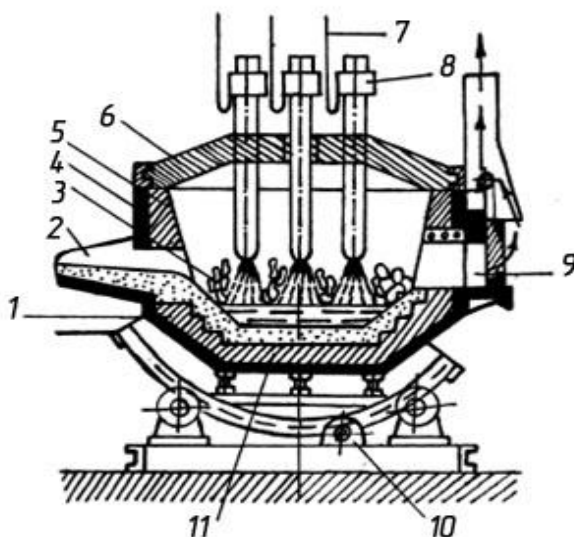


Рис. 9.11

Розкислення сталі проводять комбіновано: в піч спочатку завантажуються феросплави та алюміній разом з флюсами, потім після, утворення шлаку його розкислюють. При цьому відновлюється закись заліза в чисте залізо, яке переходить з шлаку в сталь і викликає знову перехід закису заліза з сталі в шлак. Це дає

практично повне розкислення сталі, до того ж реакція на межі шлак – сталь не забруднює сталь неметалічними включеннями.

Легуючі компоненти, які не окислюються (нікель, молибден) вводять в піч разом з шихтою. Ті ж легуючі елементи, які можуть легко окислитись в печі (хром, титан), вводять після розкислення сталі.

Тривалість плавки сталі в електродугових печах в залежності від їх ємності складає 4 – 6 годин.

В дугових електричних печах отримують високоякісні конструкційні, нержавіючі, жаростійкі сталі. В них менше сірки, фосфору та неметалічних включень, добра розкисленість. Але недоліком є те, що така сталь має надлишок азоту. В зонах дії електричної дуги, де температура сягає $4000 - 6000^{\circ}\text{C}$, утворюється атомарний азот, який добре розчиняється в розплавленій сталі, що приводить до зниження її якості. Крім того, в електродугових печах не можна отримати низьковуглецеву сталь, тому що при згоранні вугільних електродів виділяється вуглець, який переходить в сталь.

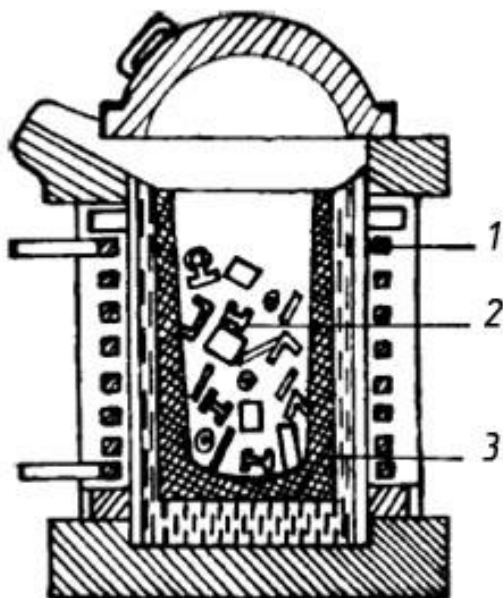


Рис. 9.12

Цих недоліків уникають при виплавці сталі в індукційних печах. Схема індукційної печі показана на рисунку 9.12.

Індукційна піч представляє собою тигель з вогнетривкого матеріалу 3, в який вмонтовано мідну трубчасту спіраль (індуктор) 1. Піч закривається вогнетривкою кришкою. Ємність печі – від десятків кілограм до 30 т.

В піч завантажують високоякісний металобрухт 2 з малим вмістом сірки та фосфору. Потім до індуктора підключають високочастотний струм (500 – 800 Гц), який виробляє, двигун-генератор. Індуктор в печі створює потужне високочастотне магнітне поле. У металобрухті виникають вихрові струми, які швидко нагрівають і плавлять його. У кінці плавки вносять флюси, які утворюють шлак. Шлакове покриття захищає метал від впливу атмосфери та зменшує розсіювання тепла.

Під дією магнітного поля відбувається інтенсивне перемішування сталі, що сприяє прискоренню плавки, отриманню однорідної за хімічним складом сталі та швидкому спливанню неметалічних включень. В кінці плавки проводять дифузійне розкислення. Перевага індукційних печей над дуговими полягає в тому, що в них можна отримати сталь високої якості та з низьким вмістом вуглецю. Крім того, в них при плавленні дуже мало вигорає легуючих елементів, менше азоту тощо.

Недоліками індукційних печей є висока собівартість сталі, мала продуктивність та відсутність можливості повною мірою очищати сталь від сірки та фосфору.

У сталеплавильних печах отримується значна кількість сталі. З неї треба виготовити різні заготовки для виготовлення профільних деталей (рельсів, кутників, двотаврів, швелерів тощо), для виготовлення листового металу, труб, прутків тощо. Для виготовлення заготовок сталь потрібно раціонально розлити. Відомі три способи розливки сталі у виливниці (зверху), сифоном (знизу) та неперервна розливка (рис. 9.13).

Виливниці – це чавунні (рідше сталеві) товстостінні форми для отримання сталевих злитків. Їх поперечний переріз вибирають в залежності від виду наступної обробки злитку. Для сортової прокатки частіше вибирають злитки квадратного перерізу, для листової зручніше злитки прямокутної форми, для ковки отримують злитки багатогранного або круглого перерізу. Вага

злитку може бути від 1 т до 10 – 12 т. Для окремих виробів вона може досягати 300 т.

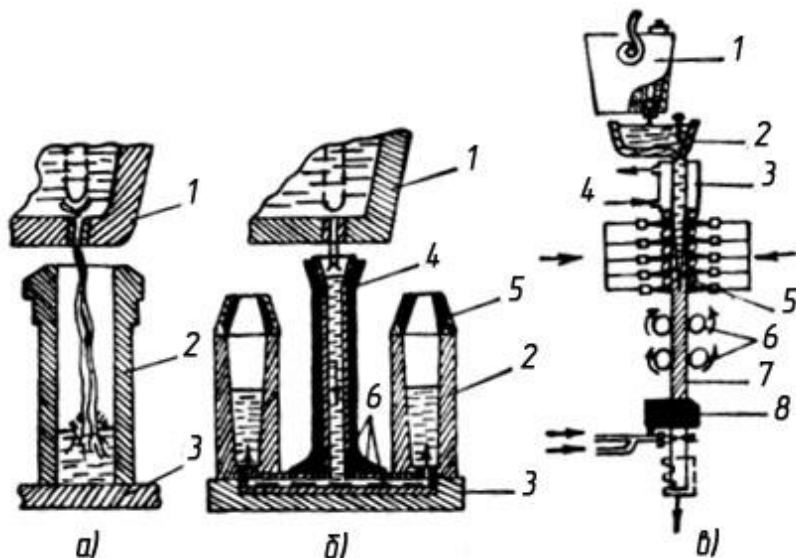


Рис. 9.13

Висота виливниць в 3 – 5 разів більша товщини. Для полегшення виймання злитків з виливниць їх вниз або вгору звужують. Для зменшення прибитої частини, де утворюється усадочна раковина, верхню частину виливниці «утеплюють» футерованою наставкою. Інколи цю наставку навіть підігрівають за допомогою електричного нагрівника.

Сталь з печей транспортують за допомогою спеціального ковша, який може вміщувати до 480 т. Він зварений із сталі. Із середини ковш футерований шамотом. У дні ковша є отвір, який зсередини закривається вогнетривкою пробкою. За допомогою спеціального важеля пробку можна відкрити і через отвір провести розливу сталі у виливницю.

При розливці зверху виливниці встановлюються одна біля іншої (рис. 9.13, а).

За допомогою мостового крану ковш встановлюється над виливницею, відкривається пробка і через отвір сталь виливається у виливницю. Після наповнення виливниці ковш відводять до слідуючої виливниці. Це простий спосіб розливки, але він має ряд

недоліків. По-перше, сталь не встигає відстоятись, струмінь сталі перемішує її майже до дна. По-друге, внаслідок попадання бризок металу на стіни виливниці поверхня злитку стає неякісною. По-третє, розливку зверху важко не тільки автоматизувати, а механізувати, тому процес розливки пов'язаний зі значною кількістю ручної праці.

Розливка сифоном теж здійснюється у виливниці, але сталь виливниці наповнюється знизу (рис. 9.13, б). Сталь з ковша 1 поступає в центральний стояк 4, а з нього розходить по виливницям, яких може бути декілька десятків.

Недоліком цього способу розливки є те, що сталь забруднюється неметалічними включеннями.

Найбільш прогресивним способом розливки сталі є неперервний. Його принципова схема зображена на рисунку 9.13, в.

Сталь з ковша 1 через проміжний ковш 2 поступає в бездонну виливницю – кристалізатор 3, який охолоджується водою. Знизу в кристалізатор встановлюють затравку. Сталь в кристалізаторі з'єднується із затравкою і кристалізується. За допомогою спеціальних роликів 6 затравка рухається вниз, поступово витягуючи затверділий злиток з кристалізатора. Остаточне затвердіння середини злитка відбувається в зоні вторинного охолодження 5 струменем води. У нижній частині за допомогою газового різака відрізають злитки необхідної довжини. Готові злитки квадратного або прямокутного перерізу (від 150×150 до 400×400) направляють на прокатку.

Установки для неперервної розливки сталі можуть бути одно- і багатострумкові.

Неперервна розливка сталі має ряд переваг перед іншими. Це перш за все продуктивність.

Питання для самоконтролю

1. Як добувають руду з надр Землі?
2. Як відбувається підготовка води до плавки?
3. Яка необхідність у будівництві великих доменних печей (5000 м³)?
4. Чим обумовлена конфігурація доменної печі?
5. Який із способів виробництва сталі є найбільш ефективним? Чому?
6. Які переваги неперервної розливки сталі над іншими?

7. В яких випадках використовують електрошлаковий переплав сталі?

Завдання для самостійної роботи

З'ясуйте чи впливає неперервна розливка на якість металевої продукції

ЛІТЕРАТУРА

1. Афтандіянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 1. Київ:2017, с.123.С 22-68
2. Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156
3. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025, С 15-19
4. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300
5. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. -Чернігів: 2001, С.139-162.
6. Гетта. В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. – Чернігів: с. 283.
7. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
8. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Львів: Світ, 2006, с.624.

Тема 10. Металургія кольорових металів

Руди для виготовлення міді

Підготовка руд для плавки

Плавка на штейн

Рафінування міді

Руди для виготовлення алюмінію, підготовка її до плавки

Отримання глинозему. Виробництво алюмінію та способи його очистки

Мідь у надрах землі в основному знаходиться у вигляді сульфідних та оксидних з'єднань, рідко в самородках.

Сульфідні руди включають халькопірит CuFeS_2 (мідний колчедан), халькозин CuS_2 та ін. Мідні руди бідні. Вони мають 1 – 5% міді. Промислово переробляються руди, в яких 0,4 – 0,8% міді. Мідні руди, як правило, містять цінні елементи (золото, срібло, кобальт тощо), попутне виробництво яких здешевлює витрати.

Мідь можна виробляти двома способами: пірометалургійним і гідрометалургійним. Гідрометалургійний спосіб (вилужування) застосовують при виробництві міді з бідних окислених руд. Широкого застосування він не набув.

Пірометалургійний спосіб полягає у виробництві міді шляхом виплавки з мідних руд. Він включає такі етапи: збагачення руди, обпал руди, плавка на штейн, отримання чорнової міді, рафінування міді.

Збагачення мідних руд проводять тільки тоді, коли в них вміст міді не перевищує 3 – 5%. Найбільш широко для збагачення руд застосовують метод флотації, який заснований на різному змочуванні водою кусочків руди, які містять мідь (10 – 35%), і кусочків пустої породи. Флотаційна установка показана на рисунку 10.1.

Вона складається з ванни, дно якої нахилене під кутом до горизонту і встелене полотном 1. Нижче полотна знаходяться фурми 2 для подачі повітря. У ванну заливають воду і в ній розчиняють спеціальний реагент. При продуванні повітря через полотно утворюються бульбашки, які обліплюють тільки ті кусочки завантаженої

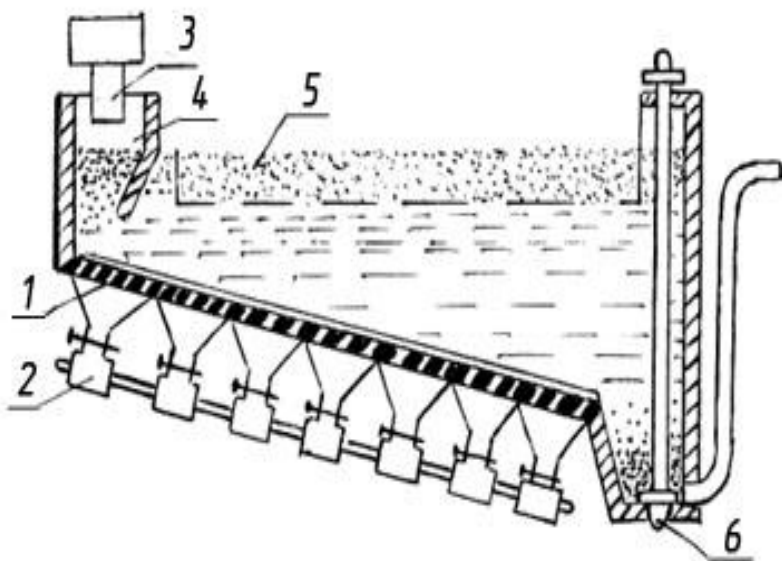


Рис. 10.1

руди, які містять 10 – 35 % міді. Завдяки Архімедовій силі ці кусочки руди спливають на поверхню води 5. Кусочки пустої породи осідають на дні ванни. З піни фільтрують рудний концентрат. Пусту породу видаляють через спеціальний отвір 6.

Рудний концентрат подають на обпал у спеціальні багатоподові печі (рис. 10.2, а) або обпалюють методом в киплячому шарі (рис. 10.2, б).

При обпалі концентрату відбувається розпад і окислення сульфідів, видаляється до 50 % сірки. При цьому утворюється SO_2 , який використовується для виробництва кислоти.

Обпалена руда подається у спеціальні печі, де плавиться на штейн (рис. 10.3).

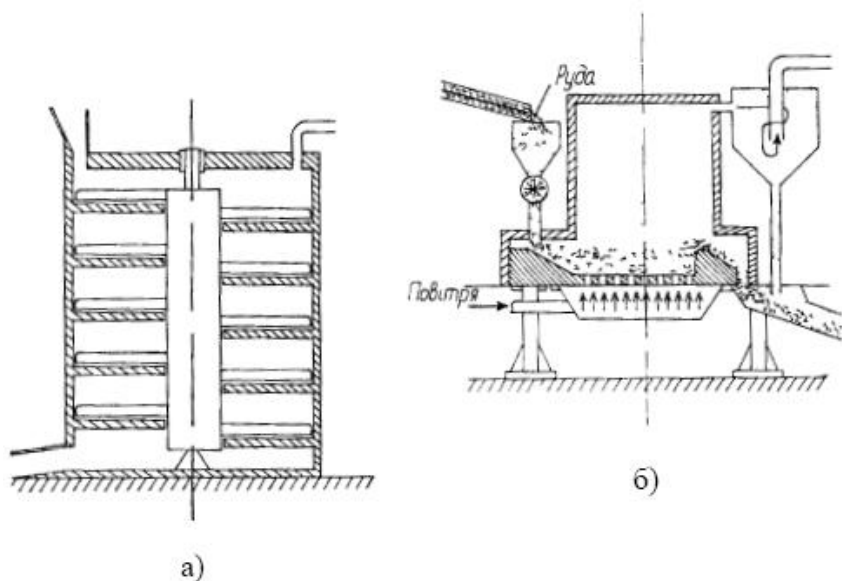


Рис.10.2

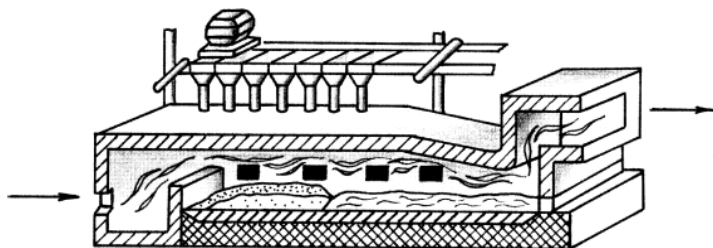


Рис. 10.3

У печі досягається температура близько $1500 - 1600^{\circ}\text{C}$. У результаті плавки на дні печі утворюється розплавлений штейн – сплав, який складається в основному з сульфіду міді і сульфіду заліза. В ньому міститься 20 – 60% міді, 10 – 80% заліза і 20 – 25% сірки.

У розплавленому стані штейн поступає в спеціальні конвертери на переробку в чорнову мідь (рис. 10.4).

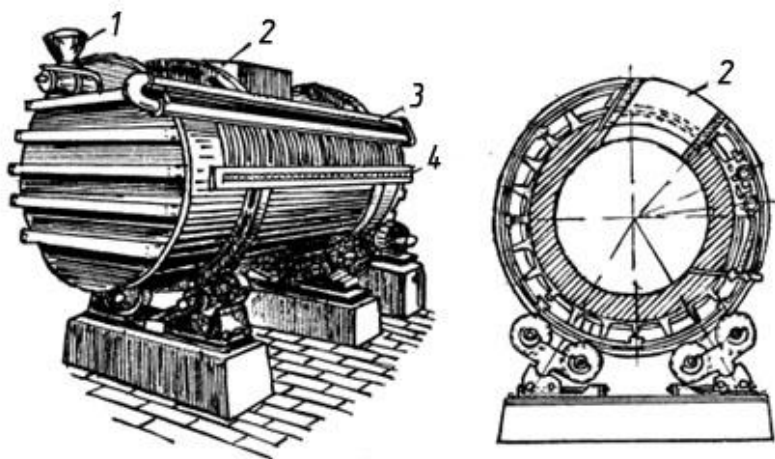


Рис. 10.4

Конвертер встановлений на опорних роликах і може повертатись в необхідне положення. Через горловину 2 в конвертер заливають штейн. На його поверхню через горловину завантажують пісок – флюс для виведення в шлак окису заліза. Потім через спеціальні фурми, які розташовані вздовж конвертера, подають повітря. Конвертер повертають в робоче положення. Повітря продувають біля 30 годин. В результаті окислення отримується чорнова мідь, яка має біля 1,5 – 2% домішок.

Чорнову мідь з конвертера розливають у плити і направляють на рафінування (очистку від домішок).

Рафінування міді здійснюють двома способами – електролітичним і вогневим.

Електролітичне рафінування проводять у дерев'яних або бетонних ваннах, які футеровані листовим свинцем, пластмасою або іншими кислотостійкими матеріалами. Електролітом служить водний розчин сірчаної кислоти. Анодами служать пластини з чорної міді. Катодами – тонкі листи, (0,15 – 0,7 мм) з чистої міді.

При проходженні електричного струму аноди поступово розчиняються, а на катоді осідають атоми міді. Далі катодна мідь переплавляється і розливається в злитки.

Електролітична мідь має чистоту 99,95%. Для отримання міді більшої чистоти проводять повторний електроліз.

Вогневим способом отримують менш чисту мідь. Його проводять в спеціальних печах. Процес рафінування включає два періоди – окислювальний і відновлювальний. При цьому розплав продуватиметься через сталні труби повітрям. Утворений оксид міді взаємодіє з домішками, окислює їх. Оксиди впливають в шлак. Потім припиняють подачу повітря і приступають до відновлення окисленої міді. Для цього у ванну опускають спочатку сирі, а потім сухі березові або соснові колодки. При цьому відбувається інтенсивне виділення пари і газоподібних вуглеводів, які відновлюють оксиди міді. Продуктом вогневого рафінування є технічна мідь, яка містить 0,3 – 3,5% домішок. З неї відливають злитки для прокатки або анодні плити для електролітичного рафінування. Злитки також використовують для виробництва бронзи та латуні.

Виробництво алюмінію

Алюміній – найбільш поширений метал в надрах землі, він входить до складу біля 250 мінералів. Проте в даний час для виробництва алюмінію використовують тільки деякі гірські породи, які багаті глиноземом Al_2O_3 . До них відносяться боксити, алуніти та нефеліни. Основною алюмінієвою рудою є боксити. Вміст глинозему в них 40 – 60%. Основними домішками в бокситах є кремнезем, окис заліза і окис титану. Якість бокситу залежить від вмісту глинозему.

Сучасне виробництво алюмінію включає два процеси: виробництво глинозему з бокситів і отримання металічного алюмінію шляхом електролізу (рис. 10.5).

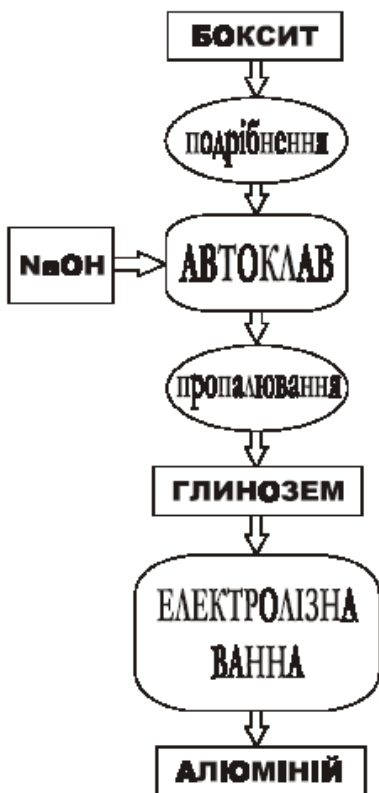


Рис. 10.5

Найбільш поширеним способом виробництва глинозему є лужний. Спочатку боксити сушать і подрібнюють до порошку. Подрібнений боксит завантажують у автоклав і додають розчин NaOH. В автоклав суміш ретельно перемішується, внаслідок чого утворюється пульпа. Автоклав представляє собою герметичні сталі посудини циліндричної форми діаметром біля 2 м і висотою 10 – 12 м.

Потім пульпу нагрівають перегрітим паром до температури 150 – 250°C під тиском 5 – 10 атм. Внаслідок хімічної реакції утворюється алюмінат натрію, який добре розчиняється у воді та переходить у розчин. Домішки випадають в осад. Отриманий розчин розбавляють водою і фільтрують.

Далі розчин подається на розкладення (декомпозицію): алюмінат натрію піддається гідролізу з виділенням в осад кристалів гідроксиду алюмінію $\text{Al}(\text{OH})_3$. Для прискорення процесу вводять затравку – свіжоосаджені кристали $\text{Al}(\text{OH})_3$. Після декомпозиції осад промивають і зневозжують (нагрівають в трубчатих печах до $1200 - 1500^\circ\text{C}$. Отримують глинозем.

Металічний алюміній отримують шляхом електролізу глинозему, розчиненого в розплавленому кріоліті Na_3AlF_6 .

Електроліз проводять у спеціальних ваннах (рис. 6.21). Ванна виготовлена з вугільних блоків 3. У дні ванни вмонтований катод 5. Зверху у ванну встановлюється вугільний анод 10. До анода і катода підключається постійний струм, який використовується як для електрохімічного процесу, так і для розігріву електроліту ($930 - 950^\circ\text{C}$).

У результаті електролізу на дні ванни зосереджується алюміній, а зверху утворюється кірка шлаку. Розплавлений алюміній видаляють вакуум-ковшом або сифоном.

Отриманий первинний алюміній піддають рафінуванню, в процесі якого з нього видаляють неметалічні включення (глинозем, вугілля тощо), металічні домішки (магній, натрій, кальцій) і гази. Рафінування здійснюється в ковшах шляхом продування металу газоподібним хлором. Таким чином отриманий алюміній розливають на чушки або злитки для виробів, які виготовляють тиском.

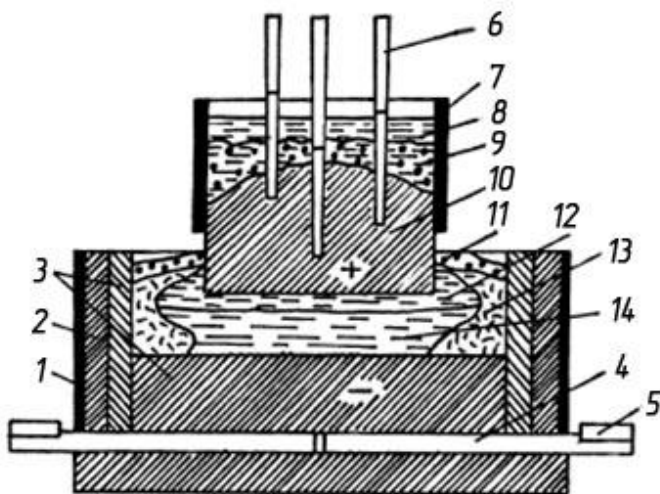


Рис. 10.6

Більш чистий алюміній отримують шляхом електролізу (домішок 0,05 – 0,005%).

Алюміній особливої чистоти (А999 і чистіший) отримують методом зонної перекристалізації. Суть цього методу полягає в тому, що при перекристалізації атоми алюмінію займають місця в кристалічній решітці, а атоми домішок відтісняються в кінець заготовки.

При зонній перекристалізації стержень 1 проходить через вузьку електричну пічку 2, яка дає температуру, близьку до температури плавлення алюмінію (рис. 10.7).

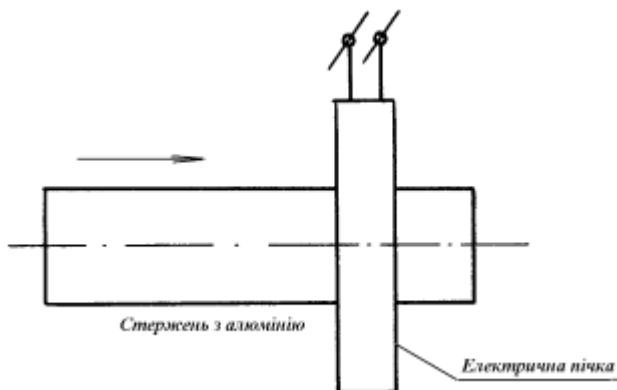


Рис. 10.7

При повільному проходженні стержня через пічку в зоні нагріву відбувається перекристалізація алюмінію. Домішки відтісняються в кінець стержня, який після завершення очистки відрізають. Після зонної плавки отримують метал чистотою 99,9997%.

Питання для самоконтролю

1. До якого виду металургії відноситься виробництво міді та алюмінію?
2. Як відбувається підготовка мідної руди до плавки?
3. Назвіть основні етапи виготовлення чорної міді.
4. Як відбувається рафінування міді?
5. Назвіть основні руди що використовуються для промислового виготовлення алюмінію?
6. З'ясуйте основні етапи виготовлення глинозему.
7. Який спосіб застосовується для очистки алюмінію від домішок?

Завдання для самостійної роботи

Поясніть фізичний зміст очистки алюмінію від домішок методом зонної плавки

ЛІТЕРАТУРА

1. Афтандіянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 1. Київ:2017, с.123.С 87-95
2. Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріознавство Тернопіль:2023 с.156
3. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025,С 20-21
4. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300
5. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. -Чернігів: 2001, С.163-170.
6. Гетта. В. Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. – Чернігів: с. 283.
7. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
8. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Львів: Світ, 2006, с.624.

Тема 11. Поняття про формоутворення деталей.

Формоутворення деталей тиском.

Види формоутворення

Холодне і гаряче деформування металів

Основні закони обробки металів тиском

Прокатка металу. Прокатні стани. Види прокатної продукції

Пресування. Ковка. Штампування. Волочіння. Технологія проведення. Види продукції

Обробка металів тиском (ОМТ) – це один з прогресивних способів формоутворення деталей, який базується на пластичній деформації металів.

Процеси ***ОМТ*** відрізняються від ливарного виробництва і особливо обробки різанням високою продуктивністю, економною витратою матеріалу та покращенням механічних властивостей металу.

Тиском виготовляють профільні вироби (рейки, кутники, двутаври, швелери тощо) та листовий метал.

В основі обробки металів тиском лежить три закони:

1. **Об'єм заготовки до обробки тиском дорівнює об'єму виготовленого виробу** (закон рівності об'ємів).

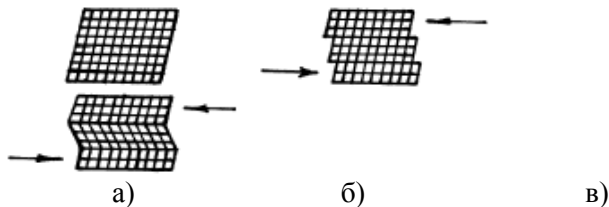
2. **При пластичній деформації кожна точка в металі переміщується в сторону найменшого опору** (закон найменшого опору).

3. **Пластична деформація настає тоді, коли прикладена напруга рівна або більша напруги межі текучості металу.**

Кожний з перелічених законів на перший погляд є очевидним, проте має суттєве значення при розрахунках на практиці. Закон рівності об'ємів дозволяє брати необхідну кількість матеріалу для виготовлення того чи іншого виробу. Хоча на практиці треба враховувати незначну втрату металу на окалину (1 – 2%). Знання закону найменшого опору дозволяє орієнтуватись, куди буде переважно деформуватись метал при прикладенні зовнішнього тиску. Наприклад, якщо взяти з металу заготовку кубічної форми і наносити по ній удари молотом, то, користуючись цим законом, не важко відповісти, як буде змінюватись форма заготовки і чому в кінцевому результаті буде точний круг.

Третій закон *ОМТ* пов'язаний з силовою характеристикою деформації. Найкращі умови зміни форми заготовки у форму виробу виникають, коли метал тече, тобто тоді, коли прикладене зусилля не тільки більше за необхідне для пружної деформації, а й здатне викликати явище текучості металу.

Пластична деформація металу може відбуватись ковзанням і подвійникиванням (рис. 11.1).



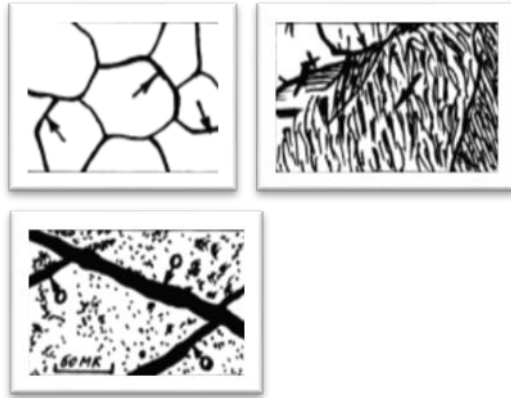


Рис. 11.1

Ковзання являє собою зсув однієї частини металу відносно іншої вздовж певних кристалографічних площин і напрямків. Зсув відбувається, як правило, по найбільш щільноупакованим атомним площинам і напрямкам.

При двойникуванні деформація зосереджується в невеликому об'ємі металу, причому частина, яка зміщується, є ніби дзеркальним відображенням частини, яка не деформувалась.

Якщо металам з решітками *ГЦК* і *ОЦК* більш властива деформація ковзанням, то з *ГЦУ* решіткою – двойникування. Деформація двойникуванням в металах з решітками *ГЦК* і *ОЦК* може проявитись лише при низьких температурах і високих швидкостях деформації.

Металографічне вивчення механізму деформації показало, що по мірі деформації зерна повертаються і витягуються в напрямку діючого навантаження і поступово набувають однакову або близьку кристалічну орієнтацію (текстуру), структура стає волокнистою, а квазіізотропний метал – анізотропним. Це явище називається наклепом.

При цьому метал має найбільшу міцність. Коли ж перейти межу наклепу, то виникають тріщини, розшарування металу. Тому подальша деформація можлива лише при відновленні (рекристалізації) структури спеціальним відпалом.

Деформування металу в значній мірі залежить від температури. Нагрів металу сприяє зменшенню опору деформації та підвищенню його пластичності.

Розрізняють холодну та гарячу деформації, які здійснюються відповідно при температурах нижче і вище температури рекристалізації. При гарячій обробці метал практично не наклепується, а при холодній зміцнення росте в залежності від ступені деформації. Тому при холодній обробці для отримання великої зміни форми застосовують проміжний рекристалізаційний відпал.

Гарячій обробці підлягає більшість металів та сплавів, тому що це сприяє зменшенню енергетичних витрат. Проте при гарячій обробці на поверхні металу утворюється окалина, яка при деформації вдавлюється в середину металу і приводить до надривів, тріщин.

Вибір холодної і гарячої *ОМТ* залежить від багатьох факторів. Він здійснюється в кожному конкретному випадку окремо.

Зміна механічних властивостей металу залежить від швидкості деформації. Збільшення швидкості деформації частіше приводить до росту зміцнення і зсуву гарячої обробки в бік більш високих температур. Пластичність змінюється не однозначно – можливе як її підвищення, так і зниження.

Наприклад, сама по собі пластична мідь при малих швидкостях деформації в області температур 300 – 600°C стає дуже крихкою, а підвищення швидкості деформування приводить до усунення провалу пластичності. Аналогічно відбувається і в латуней, нікелю, алюмінію та ін.

Будь-який процес *ОМТ* характеризується осередком деформації та коефіцієнтом деформації.

Розглянемо для прикладу осередок деформації і його параметри при повздовжній прокатці між двома валками (рис. 11.2).

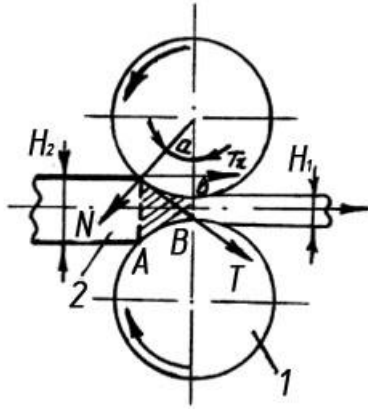


Рис. 11.2

Осередок деформації (на рисунку заштрихована ділянка) характеризується дугою захвату AB і кутом захвату α . Зміну висоти $H_2 - H_1$, ширини $B_1 - B_0$ і довжини $L - L_0$ після деформації називають відповідно абсолютним стисненням, уширенням та витяжкою. Значно зручніше висотну, поперечну та поздовжню деформацію заготовки характеризувати відповідними коефіцієнтами:

$$\text{стиснення } \alpha = \frac{H_2}{H_1}, \text{ уширення } \beta = \frac{B_1}{B_0} \text{ і витяжки } \mu = \frac{L}{L_0}.$$

Ці коефіцієнти зв'язані між собою, оскільки об'єм заготовки до деформації рівний об'єму після деформації.

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{H_2 B_0 L_0}{H_1 B_1 L_1}, \quad \frac{H_2}{H_1} = \frac{B_1 L_1}{B_0 L_0}, \quad \alpha = \beta \mu.$$

Виходячи з характеру обробки виділяють такі види *ОМТ*: прокатку, пресування, ковку, штамповку та волочіння.

Прокаткою називають процес *ОМТ* валками прокатного стану, які обертаються. Розрізняють поздовжню, поперечну та косу прокатку. При поздовжній прокатці (рис.11.3, а) метал стискується між валками, які обертаються назустріч один одному і переміщається перпендикулярно до їх осі. Це самий поширений вид прокатки.

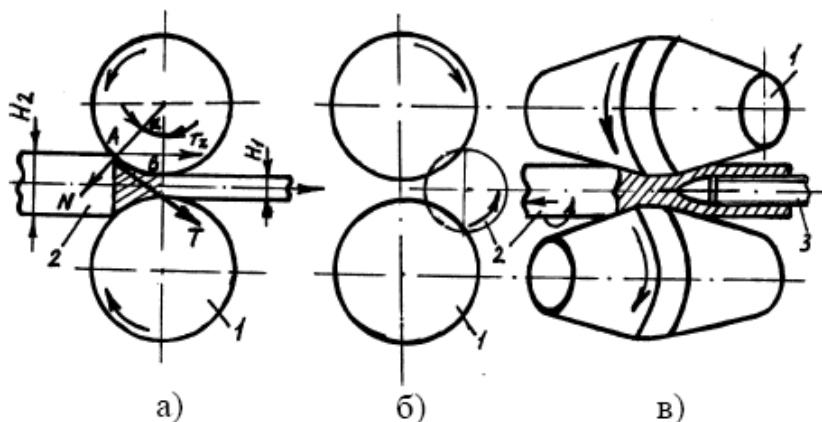


Рис. 11.3

Поперечна прокатка металу (рис. 11.3, б) здійснюється між валками, які обертаються в одному напрямі. Заготовка отримує обертальний рух в напрямі протилежному обертанню валків. Таким способом виготовляють періодичний прокат.

При косій прокатці (рис. 11.3, в) бочкоподібні валки, які розташовані під кутом один до іншого і обертаються в одному напрямі, надають заготовці обертальний і поступальний рух. Цей спосіб застосовують для прошивки заготовок з метою отримання гільз для виготовлення труб.

Прокатку здійснюють на прокатних станах, які складаються з однієї чи декількох робочих кліток. У клітках розміщують гладкі або калібровані валки. У валках з гладкою поверхнею прокатують листовий метал. Для прокату сортового металу (рейок, кутників, швелерів, двутаврів, дроту) на робочій поверхні валків нарізають струмки. Пара валків з струмками утворює калібр.

Валки виготовляють з чавуну та сталі, інколи їх поверхню покривають твердими сплавами. Валки встановлюють у підшипниках на опорах станини. Приводять в рух за допомогою електродвигуна через редуктор.

По кількості та розташуванню валків в робочій клітці стани поділяють на: двовалкові (дуо), тривалкові (тріо), чотиривалкові (квадро), багатовалкові та універсальні.

Дуостани можуть бути реверсивні та неревверсивні. На реверсивних станах прокатують блюми та сляби, а неревверсивних – заготовки, сортовий прокат, листи, стрічки. Тріостани дозволяють вести прокатку в одну сторону між нижніми і середніми валками, а в зворотну сторону – між середнім і верхнім валками. На них прокатують рейки, балки, тонкий лист тощо. Квадростани мають два робочих (малого діаметру) і два опорних (великого діаметру) валки. Ці стани застосовуються для холодної та гарячої прокатки листового металу. Багатовалкові стани мають два робочих валки, які опираються на провідні та опорні валки. Це забезпечує велику жорсткість конструкції та запобігає прогинанню робочих валків. Застосовують їх для виготовлення тонкого листового металу.

За кількістю кліток прокатні стани розділяють на одно- і багатоклітчні. Розташування кліток може бути лінійним (в одну, дві та більше ліній), послідовним, шахматним, неперервним (прокатка проходить одночасно в декількох клітках), напівнеперервним.

По призначенню стани можна розділити на ті, які виробляють заготовки для переробки їх в готовий прокат і ті, які виготовляють готові вироби.

Вихідним продуктом прокатного виробництва є злитки різної форми, розмірів і маси. Їх отримують при розливці сталі у виливниці або неперервним способом. Із злитків отримують напівпродукт у вигляді блюмів і слябів. З блюмів отримують сортовий прокат, а з слябів виготовляють листовий метал.

Для прокатки блюмів застосовують стани блюмінги, слябів – слябінги.

Прокатні стани мають велику кількість допоміжних машин, які можна розділити на дві основні системи. Перша система допоміжних машин служить для виконання всіх допоміжних операцій, які пов'язані з прокаткою, розрізанням і транспортуванням прокатної продукції, а друга система – для кінцевої обробки металопродукції. До основних машин першої системи відносять: рольганги для передачі продукції від нагрітих печей до першої клітки стану, для транспортування металу після прокатки до печей для розрізання, до холодильників; маніпулятори та кантувателі, які обслуговують першу клітку стану; підйомно-качаючі столи та кантувателі у другій лінії стану, салазкові пили; машини для нанесення клейма; гибочні машини; холодильники. Всі

ці машини забезпечують один ритм виконання технологічних операцій.

Друга система допоміжних машин служить для кінцевої обробки продукції прокату. Наприклад, при прокатці рейок їх торці треба фрезерувати, загартувати, просвердлити отвори тощо. Ці машини розташовані по принципу послідовності виконання технологічних операцій.

Особливу групу прокатних станів становлять трубопрокатні стани. Вони розділяються на три групи: прошивні, розкаточні та кінцевої обробки.

При прошивці заготовки на стані поперечно-гвинтової прокатки в осьовій зоні металу виникають внутрішні розтягуючі напруги, які досягають значних величин, викликають самовільне утворення порожнин, що приводить до браку. Для отримання внутрішнього отвору необхідного діаметру та з рівною поверхнею застосовують оправку. Вона представляє собою стержень з пробкою на кінці. Оправка вставляється між валками на шляху руху заготовки, а її задній кінець закріплений у спеціальному упорі. При русі вперед заготовка на штовхується на оправку. При цьому відбувається розширення і вирівнювання отвору в заготовці.

На розкаточних станах отримують безшовні труби, труби точного діаметру.

Після прокатки на розкаточних станах труби поступають на стани кінцевої обробки. Вони бувають обкаточні, калібровочні та редуційні.

Обкаточний стан призначений для розкатки стінки труби та поліровки зовнішньої та внутрішньої поверхонь для отримання рівномірної товщини стінки та однакового діаметра труби по довжині. Калібровочні стани встановлюються за обкатними. Вони призначені для усунення овальності та отримання труб заданого діаметру. Редуційні стани дають можливість отримувати труби без оправки з метою зменшення їх діаметру.

Зварні труби виготовляють на трубозварочних станах. Процес отримання труб полягає в тому, що спочатку виготовляється металічна полоса, а потім з неї гнеться труба і зварюється. Зварюють труби кузнечною сваркою, хоча можна зварювати і електродуговою сваркою.

Останнім часом набувають поширення гнуті профілі. Їх застосування замість зварних конструкції в будівництві, що

дозволяє економити до 30 % металу. Гнуті профілі виготовляють неперервним способом на багатокліткових ролико-гибочних станках з сталюого листа, кутників, швелерів та іншого прокату.

Періодичний прокат – полоса змінного перерізу по довжині, заготовки для штамповки деталей з місцевим потовщенням, лопатки, труби, осі вагонів – отримують на станах поперечної прокатки, їх застосування дає економію до 30% металу.

У даний час ведуться роботи по удосконаленню прокатного виробництва. Так, розробляються конструкції прокатних станів з підведенням ультразвуку до валків, що дозволяє підвищити ресурси пластичності металу та зменшує енергетичні витрати. Все ширшого застосування знаходить ідея поєднання лиття з деформацією полоси у валках. В даний час освоєна беззлиткова прокатка алюмінію, міді та їх сплавів. Наприклад, заготовки можна отримувати, заливаючи рідкий алюміній в обод шківу, який має канавки (струмки). Рідкий метал і шків поливається водою. Метал кристалізується, а отримана заготовка поступає на прокатний стан.

Беззлиткова прокатка має ряд переваг перед іншими способами: мала втрата металу, висока продуктивність, спрощений процес отримання прокату.

Пресування – це вид *ОМТ*, при якому технологічний процес заключається у видавлюванні металу пуансоном із закритого контейнера через отвір у матриці. Профіль виробу визначається отвором у матриці.

Пресуванням виготовляють прутки діаметром 5 – 300 мм, труби з внутрішнім діаметром 15 – 700 мм і товщиною стінки 1,25 – 50 мм. Цим способом можна отримати вироби складної форми, які не можна виготовити іншими способами *ОМТ*. Виготовлена пресуванням продукція відрізняється точністю розмірів. М'яка схема напруженого стану дозволяє деформувати на 85 – 90% навіть малопластичні і труднодеформуємі метали та сплави.

Розрізняють пряму, зворотну та з боковим витіканням схеми пресування (рис. 11.5).

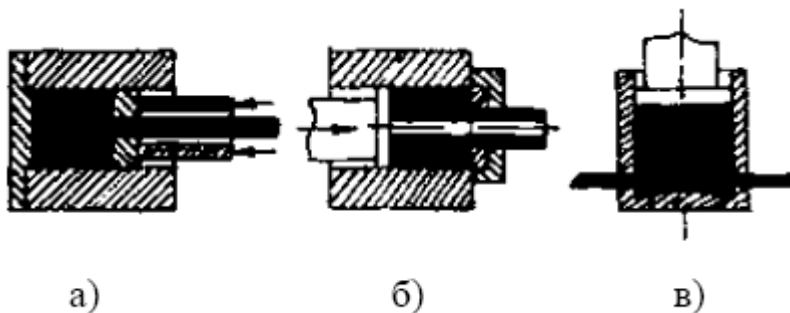


Рис. 11.5

При прямому методі (б) напрям руху металу та руху пуансона співпадає. При зворотному (а) метал рухається в протилежному напрямку до руху пуансона. В третій схемі пресування метал рухається під кутом до руху пуансона (в). Зворотний метод пресування більш економний за прямий – зменшуються відходи недеформованого металу, зменшують ся зусилля пресування, практично відсутнє ковзання заготовки по стінкам контейнера.

Серед високопродуктивних методів пресування слід відмітити гідропресування (гідроекструзію) рідиною високого тиску та пресування з використанням енергії вибуху.

Ковка металлу це вид *ОМТ* при якому задану форму та розміри виробу отримують багатократною дією зусилля на нагріту заготовку.

Вихідним матеріалом для ковки виробів служать злитки та різний прокат.

Розрізняють ковку в штампах і без штампів, вільну ковку. При вільній ковці переміщення деформованого металу не зустрічає опору з боку штамп. Цим способом можна ковати злитки масою до 250 т і більше.

Крім того, ковку підрозділяють на ручну та механічну. Ручну ковку здійснюють молотом на наковальні. Застосовують її для індивідуального виготовлення дрібних виробів або при ремонтних роботах. Механічну ковку проводять за допомогою спеціальних молотків та пневматичних і гідравлічних пресів. Молотки використовують для виготовлення виробів середніх розмірів, а преси – для виготовлення великих виробів. Всі типи молотів і

пресів мають рухомі (баба і верхній бойок) і нерухомі (шабот і нижній бойок) частини.

Ковати можна відливки та катаний метал. При ковці литого металу процеси перетворення дендритної будови металу в зернисту та поява волокнистої структури в цілому не відрізняється від аналогічних процесів при прокатці металу.

В процесі ковці можна отримати вироби складної форми і несиметричної, зігнутої, з відростками тощо. Ковкою отримують деталі не тільки необхідної форми, точних розмірів і з чистою поверхнею, але й із заданими властивостями в необхідному напрямку.

Це вид *ОМТ*, при якому формоутворення виробу відбувається в спеціальних пристроях – штампах. Штамповкою виготовляють різноманітні вироби і кузовні деталі автомашин, картери двигунів внутрішнього згоряння, частини парових котлів, поковки, посуд тощо.

Штамповку розділяють на листову та об'ємну.

Листовою штамповкою виготовляють плоскі або просторові тонкостінні вироби з сталі, кольорових металів та сплавів.

Суть листової штамповки полягає в наступному. Лист металу кладуть на матрицю, яка має порожнину, форма і розміри якої відповідають формі та розмірам зовнішньої поверхні виробу. По краях цей лист металу спеціальним пристроєм закріплюється. Потім пуансоном метал вдавлюється у матрицю. Пуансон має форму та розміри внутрішньої частини виробу. При цьому метал, внаслідок пластичної деформації, «вкладається» у матрицю.

Метал, з якого виготовляють виріб, може бути холодний і нагрітий. Відповідно розрізняють холодну та гарячу, штамповку. При холодній штамповці використовують листові заготовки товщиною від сотих долей до 4 мм, при гарячій – товщиною більше 4 мм.

Вироби, виготовлені листовою штамповкою, відрізняються високою точністю і не потребують подальшої обробки на металорізючих верстатах. Операції листової штамповки поділяються на розділяючі (відрізання, вирубка, пробивка тощо) і формозмінюючі (гибка, витяжка, формовка, відбортовка тощо).

Складність листової штамповки полягає в забезпеченні рівномірної витяжки металу по всій площі. Особливо це стосується виробів з вертикальними стінками. Тому ведуться пошуки заміни

пуансона середовищем, яке б створювало рівномірний тиск по всій площі листка металу.

Можна, наприклад, здійснити електрогідравлічну штамповку. Короточасний електричний розряд в рідкому середовищі створює ударну хвилю, тиск якої досягає декількох тисяч кілопаскалей. При такому тиску можна здійснити штамповку навіть малопластичних металів.

При виготовленні крупногабаритних виробів з товстого листового металу можна застосовувати штамповку вибухом. Під час вибуху ударна хвиля створює величезний тиск на лист металу, що спричинює зміну його форми у відповідності з порожниною у штампі. Штамповкою вибухом можна виготовити вироби навіть з високоміцних та нержавіючих сталей.

Об'ємною штамповкою виготовляють об'ємні вироби, поковки. При цьому використовують штампи з порожнинами, форма і розміри яких відповідають формі та розмірам виробу. Якщо виріб симетричний, то штампи однакові. Наприклад, при виготовленні слюсарного молотка у нижній штамп кладуть нагріту заготовку, а таким же верхнім за допомогою преса давлять на заготовку. Вона деформується і заповнює простір у штампах.

Волочіння – це процес *ОМТ*, при якому метал протягується через отвір спеціального інструменту – волоку (фільєру). В результаті процесу волочіння заготовка обжимається, тобто змінює профіль та розміри поперечного перерізу і збільшується в довжину. Волочіння проводиться через одну або декілька волок. Коефіцієнт витяжки за один прохід складає 1,2 – 1,6 при обжиму на 16 – 40%.

Волочінням виготовляють дріт діаметром від декількох міліметрів до 10 мм і більше, труби різних діаметрів, а також точні фасонні профільні вироби різного призначення.

Вироби, які вироблені волочінням, мають велику точність і чистоту поверхні. При волочінні завдяки наклепу значно підвищуються механічні властивості металу.

Волоки виготовляються з сталі У8, У12, Х12М, твердих сплавів ВК2, ВК3, а для отримання тонкого дроту (менше 0,3 мм) – з алмазу.

Волочіння може відбуватись в холодному і гарячому стані із значним змащенням. Вироби з алюмінію, міді та їх сплавів, сталі волочать при кімнатній температурі з проміжними відпалами для

зняття наклепу. Крихкі метали (молібден, вольфрам та ін.) обробляють в гарячому стані в захисній атмосфері або у вакуумі.

Для зниження зусиль при волочінні останнім часом застосовують ультразвук.

Волочіння відбувається на волочільних станах, які складаються з волоки та тягнучих пристроїв. Волочильні стани в залежності від принципу роботи тягнучого пристрою можуть бути двох видів: з прямолінійним рухом металу і з намотуванням на барабан. Стани з прямолінійним рухом оброблюваної заготовки застосовують для волочіння або калібрування прутків, труб та інших виробів. До них належать ланцюгові та рейкові волочільні стани. Стани з намотуванням на барабан застосовують при виготовленні дроту, спеціальних профілів та тонких труб.

Прямолінійні стани можуть бути одно- і багатопоточні (до 5 виробів одночасно). На барабанних станах здійснюється процес як однократного, так і багатократного волочіння. Стани для багатократного волочіння мають від 6 до 20 – 30 волок і призначені для отримання тонких і ультратонких профілів.

Питання для самоконтролю

1. Яке значення мають основні закони деформування для металургійної практики?
2. При якій температурі проводиться холодна прокатка металів?
3. Якої температури треба дотримуватись при гарячій прокатці металів
4. В яких випадках рекомендується використовувати холодну прокатку металів, а в яких гарячу?
5. Для виготовлення яких деталей чи заготовок використовується пресування?
6. Яка різниця між пресуванням і штамповкою металів?
7. Які вироби виготовляють методом волочіння?

Завдання для самостійної роботи

З'ясуйте які нові способи *ОМТ* використовуються в сучасній металургії

ЛІТЕРАТУРА

1. Бодрова Л.Г. Технологія конструкційних матеріалів та матеріознавство Тернопіль:2023 с.156
2. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025, С 22-23
3. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300
4. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. -Чернігів: 2001, С.171-181.
5. Гетта. В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. – Чернігів: с. 283.
6. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
7. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Львів: Світ, 2006, с.624.

Тема 12. Формоутворення деталей способом лиття.

Поняття про лиття в піщано-глиняні форми

Спеціальні види лиття:

-кокільне лиття

-лиття під тиском

-лиття в оболонкові форми

-відцентрове лиття

-лиття по виплавляемим моделям

-лиття на заморожуванням

-лиття вакуумним всмоктуванням

-лиття вижиманням

-прокатка рідкого металу

У машинобудуванні застосовується декілька способів формоутворення деталей – зняттям стружки із заготовки (різанням), тиском (ковкою, штамповкою, пресуванням, прокаткою тощо) та литтям. Доля деталей виготовлених литтям в сучасних машинах і обладнанні складає біля 50%.

Лиття – відносно дешевий спосіб виготовлення деталей. У порівнянні з обробкою різанням він значно економічніший. Економиться метал, час. У нього є суттєва перевага і над обробкою

тиском – литтям можна виготовити значно складнішої форми деталі, ніж при обробці тиском.

Галузь машинобудування, яка займається виготовленням деталей шляхом заливки металу у форму, порожнина якої має задану форму та розміри, називається **ливарним виробництвом**.

Для організації лиття деталей треба мати різноманітні пристрої: моделі, форми, стержньові ящики, стержні тощо.

Модель – це ливарний пристрій, який виготовлений з легко оброблюваного матеріалу (деревина, алюміній, пластмаси тощо), точно копіює форму деталі, а розміри більші за розміри деталі на величину припуску.

Припусків на модель є декілька.

Припуск на усадку металу. Нагрітий (розплавлений) метал після охолодження зменшується у розмірах. Відливки, наприклад, з сірого чавуну дають усадку рівну 1%, сталі – 2%, у більшості кольорових металів – 1,5%.

Припуск на механічну обробку. Після лиття відливки в більшості випадків потребують механічної обробки (точінням, фрезеруванням, струганням тощо). Особливо шорсткими є поверхні відливок з чавуну.

Припуск на нахили. Цей припуск дається на вертикальні поверхні деталі з метою запобігання руйнуванню піщано-глиняних форм при вийманні моделі з форми.

Припуск на галтелі. В місцях спряження стінок деталі (уступи) формувальна суміш при заливці розплавленого металу може зруйнуватись, тому в місцях спряжень перехід від однієї поверхні до іншої закруглюється. Таке закруглення в техніці називається галтель.

Технологічні припуски та припуски проти короблення. Ці припуски необхідні для транспортування важких відливок, для їх закріплення на верстатах під час механічної обробки, для запобігання коробленню деталей при охолодженні тощо. Більшість з них після механічної обробки зрізають.

Форма – це ливарний пристрій, який має порожнину, форма і розміри якої точно, відповідають моделі. Форма може бути виготовлена з піщано-глиняної суміші, металу (кокіль) чи фенолформальдегідної смоли.

Стержень – це ливарний пристрій, за допомогою якого у відливках роблять отвори, канали, порожнини, які повинні бути у

деталі. Стержні виготовляють з піщано-глиняної суміші у спеціальних стержневих ящиках. Стержневі ящики виготовляються з деревини або легкооброблюваних металів. Вони мають порожнини, які відповідають формі і розмірам отворів деталей.

Метали, якими заливають форми, називають ливарними. Не з усіх металів можна отримати якісні відливки. Тому треба знати, яким вимогам повинен відповідати метал, щоб його можна було використати при литті. До основних вимог відносяться рідкотекучість, температура плавлення, усадка і схильність до ліквіації.

Рідкотекучість – це здатність розплавленого металу при заливанні заповнювати форму. У різних металів вона різна. Відносно добру рідкотекучість мають чавуни та кольорові метали, особливо бронза. Рідкотекучість залежить від температури розплавленого металу. Чим вона вища, тим рідкотекучість краща. Проте підвищення температури розплавленого металу не бажане, бо метал починає розплавляти матеріал форми, спостерігається негативне явище пригар. Тому найкраще для лиття брати евтектичні та близькі до них сплави.

Ливарний метал повинен мати якомога меншу **усадку** – властивість зменшуватись в об'ємі та лінійних розмірах при переході з рідкого стану в твердий. Усадка є причиною утворення усадочних раковин і усадочних рихлостей у відливках.

Лінійна усадка небезпечна тим, що при гальмуванні виступами форми чи стержня створює напруги, які викликають короблення відливок або появу тріщин.

Нерівномірне охолодження відливки при затвердінні приводить до того, що більш охолоджені її частини гальмують усадку гарячих. Це викликає їх розтяг, який супроводжується коробленням або тріщинами. Цьому можна запобігти раціональним конструюванням відливок – забезпечити вільну усадку в формі.

Об'ємна усадка приводить до появи усадочних раковин. Чим масивніша деталь, тим більша імовірність появи усадочної раковини. Тому в деталях, які виготовляються ливарним способом, не повинно бути місць з надмірним скопиченням металу.

Ліквіація – неоднорідність хімічного складу сплаву при кристалізації. Чим більша відливка, тим повільніше вона охолоджується, а значить, більше розвивається зональна ліквіація.

При правильному конструюванні відливок, більшу частину лікваций можна відвести у прибільну частину відливки.

Ливарний метал готують до лиття в дугових електропечах, індукційних та інших печах. Поширеною піччю на підприємствах є вагранка яка за конструкцією подібна до маленької доменної печі. Металічною шихтою в них є злитки металів, металобрухт і відходи від лиття (браковані відливки, литники тощо).

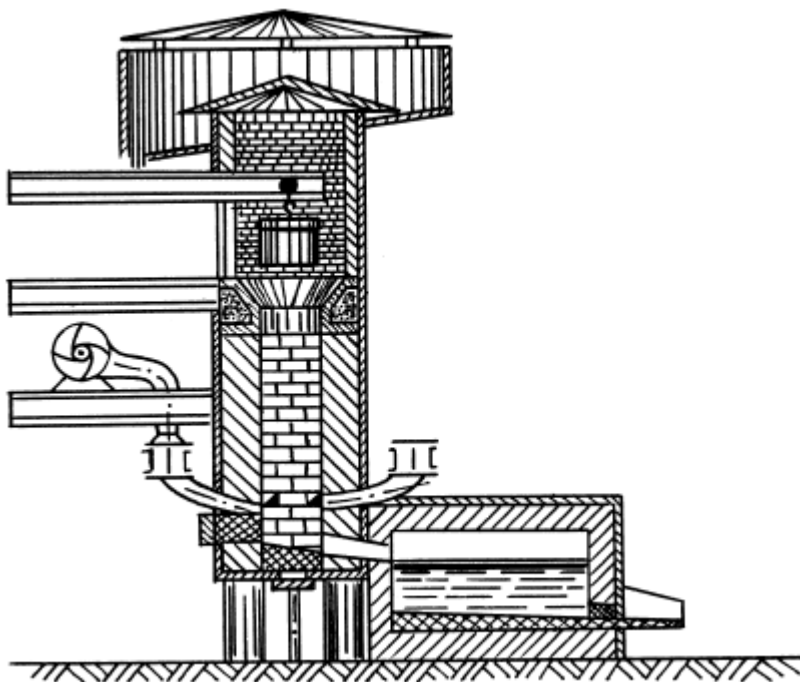


Рис. 12.1 Схема вагранки

При плавленні з металу вигорають певні компоненти, тому в шихту додавають *лігатуру* – допоміжний сплав, який компенсує втрати компонентів при плавленні.

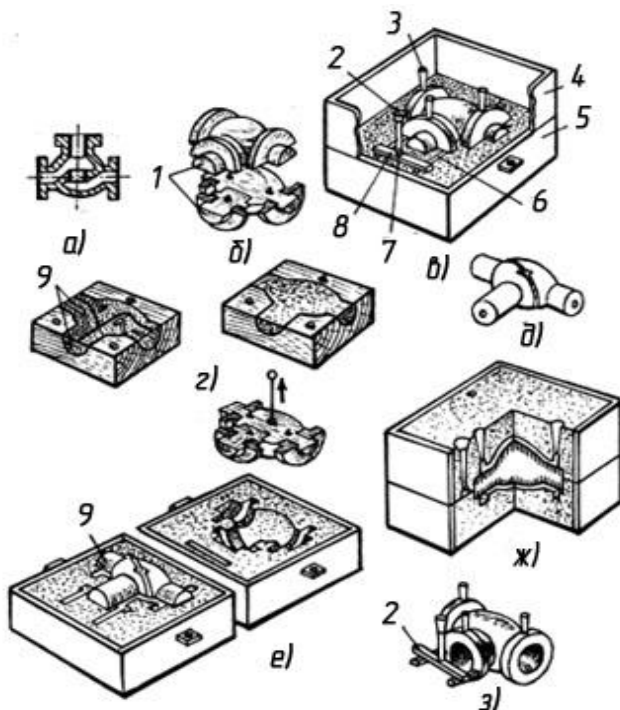
Для виготовлення форм і стержнів використовують формувальні суміші, які повинні відповідати ряду вимог: висока вогнестійкість – здатність не розм'якшуватись і не плавитись під впливом розплавленого металу; хороша пластичність (для

отримання чіткого відбитку моделі); висока газопроникність і здатність пропускати газ; механічна міцність – здатність протистояти механічним навантаженням; достатня протипригарність – здатність не спікатись і не сплавляться з розплавленим металом.

Формувальні суміші складаються з кварцевого піску, глини, вологи, та добавок. За призначенням вони розділяються на облицювальні, наповнюючі та єдині.

Послідовність виготовлення відливок у піщано-глиняних формах показана на рисунку 12.2.

Рис. 12.2



Форми з піщано-глиняної суміші виготовляють у опоках – пристосуваннях у вигляді металічних ящиків без дна. Одна половина опоки має проушини з отворами 5, а інша – з шипами 4.

На спеціальну підмодельну плиту встановлюють половину моделі 1 і опоку 5 проушинами вниз. В опоку засипають

формувальну суміш і трамбують спеціальними ручними або пневматичними трамбовками. Зайву суміш з опоки зчищають лінійкою. Опоку з сумішшю і половинкою моделі обережно перевертають моделлю догори. На половинку моделі встановлюють другу половинку, з пульверизатора напилюють розділяючий шар графіту, встановлюють другу половину опоки та деталі литникової системи – литникову чашу 2, стояк 7, відстойник 8, живлячі канали 6 та випори 3. Опоку заповнюють формувальною сумішшю, трамбують, зайву суміш зчищають лінійкою. Потім знімають верхню опоку, виймають половинки моделі та деталі литникової системи. Поверхні форми вкривають графітною сумішшю. При потребі в стержневі знаки, заздалегідь передбачені в моделі виступи для установки стержня, вкладають стержень і закривають опоки. Після просушування у форму заливають розплавлений метал. Зруйнувавши форму, виймають відливку, очищають від формовочної суміші, обрізають литникову систему.

У сучасних ливарних цехах застосовують машинну формовку. Послідовність формування майже не відрізняється від ручного. При машинному формуванні формувальна суміш на робоче місце подається пневмотрубопроводом, трамбування суміші в опоках здійснюється на вібраційних столах, очищення відливок здійснюється на спеціальних вібраторах тощо.

Форми для важких відливок (біля 100 т) виготовляють у ямах з бетону – кесонах. Для зміцнення форми застосовують сталеву арматуру та кладку з цегли.

Відливки, з яких виготовляють відповідальні деталі, піддають термічній обробці – гомогенізації, відпалу та відпуску.

Спеціальні види лиття

Крім лиття в піщано-глинні форми на практиці використовують багато інших способів лиття. Вони усувають властиві цьому виду лиття недоліки або розширюють можливості ливарного виробництва.

Основним недоліком лиття у піщано-глиняні форми є разовість використання форми. Тому в окремих випадках при литті можна скористатись металічною формою (кокілем). **Кокільне лиття** має багато переваг над литтям у піщаноглиняні форми. Кокіль можна використовувати багаторазово (сотні разів). Завдяки

міцності кокіль дозволяє виготовляти відливки з точними розмірами, високою якістю поверхні та меншими припусками на механічну обробку. Кокільне лиття можна не тільки механізувати, а й автоматизувати, здійснивши *лиття під тиском* (рис. 12.3).

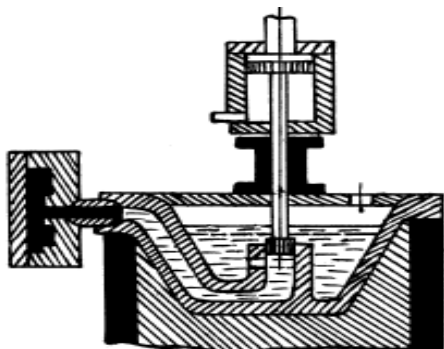


Рис. 12.3

Однак, кокільне лиття має два суттєвих недоліки. По-перше, кокільним литтям можна користуватись тільки при литті кольорових металів. Їх температура плавлення нижча температури плавлення кокіля. По-друге, дуже важко, а інколи і неможливо, з металу виготовити форму.

Щоб запобігти пошкодженню кокіля рідким металом, внутрішню його поверхню вкривають вогнетривким облицюванням і фарбою. До їх складу входять пилоподібний кварц, молота крейда, тальк, графіт, азбест тощо. Зв'язуючими речовинами служать рідке скло, глина, борна кислота тощо.

При виготовленні складних тонкостінних відливок масою до 100 кг із чорних та кольорових металів можна скористатись способом лиття в *оболонковій формі*.

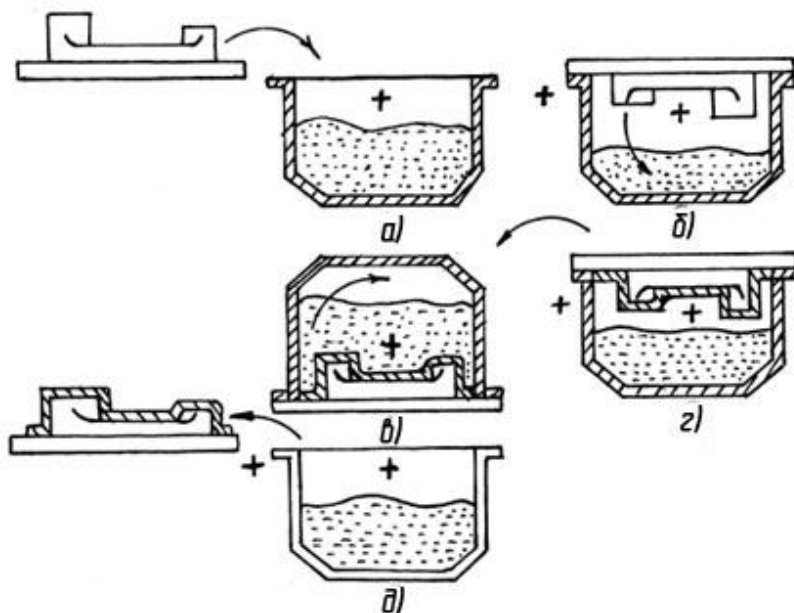
Для виготовлення оболонкових форм використовують суміш, яка включає біля 95% дрібнозернистого кварцевого піску і 5% бакеліту (фенолформальдегідна термореактивна смола). Порошкоподібний бакеліт служить зв'язуючою речовиною.

Оболонку виготовляють з двох частин, рідше з декількох. На металічній плиті, нагрітій до 150°C, закріплюють половинку

моделі. Потім плиту кладуть на спеціальний бункер з формувальною сумішшю і перевертають (рис 12.4).

Формувальна суміш обсіпається на нагріті плиту та модель і обплавлюється, утворюючи кірку. Після охолодження бункер повертають у попереднє положення. Формувальна суміш, яка не розплавилась, висипається на дно бункера, а оболонку знімають з моделі. Таким же чином виготовляють і другу половинку форми. Потім за допомогою струбцин 2 їх з'єднують, роблять литник 1, заливають метал і отримують відливку (рис. 12.4).

Рис. 12.4



Якщо відливка важка, то оболонкову форму можна заформувати в піщано-глиняну суміш.

За якістю відливки, отримані литтям в оболонкові форми, близькі до отриманих при кокільному литті.

Вироби, які мають форму тіл обертання, виготовляють *відцентровим литтям* (рис. 12.5).

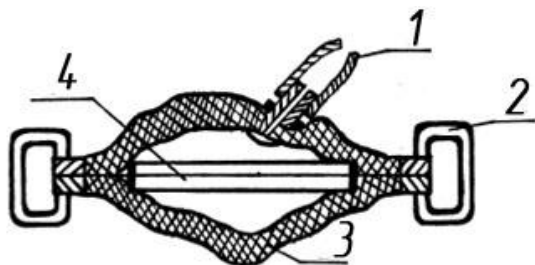


Рис. 12.5

Цей спосіб полягає в тому, що метал заливають у металічні форми, які обертаються. Відцентрові сили відтісняють рідкий метал до стінок форми, де він і застигає, утворюючи відливку.

Відсутність литникової системи, точність форми та розмірів, висока продуктивність дають можливість виготовляти відливки з незначними втратами.

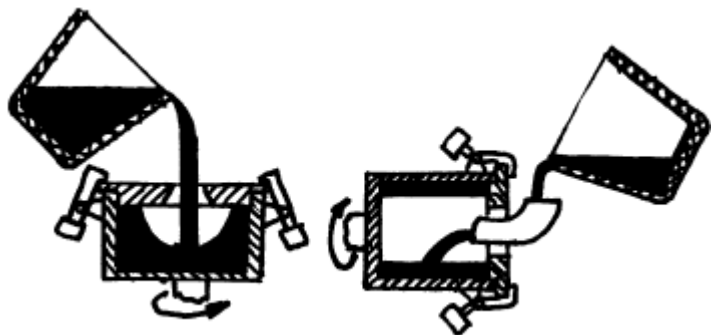


Рис. 12.6

Цим способом виготовляють труби, втулки, кільця тощо.

Недоліком є те, що його можна застосовувати тільки для виготовлення відливок, форма яких є тілом обертання.

При виготовленні складних фасонних відливок можна скористатись способом *лиття по виплавленим моделям*. Суть цього способу полягає в тому, що модель виготовляється з легкоплавкого матеріалу – парафіну, воску, пінопласту тощо. Потім модель занурюють у спеціальну суміш, яка утворює на її поверхні

тверду теплостійку кірку – форму. З форми шляхом занурення в гарячу воду чи гарячим повітрям виплавляють модель. Потім в неї заливають метал і отримують відливку. Модель чи блок моделей виготовляють у спеціальних прес-формах, які складаються з двох половинок, в кожній з яких є порожнина. Якщо скласти прес-форму, то в середині її утвориться порожнина, форма і розміри якої відповідають формі та розмірам моделі.

Парафін чи віск нагрівають до в'язкотекучого стану і закладають у прес-форму. При стискуванні половинок прес-форми зайвий парафін чи віск видавлюється за межі прес-форми. До моделі чи блоку прикріплюють литникову систему.

Вогнетривке покриття, у яке поміщають модель чи блок моделей, складається з кварцового піску, який розчинений у гідролізованому етилсилікаті та рідкому склі.

Перед заливанням металу форму нагрівають до $850 - 900^{\circ}\text{C}$, завдяки чому її поверхня стає твердою і з неї вигорають залишки легкоплавкого матеріалу.

При необхідності отриману оболонку формують у піщано-глиняній суміші. Це дає змогу відливати важкі відливки.

Недоліком лиття по виплавлюваним моделям є те, що таким способом можна виготовити відливки тільки з кольорових металів.

Відливки зі складною формою перерізу можна відлити способом **наморожування** (рис. 12.7).

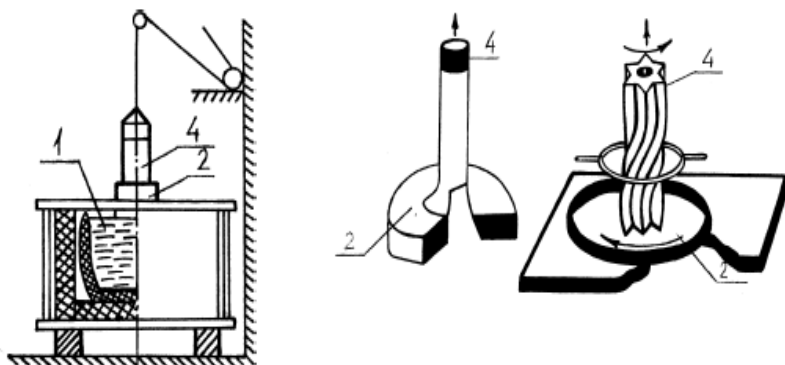


Рис. 12.7

Його суть полягає в тому, що формоутворення деталі відбувається в результаті послідовної кристалізації металу – його

«наморожування». У рідкий метал 1 занурюють поплавок 2, в якому є отвір, форма якого ідентична перерізу виробу. В отвір вставляють затравку 4 і дуже повільно витягують з одночасним охолодженням. Якщо одночасно з рухом угору затравку повертати, то можна отримати гвинтові виступи тощо.

Литтям наморожуванням можна отримати не тільки деталі складного перерізу, а й з одночасним покращанням металу, бо цей метод лиття діє подібно до зонної очистки металу.

Лиття з одночасним покращанням металу здійснюється і при способі лиття *вакуумним всмоктуванням* (рис. 12.8).

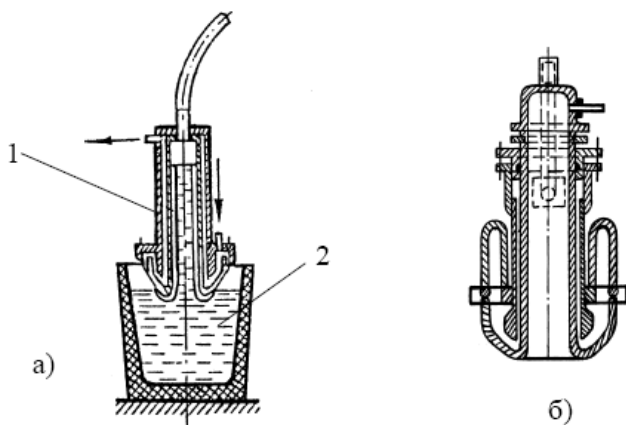


Рис. 12.8

Його суть полягає в тому, що у форму метал не заливається, а всмоктується за рахунок створеного вакууму у формі. Водоохолоджуюча форма 1 (рис. 12.8, а) встановлюється над ковшем 2 з рідким металом так, щоб нижня частина форми занурювалась у розплавлений метал. Вакуумним насосом з форми відкачується повітря, що спричинює всмоктування металу у форму, де він кристалізується.

Покращання металу здійснюється за рахунок його дегазації. Отримані таким способом відливки не мають газових раковин, щільні.

За допомогою цього способу, отримують втулки, кільця, гайки, дрібні зубчаті колеса, частіше всього з мідних сплавів.

При виробництві великогабаритних тонкостінних відливок типу панелей з магнієвих та алюмінієвих сплавів використовують **лиття вижиманням** (рис. 12.9).

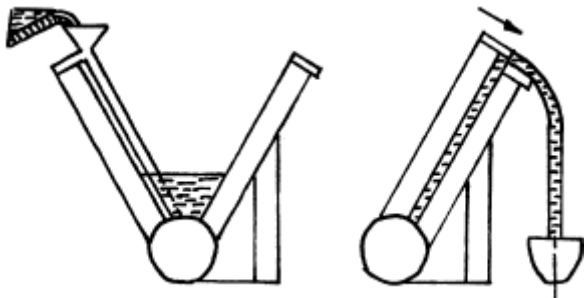


Рис. 12.9

Суть цього способу полягає в тому, що після заливки металу в металоприймальник автоматично повертається рухома матриця до упору в нерухому. Метал вижимается з приймальника і заповнює порожнину між матрицями.

Чавунний лист або стрічку можна отримати литтям **прокаткою рідкого металу** (рис. 12.10).

Його суть полягає в тому, що рідкий метал з металоприймальника поступає між валики, які обертаються назустріч один одному. Валики охолоджуються водою. Метал кристалізується між валиками і витягується ними.

Останнім часом застосовується також **штамповка рідкого металу**. Суть цього способу полягає в тому, що металічний пуансон опускається у матрицю, де знаходиться розплавлений метал і видавлює його, заповнюючи простір між матрицею і пуансоном. Після кристалізації металу утворюється відливка.

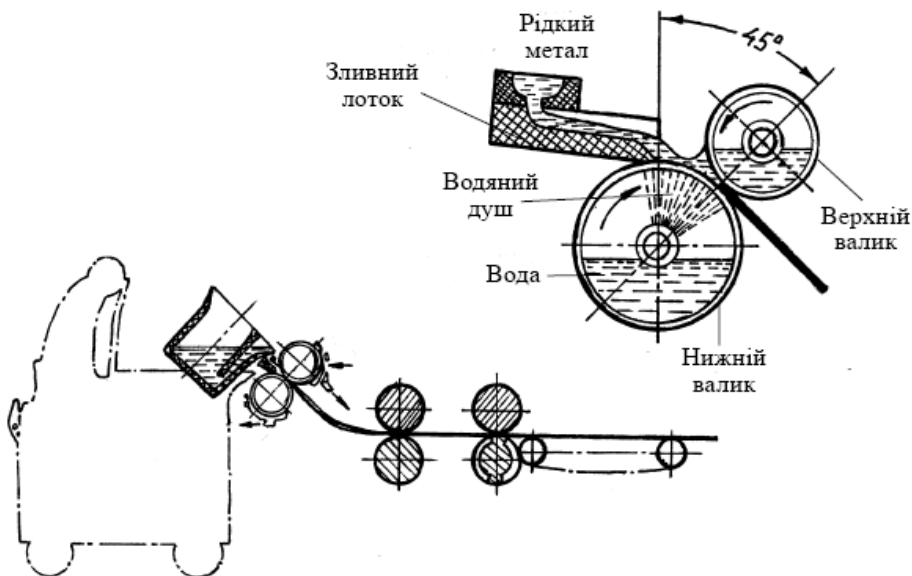


Рис. 12.10

Питання для самоконтролю

1. Які переваги має спосіб виготовлення деталей литтям над іншими способами їх формоутворення?
2. Як урахувати припуски при виготовленні моделей?
3. Як підвищити рідкотекучість ливарних металів?
4. Як виготовити отвори та порожнини у ливарних виробках?
5. Які переваги та недоліки має лиття в піщано-глиняні форми над іншими способами лиття?

Завдання для самостійної роботи

З'ясуйте які є способи підвищення рідкотекучості ливарних металів

ЛІТЕРАТУРА

1. Бодрова Л.Г. Технологія конструкційних матеріалів та матеріознавство Тернопіль:2023 с.156
2. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025,С 22-28, 29-37
3. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300
4. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. -Чернігів: 2001, С.174-181.
5. Гетта. В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. – Чернігів: с. 283.
6. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
7. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Львів: Світ, 2006, с.624.

Тема 13. Основи теорії з'єднання зварюванням

Історія розвитку з'єднання металів зварюванням
Фізичні основи виникнення і горіння електричної дуги
Вольт-амперна характеристика електричної дуги
Вольт-амперна характеристика зварювального трансформатора
Способи регулювання електричного струму в зварювальних трансформаторах

Зварюванням називається технологічний процес утворення нероз'ємних з'єднань за рахунок сил взаємодії атомів (молекул) в місці, де з'єднуються матеріали. Для виникнення цих сил взаємодії атоми чи молекули треба наблизити до відстані, достатньої для прояву міжмолекулярного щеплення. Практично це можна здійснити або шляхом розплавлення металу в місці з'єднання

деталей, або шляхом стиснення деталей. У залежності від цього всі види зварювання розподіляються на дві основні групи: зварювання плавленням і зварювання тиском (пластичним деформуванням).

Історично першим виникло зварювання шляхом плавлення. Після відкриття електричної дуги Петровим у 1882 р. російський інженер Н.Н.Бенардос запропонував спосіб зварювання, при якому метал плавився за рахунок електричної дуги, яка виникає між електродом і металом деталей, які зварюються. В полум'ї дуги виникає температура близько $2000 - 3000^{\circ}\text{C}$, яка і спричиняє плавлення металу в зоні з'єднання.

В запропонованому Н.Н.Бенардосом способі зварювання (рис. 13.1) дуга виникає між деталями 1 та

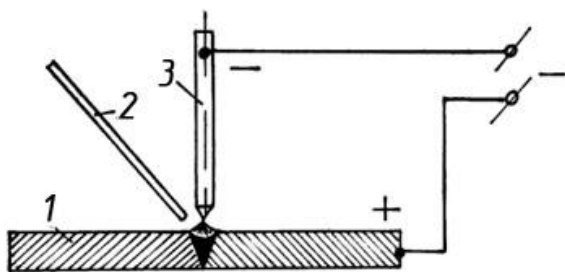


Рис. 13.1

вугільним електродом 3, а зварювальна ванна заповнюється розплавленим металом, який утворюється з присадочного дроту 2.

Проте цей спосіб виявився незручним і малоефективним. У 1888 р. російський інженер Н. Г. Слов'янов запропонував вугільний електрод замінити на стальний, який одночасно слугує і присадочним металом (рис.13.2).

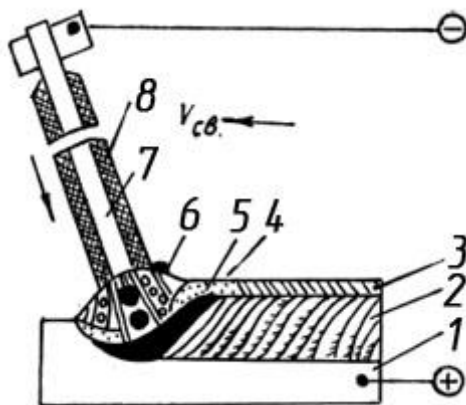


Рис. 13.2

Схема зварювання металевим електродом відкритою дугою:
 1 – виріб; 2 – зварний шов; 3 – шлакова кірка; 4 – зварочна ванна;
 5 – рідкий шлак; 6 – захисна атмосфера; 7 – електрод; 8 – обмазка
 електрода.

Це вдалося зробити завдяки тому, що сталевий електрод, був покритий спеціальною обмазкою, яка сприяє горінню дуги та захищає розплавлений метал і шов від впливу кисню повітря. З того часу цей спосіб зварювання принципово не змінювався, хоч і відбулось багато удосконалень.

Для більш глибокого розуміння електродугового зварювання треба з'ясувати фізичні основи виникнення і горіння електричної дуги.

У звичайних умовах газу складаються з нейтральних атомів і молекул. Тому газ не проводить електричний струм, тобто є ізолятором. Під дією температури чи значного електричного поля газ можна іонізувати. При цьому від нейтральних молекул відриваються електрони, в результаті чого створюються носії струму – позитивні іони та електрони. Проте електрони у вільному стані тривалий час не можуть існувати, вони «прилипають» до нейтральних молекул і створюють негативні іони. Таким чином, під дією тепла, у просторі можна створити носії струму, а значить, забезпечити умови для проходження електричного струму. Середовище з іонізованим газом утворює плазму, яка при відносно

низьких температурах називається електричною дугою. Процес запалення дуги при зварюванні починається з короткого замикання електрода з металом, який зварюється. Струм короткого замикання миттєво розплавляє метал у точці дотику електрода до місця з'єднання. При цьому між електродом і металом утворюється перемичка з рідкого металу. Метал перегрівається, закипає, пари металу та повітря іонізуються. В цей момент віддаляють електрод від металу. Перемичка розплавленого металу розривається і утворюється електрична дуга.

Електрична дуга складається з трьох частин: катодної, стовпа дуги та анодної області (рис. 13.3).

Стовп дуги з газовою плазмою знаходиться в термодинамічній рівновазі. Напряга електричного поля у стовпі дуги відносно невелика. Проте в електродних ділянках, в зв'язку з утворенням об'ємних електричних зарядів (додатнього біля катоду і від'ємного біля аноду), напруга різко збільшується.

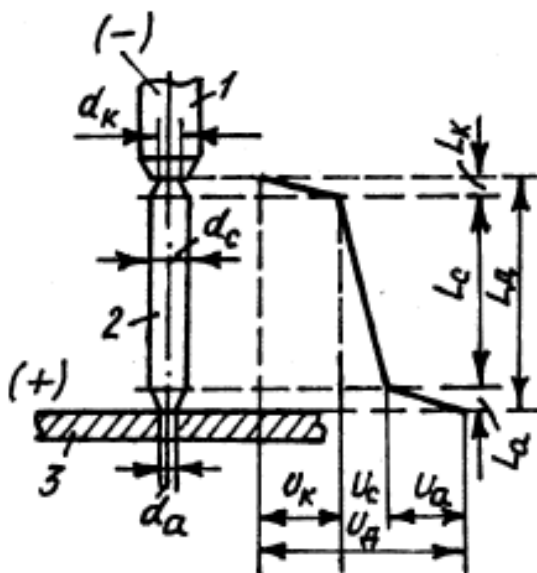


Рис. 13.3

Електричні характеристики дуги визначають вимоги до зварювального обладнання і, перш за все, до зварювального

трансформатора. Залежність між напругою і струмом виражається вольт-амперною характеристикою дуги (рис. 13.4).

На рисунку показана статична характеристика дуги при зміні зварювального струму в широкому діапазоні. При відносно малому струмі (ділянка I) напруга дуги зменшується із збільшенням струму. При цьому статична характеристика має падаючий характер. Це пояснюється тим, що із збільшенням струму збільшується електропровідність і переріз стовпа дуги, а значить, зменшується спад напруги у ньому в той час, як сума катодної і анодної напруги не змінюється.

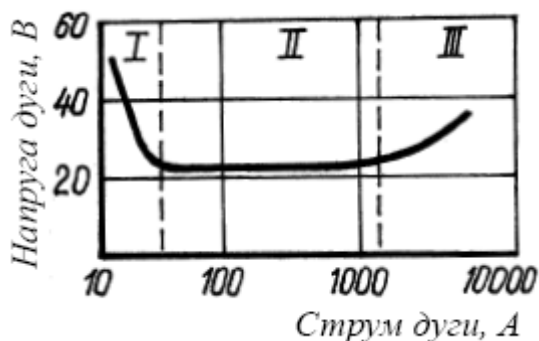


Рис. 13.4

Із збільшенням струму (ділянка 2) електропровідність стовпа дуги майже не змінюється, а переріз зростає пропорційно струму. Напруга залишається майже постійною, опір стовпа змінюється пропорційно струму, а спад напруги в стовпі не залежить від зміни струму. Ця ділянка відповідає режиму ручного зварювання металів.

При великому струмі (ділянка 3) поперечний переріз стовпа дуги не може зрости, бо катодна пляма вже займає всю поверхню торця електрода. Температура стовпа та електропровідність дуги дещо збільшується, але опір змінюється мало. Спад напруги в стовпі дуги росте із збільшенням струму. Ця ділянка відповідає зварюванню закритими (під флюсом) та захищеними (у газах) дугами, тобто при автоматичному зварюванні.

Найважливішою характеристикою будь-якого джерела струму є вольтамперна характеристика (ВАХ), вона визначена конструктивно і не може бути змінена в процесі експлуатації. Звідси опосередковані динамічні якості. Такий апарат важкий та

має відносно великі габарити, але надійний в роботі та практично не зношується. Якщо він обладнаний випрямлячем, то може працювати на струмі двох родів – змінному та постійному.

На сучасних трансформаторах часто використовують тиристорне управління вихідними параметрами. Це дозволяє знизити масу та габарити трансформатора, зменшити його інертність, реалізувати деякі корисні функції та покращити динамічні характеристики. У таких апаратах можлива корекція ВАХ і робота з дуже малими струмами (до 2А). Практично всі такі джерела мають вихід тільки по постійному струму.

При проектуванні джерел живлення для зварювальних апаратів необхідно враховувати особливості ВАХ останніх. Так, при індукційному навантаженні (зварювальний трансформатор), зовнішня характеристика синхронного генератора має різко падаючий характер, причому зі зменшенням $\cos\phi$ падіння напруги посилюється. При активно-ємнісному навантаженні (зварювальний інвертор) $\cos\phi$ є випереджаючим і з ростом струму, що споживається напруга зростає тим більше, чим менший $\cos\phi$. (рис. 13.5)

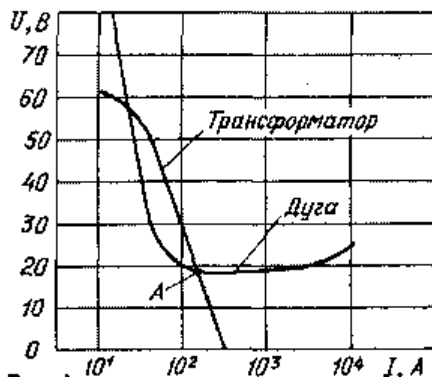


Рис. 13.5 ВАХ зварювального апарату

Процес електродугового зварювання (без подачі інертного чи каталітичного газу) проявляється в створенні умов для виникнення електричної дуги при напрузі 50 – 80 В між електродом і деталлю, що зварюється і подальшому підтриманні дуги при напрузі 18 – 25 В для розплавлення матеріалу деталі і електроду.

Джерело напруги зварювального апарату повинно мати відповідну динамічну характеристику. Робоча напруга дуги повинна швидко встановлюватися і змінюватися в залежності від довжини дуги, забезпечуючи її стійке горіння.

Для постійного струму достатньо напруги запалювання 30 – 40 В, в той час як змінного необхідна напруга 40 – 60 В. Час відновлення робочої напруги при короткому замиканні від 0 до 60 В не повинне перевищувати 50мс. Струм короткого замикання не повинен перевищувати робочий більш ніж на 25 – 100%. Для цього необхідне джерело струму з падаючою вольтамперною характеристикою.

Час відновлення робочого струму при короткому замиканні від 0 до 30В не повинен перевищувати 50 мс. Струм короткого замикання не повинен перевищувати робочий більш, ніж на 25 – 100%. При ручному дуговому зварюванні зовнішня характеристика, джерела струму повинна бути падаючою, тобто напруга повинна зменшуватися при збільшенні струму.

При крутій динамічній характеристиці джерела живлення динамічні струми короткого замикання значно менші (вони близькі до статичних струмів короткого замикання) і при подовженій дузі утворюється стабільна робоча точка.

Перерахованим вище вимогам в повній мірі відповідає джерело напруги, виконане по схемі генератора струму. Властивості такої конструкції в повній мірі підходять і для зарядного пристрою.

На рис. 9.4 показана типова статична вольт-амперна характеристика електричної дуги. При накладанні на неї вихідної вольт-амперної характеристики зварного трансформатора легко бачити, що стійкою точкою підтримання дуги є точка А, причому збільшення крутизни «падіння» характеристики зварного трансформатора призводить до ще більшої стабілізації дуги, (рис. 13.6).

В апаратах змінного струму, які працюють від однофазної мережі, дуга повинна виникати при кожній подачі напруги живлення, що робить більш жорсткими вимоги до апарату і матеріалу електрода, ніж при зварюванні постійним струмом чи трьохфазним.

Для забезпечення горіння дуги потрібний зварювальний трансформатор або генератор. Значно частіше користуються

трансформатором. Зварювальний трансформатор повинен відповідати ряду вимог. По-перше, його вольт-амперна характеристика, на відміну від силового трансформатора, повинна бути крутопадаючою і перетинати вольт-амперну характеристику дуги на початку другої зони.

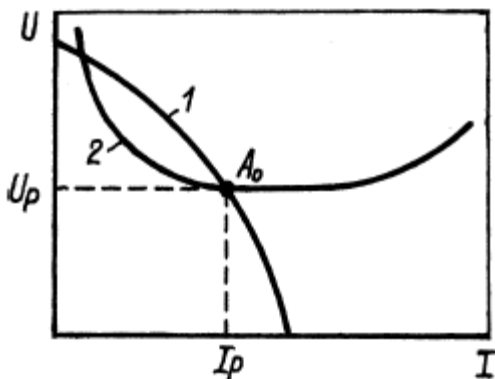


Рис. 13.6

По-друге, конструкцією трансформатора повинно бути передбачено регулювання зварювального струму. Взагалі, є декілька способів регулювання зварювального струму. Одним з поширених є зміна числа витків первинної обмотки та послідовне чи паралельне підключення вторинної обмотки. Ефективним є спосіб переміщенням вторинної обмотки відносно первинної. В цьому способі використовується вплив розсіяного магнітного поля первинної обмотки на вторинну. За конструкцією обмотки робляться рознесеними, завдяки чому магнітне поле замикається не тільки по осерддю, а й розсіюється. Коли вторинну обмотку наближують до первинної, то вплив магнітного поля збільшується — струм росте, і навпаки.

Крім того, регулювати струм можна дроселем, шляхом використання струму самоіндукції. Дросель — це довга котушка з дроту, в середині якої знаходиться сталеве осердя. Вона підключається послідовно в коло вторинної обмотки. Змінюючи зазор в осерді, можна збільшувати або зменшувати зварювальний струм (рис. 13.7).

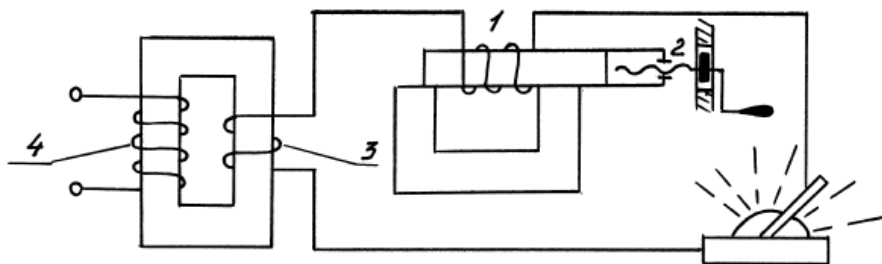


Рис. 13.7

Досить часто для регулювання зварювального струму використовують активний опір. У коло вторинної обмотки включають котушку з дроту, який має великий опір. Змінюючи число витків в котушці, змінюють зварювальний струм.

З поширенням напівпровідникових приладів почали розробляти схеми електронного регулювання зварювального струму, в яких використовуються тиристори.

Зварювальний трансформатор підключається до мережі 220В або 380В. На виході з трансформатора максимальна напруга 60 – 70 В. Вона забезпечує стабільне горіння дуги та є небезпечною при роботі.

Для зварювання постійним струмом крім трансформатора потрібен випрямляч, або генератор.

Електродугове зварювання здійснюється спеціальними електродами. Сталеві електроди мають довжину 250 – 450 мм і діаметр 1 – 12 мм. Їх виготовляють із сталевого електродного дроту. Маркують буквами та цифрами. Букви Зв. відповідають слову «зварювальний». Цифри показують наявність вуглецю у відсотках. Наступні букви та цифри показують вміст різних легуючих елементів. Вуглецеві електроди маркуються – Зв0,8; Зв0,8Г; ЗвІ0Г2С; леговані – ЗвІ8ХМА; ЗвІ0Х5М; високолеговані – Зв0,7ХІ8Н9.

За призначенням електроди розділяються на електроди для зварювання конструкційних, теплостійких і високолегованих сталей і електроди для наплавки поверхонь. Електроди для зварювання конструкційних сталей позначають буквою Е та цифрами, які показують міцність металу в кгс/мм^2 – Е42, Е34. У маркуванні електродів для зварювання теплостійких сталей

вводяться букви, які вказують на вміст легуючих елементів – ЕХМ, ЕХМФБ та ін. Електроди для зварювання високолегованих сталей класифікуються по структурі і складу металу зварювального шва. Тому в позначення їх додатково вводять букви, які вказують на структуру електродів – ЕА-3М6, ЕФ-13 та ін. (А – аустенітна, Ф – феритна).

Електроди, які застосовуються для ручного зварювання, покриваються обмазкою. При автоматичному зварюванні обмазку замінюють флюсами. Призначення обмазки та флюсів – захищати розплавлений метал і шов від впливу повітря та стабілізувати горіння дуги.

Розрізняють два види електродних обмазок: тонкі (товщина шару 0,1 – 0,4 мм) і товсті (товщина шару 0,6 – 3 мм). Перші використовуються при зварюванні маловідповідальних виробів з вуглецевої сталі, другі – при зварюванні відповідальних виробів. До складу товстої обмазки входять шлакоутворюючі речовини (польовий шпат, титанова і залізна руда, кварцевий пісок), газоутворюючі речовини (крохмаль, борошно з деревини, харчове борошно), розкислювачі (феросіліцій, феромарганець, алюміній) та стабілізуючі горіння дуги (лужні метали).

Незважаючи на широке використання різноманітних механізованих методів зварювання плавленням, найбільшу кількість зварних конструкцій виготовляються методом ручного дугового зварювання. Ручне дугове зварювання проводиться окремими електродами, металевими стержнями з нанесеним покриттям відповідного складу. Один з кінців стержня довжиною біля 30 мм не має покриття, що дає можливість затиснути його в електротримач з забезпеченням електричного контакту.

Другий кінець злегка очищується для забезпечення можливості запалювання дуги під час контакту з виробом. Електроди повинні забезпечувати наступні необхідні умови: легке запалювання та стійке горіння дуги, рівномірне розплавлення покриття, рівномірне покриття шва шлаком: легке видалення шлаку після зварювання, відсутність не проварів, пор, тріщин в металі шва.

Електроди класифікуються за наступними ознаками:

- за матеріалом, з якого вони виготовлені;
- за призначенням для зварювання відповідних сталей;
- за товщиною покриття, нанесеного на стержень;

- за видом покриття;
- за характером шлаку, що утворюється при розплавленні покриття;
- за технічними властивостями металу шва;
- за допустимим просторовим положенням зварювання чи наплавлення;
- за родом і поширеністю використовуваного під час зварювання струму.

Класифікація та основні ГОСТи на електроди:

Сталеві електроди виготовляють у відповідності з ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75, ГОСТ 100051-75. За ГОСТом 9466-75 електроди підрозділяються на групи в залежності від зварюваних металів:

У – вуглецевих і низьковуглецевих конструкційних сталей;

Л – легованих конструкційних сталей;

Г – легованих теплостійких сталей;

В – високолегованих сталей з особливими властивостями.

Загальне призначення електродних покриттів – забезпечення стабільності горіння зварної дуги і отримання металу шва з попередньо заданими властивостями (міцність, пластичність, ударна в'язкість, стійкість проти корозії та ін.). Стабільність горіння зварної дуги досягається зниженням потенціалу іонізації повітряного проміжку між електродом і зварюваною деталлю.

Покриття виконують захисну функцію, шлаковий захист слугує для захисту розплавленого металу шва від дії кисню і азоту повітря шляхом утворення шлакових оболонок на поверхні крапель електродного металу, що переходять через дуговий проміжок, і для утворення шлакового покриття на поверхні розплавленого металу. Шлакове покриття зменшує швидкість охолодження і затвердіння металу шва, сприяючи виходу з нього газових і неметалічних включень.

Шлакоутворюючими компонентами є: титановий концентрат, марганцева руда, каолин, мармур, крейда, кварцовий пісок, доломит, польовий шпат та ін.

Легування металу шва проводиться для придання спеціальних властивостей наплавленому металу. Найбільш часто використовуються такі легуючі компоненти як хром, нікель, молібден, вольфрам, марганець, титан та ін. Легування металу іноді проводиться спеціальним дротом, що має в своєму складі потрібні

елементи. Частіше метал шва легують введенням легуючих компонентів в склад покриття електроду. Легуючі компоненти – феросплави, іноді чисті метали.

Для підвищення продуктивності, тобто для збільшення кількості металу що наплавляється за одиницю часу, в електродні покриття іноді вводять залізний порошок. Введений в покриття залізний порошок покращує технологічні властивості електродів (забезпечує повторне запалювання дуги, зменшує швидкість охолодження наплавленого металу, що є позитивним при зварюванні в умовах низьких температур).

Для утримання покриття на стержні електрода використовують зв'язуючі компоненти, наприклад, рідке скло, яке також має стабілізуючі властивості.

При наявності в складі покриття більше 20% залізного порошку, до маркувань електродів додають літеру Ж.

За видами покриття електроди поділяються:

А – з кислим покриттям, з вмістом окису заліза, марганцю, кремню, іноді титану;

Б – з основним покриттям, що має в якості основи фтористий кальцій і карбонат кальцію. (Зварювання електродами з основним покриттям здійснюють на постійному струмі і зворотній полярності. В зв'язку з малою схильністю металу до утворення кристалізаційних і холодних тріщин, електроди з цим покриттям використовують для зварювання великих перерізів);

Ц – з целюлозним покриттям, основні компоненти яких – целюлоза, мука та інші органічні складові, що створюють газовій захист дуги і утворюють при плавленні тонкий шлак. (Електроди з целюлозним покриттям використовують, як правило, для зварювання сталі малої товщини);

Р – з рутиловим покриттям, основний компонент – рутил. Для шлакового і газового захисту покриття цього типу вводять відповідні мінеральні та органічні компоненти. При зварюванні на постійному та змінному струмах розбризкування металу незначне. Стійкість горіння дуги, формування швів у всіх просторових положеннях добре;

П – інші види покриттів.

При покритті змішаного виду використовують відповідне умовне позначення.

Електроди для зварювання конструкційних і низьколегованих сталей.

Для сталей звичайної міцності призначені електроди: E38, E42, E46, E50, E42A, E46A, E50A, E55 та E60.

Для конструкційних сталей підвищеної міцності – електроди: E70, E85, E100, E125, E150. Механічні властивості швів і зварних з'єднань під час використання електродів для зварювання конструкційних сталей повинні відповідати відповідним нормам.

Електроди для зварювання легованих теплостійких сталей.

Ці сталі зварюють електродами дев'яти типів за ГОСТ 9467-75, які класифікують за механічними властивостями відповідно до хімічного складу металу. Букви, що стоять після букви Е, показують гарантований склад легуючих елементів в наплавленому металі.

Електроди для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями.

Для зварювання корозійностійких, жароміцних і жаростійких високолегованих сталей мартенситного, мартенситно-феритного, феритного, аустенітно-феритного і аустенітного класів існує 49 типів електродів.

Виготовлення електродів для ручного дугового зварювання.

На електродному виробництві дріт, що поставляється металургійною промисловістю, правлять, розрізають по довжині на прутки, і очищають від різноманітних поверхневих забруднень. Стабільність покриття повинна забезпечуватися його достатньо однаковою кількістю, на одиницю довжини електрода і рівномірністю складу. Покриття представляє собою суміш різноманітних порошкових матеріалів, з'єднаних між собою і з стержнем клеюючою речовиною – рідким склом. Потрібно прагнути, щоб заміс покриття в момент нанесення на стержень був однорідним. Цього, можливо досягнути при достатній дисперсності тих порошків, котрі використані в шихті, і усередненням складу як порошкової шихти, так і замісу зі зв'язуючими.

Подрібненість порошків має значення не тільки для вирівнювання складу покриття в кожному його об'ємі, але й впливає на кінетику шлакоутворення, газовиділення та інших важливих характеристик. Дійсно, якщо газовий захист створюється, наприклад, розпадом карбонатів, потрібна їх значна питома поверхня – окремі частинки повинні бути дрібними. Температура

плавлення шлаку повинна бути не дуже високою, а температура плавлення його складових в поверхні може бути більш високою. Відносно легкоплавким є шлак, який складається з розчинів, комплексних з'єднань і евтектик. Така суміш створюється легше і швидше при контакті елементарних окислів по значній поверхні і малому об'ємі частинок, тобто при достатньо подрібнених матеріалах.

Звичайно, різні матеріали, що використовуються в покриттях, потребують неоднакового подрібнення. Про доцільність наявності більш крупних частинок для деяких феросплавів говорилося раніше. Величина частинок впливає і на технологічні властивості виробництва електродів. Так, наприклад, велика кількість дрібно дисперсійних фракцій в ряді випадків призводить до утворення тріщин в електродних покриттях в процесі сушки і прокалювання електродів. З таких міркувань висуваються вимоги по найбільш доцільним розмірам частинок різних матеріалів, що використовуються при виготовленні конкретних складових електродних покриттів. При цьому потрібно прагнути не тільки до максимального дотримання технології виготовлення електродів, а й вже з подрібнення шлако- і газоутворюючих складових та частинок феросплавів і легуючих компонентів на користь використання в шихті покриттів.

У виробничих умовах домогтися подрібнення матеріалів до однакових розмірів великої кількості частинок не вдається (завжди отримується комплекс частинок різноманітного гранулометричного складу). Повторюваність приблизно однакових частинок має вигляд кривої, близької за формою до кривої розподілу можливостей, але з обмеженням на ділянці великих розмірів частинок (всі крупні частинки подрібнені). Вона будується шляхом просівання частинок через сита. Зазвичай розміри частинок матеріалів електродних покриттів, що використовуються, перевіряються ситами з розмірами за ГОСТ 3484-53 від 0,45 (тобто 252 отвори на 1 см² при розмірі комірки 0,45 мм) до 0,07. Порошкоподібні подрібнені матеріали, за прийнятою в нашій країні схемою електродного виробництва, виготовляються в електродних цехах переробкою вихідних продуктів, що поступають в основному в вигляді кусків різних розмірів.

Але, деякі матеріали поступають на електродне виробництво вже в вигляді порошків (наприклад крохмаль, сода) і подрібнення

не потребують. В якості зв'язуючих в електродному виробництві є силікатні розчини – натрієві, рідше калієві рідкі стекла. Крім того, в покриттях вони є одночасно іонізаторами, а також впливають на формування складу шлаку. В електродному виробництві в залежності від методу нанесення покриття на стержні, зануренням чи опресуванням, рідке скло використовується різної густини.

Нанесення покриття на стержні здійснюється зануренням чи опресуванням під різним тиском. Нанесення покриття зануренням використовується при виготовленні невеликих партій спеціальних електродів (наприклад, для твердих наплавов, зварки кольорових металів). Для електродів загального призначення, а також спеціальних, але тих що використовуються достатньо широко і виготовляються масовим методом чи великими партіями, покриття наносять опресуванням під великим тиском.

Консистенція обмазувальної маси для нанесення покриття тим чи іншим способом повинна бути різноманітною. Так, для нанесення зануренням обмазувальна маса повинна мати сметаноподібну консистенцію, яка може кількісно оцінюватися певними технологічними пристроями.

Для нанесення покриттів опресуванням маса повинна мати консистенцію віконної замазки. Контроль за консистенцією проводиться продавлюванням пресом з постійною швидкістю визначеного об'єму обмазувальної маси через калібрований отвір. В сучасні високопродуктивні електрообмазувальні агрегати маса зазвичай вводиться в вигляді брикетів, форма яких забезпечує швидко завантаження циліндра преса. Основні показники якості нанесення покриття – рівномірність його розташування по довжині, кількість (товщина) покриття, концентричність розташування відносно стержня. Якість покриття значною мірою залежить від режиму його нанесення. При нанесенні покриття зануренням важливо дотримуватися вертикальності видалення стержня з обмазувальної маси, постійності швидкості видалення і рівномірності густини покриття, яка підтримується її періодичним перемішуванням. Важливо також, щоб покриття не стікало по стержню під час сушіння. При нанесенні покриття опресуванням ці характеристики досягаються конструкцією обмазувальної головки преса чітким положенням каналів, що спрямовують стержні, і фільтери, яка обмежує розмір покриття. Найкращі умови для отримання покриття, розміщеного концентрично стержню,

досягаються при основному русі в електрообмазувальному агрегаті і стержнів, і обмазувальної маси, що видавлюється пресом.

В зв'язку з великими труднощами створення такої конструкції пресів зазвичай канал для подачі маси в обмазувальну головку максимально наближають до дотичної по відношенню до стержнів, що подають в головку.

Високий тиск при цьому створює таку густину покриття в момент виходу електрода з преса, що обтікання маси при сушінні відсутнє. Сушіння електродів відбувається в горизонтальному положенні. В процесі сушіння і прокалки діаметр електрода з покриттям дещо збільшується – покриття розпухає.

Так, при покритті типу УОНИ-13/45 діаметр електрода збільшується при сушінні на 0,1 – 0,2 мм в порівнянні з його діаметром в момент його виходу їх пресу. Сушіння і прокалювання електродів проводяться з метою видалення води з покриття. При цьому потрібно враховувати, що води в покритті багато.

Сушіння може бути звичайним, тобто при кімнатній температурі, і прискореним – в різноманітних печах. При прокалюванні здійснюється подальше видалення вологи і кристалізованої води. Температура прокалювання обмежується як окремими складовими покриття, наприклад при наявності в покритті органічних речовин (температурою їх розпаду), так і відколюванням покриття від стержня в зв'язку з різними коефіцієнтами їх теплового розширення. Наприклад, покриття типу УОНИ-13/45 на стержнях з низьковуглецевого чи низьколегованого дроту неможна прокалювати при температурі вище 500 – 525°C.

Питання для самоконтролю

1. Способи покращення утворення електричної дуги при зварюванні?
2. Як забезпечити вольт-амперну характеристику електричної дуги?
3. Як досягнути у зварювальних трансформаторах круто-падаючої вольт-амперної характеристики?
4. Чим відрізняється інвенторний зварювальний апарат від апарату трансформаторного типу?
5. Як перевірити якість зварювального шва?

Завдання для самостійної роботи

З'ясуйте переваги і недоліки інвенторних зварювальних апаратів

Л І Т Е Р А Т У Р А

1. Бодрова Л.Г. Технологія конструкційних матеріалів та матеріознавство Тернопіль:2023 с.156
2. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025, С 47-48
3. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300
4. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. -Чернігів: 2001, С.194-198.
5. Гетта. В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. – Чернігів: с. 283.
6. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
7. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Львів: Світ, 2006, с.624.

Тема 14. Електродугове зварювання, обладнання. Ручне електродугове зварювання

Історія електродугового зварювання

Вимоги до зварювальних трансформаторів

Способи регулювання зварювального струму

Підготовка деталей для ручного зварювання виробів

Електроди для ручного зварювання та вимоги до них

Термічний вплив на метал в зоні зварювального шва

Зварюванням називається технологічний процес утворення нероз'ємних з'єднань за рахунок сил взаємодії атомів (молекул) в місці, де з'єднуються матеріали. Для виникнення цих сил взаємодії атоми чи молекули треба наблизити до відстані, достатньої для прояву міжмолекулярного щеплення. Практично це можна здійснити або шляхом розплавлення металу в місці з'єднання

деталей, або шляхом стиснення деталей. У залежності від цього всі види зварювання розподіляються на дві основні групи: зварювання плавленням і зварювання тиском (пластичним деформуванням).

Історично першим виникло зварювання шляхом плавлення. Після відкриття електричної дуги Петровим у 1882 р. російський інженер Н. Н. Бенардос запропонував спосіб зварювання, при якому метал плавився за рахунок електричної дуги, яка виникає між електродом і металом деталей, які зварюються. В полум'ї дуги виникає температура близько 2000– 3000 °С, яка і спричиняє плавлення металу в зоні з'єднання.

В запропонованому Н. Н. Бенардосом способі зварювання (рис. 14.1) дуга виникає між деталями 1 та вугільним електродом 3, а зварювальна ванна заповнюється розплавленим металом, який утворюється з присадочного дроту 2.

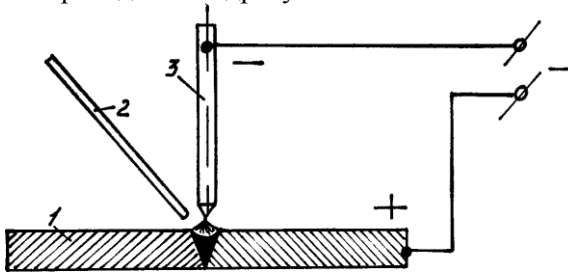


Рис. 14.1

Проте цей спосіб виявився незручним і малоефективним. У 1888 р. російський інженер Н.Г. Слов'янов запропонував вугільний електрод замінити на сталевий, який одночасно служить і присадочним металом (рис.14.2).

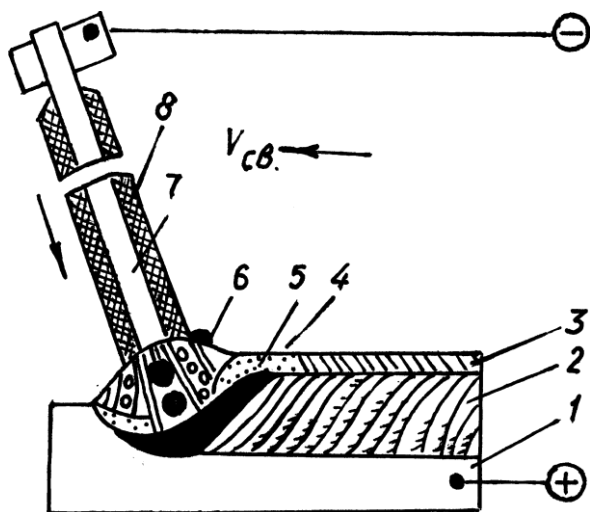


Рис. 14.2.

Схема зварювання металевим електродом відкритою дугою:
 1 – виріб; 2 – зварний шов; 3 – шлакова кірка; 4 – зварочна ванна; 5 – рідкий шлак; 6 – захисна атмосфера; 7 – електрод; 8 – обмазка електрода.

Це вдалося зробити завдяки тому, що сталевий електрод, був покритий спеціальною обмазкою, яка сприяє горінню дуги та захищає розплавлений метал і шов від впливу кисню повітря. З того часу цей спосіб зварювання принципово не змінювався, хоч і відбулось багато удосконалень.

Для більш глибокого розуміння електродугового зварювання треба з'ясувати фізичні основи виникнення і горіння електричної дуги.

У звичайних умовах газу складаються з нейтральних атомів і молекул. Тому газ не проводить електричний струм, тобто є ізолятором. Під дією температури чи значного електричного поля газ можна іонізувати. При цьому від нейтральних молекул відриваються електрони, в результаті чого створюються носії струму – позитивні іони та електрони. Проте електрони у вільному стані тривалий час не можуть існувати, вони «прилипають» до нейтральних молекул і створюють негативні іони. Таким чином, під

дією тепла, у просторі можна створити носії струму, а значить, забезпечити умови для проходження електричного струму. Середовище з іонізованим газом утворює плазму, яка при відносно низьких температурах називається електричною дугою. Процес запалення дуги при зварюванні починається з короткого замикання електрода з металом, який зварюється. Струм короткого замикання миттєво розплавляє метал у точці дотику електрода до місця з'єднання. При цьому між електродом і металом утворюється перемичка з рідкого металу. Метал перегрівається, закипає, пари металу та повітря іонізуються. В цей момент віддаляють електрод від металу. Перемичка розплавленого металу розривається і утворюється електрична дуга.

Електрична дуга складається з трьох частин: катодної області, стовпа дуги та анодної області (рис. 14.3).

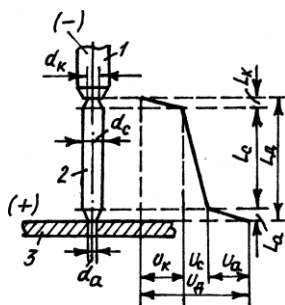


Рис. 14.3

Стовп дуги з газовою плазмою знаходиться в термодинамічній рівновазі. Напруга електричного поля у стовпі дуги відносно невелика. Проте в електродних областях, в зв'язку з утворенням об'ємних електричних зарядів (додатнього біля катоду і від'ємного біля аноду), напруга різко збільшується.

Електричні характеристики дуги визначають вимоги до зварювального обладнання і, перш за все, до зварювального трансформатора. Залежність між напругою і струмом виражається вольтамперною характеристикою дуги.

На рисунку показана статична характеристика дуги при зміні

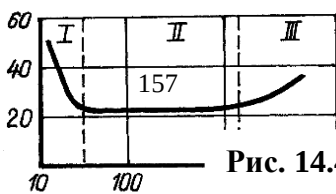


Рис. 14.4. *струм дуги, А*

зварювального струму в широкому діапазоні. При відносно малому струмі (область 1) напруга дуги зменшується із збільшенням струму. При цьому статична характеристика має падаючий характер. Це пояснюється тим, що із збільшенням струму збільшується електропровідність і переріз стовпа дуги, а значить, зменшується спад напруги у ньому в той час, як сума катодної і анодної напруги не змінюється.

Із збільшенням струму (область 2) електропровідність стовпа дуги майже не змінюється, а переріз зростає пропорційно струму. Напруга залишається майже постійною, опір стовпа змінюється пропорційно струму, а спад напруги в стовпі не залежить від зміни струму. Ця область відповідає режиму ручного зварювання металів.

При великому струмі (область 3) поперечний переріз стовпа дуги не може зрости, бо катодна пляма вже займає всю поверхню торця електрода. Температура стовпа та електропровідність дуги дещо збільшується, але опір змінюється мало. Спад напруги в стовпі дуги росте із збільшенням струму. Ця область відповідає зварці закритими (під флюсом) та захищеними (у газах) дугами, тобто при автоматичному зварюванні.

Для забезпечення горіння дуги потрібний зварювальний трансформатор або генератор. Значно частіше користуються трансформатором. Зварювальний трансформатор повинен відповідати ряду вимог. По-перше, його вольт-амперна характеристика, на відміну від силового трансформатора, повинна бути крутопадаючою і перетинати вольт-амперну характеристику дуги на початку другої зони (рис. 14.5).

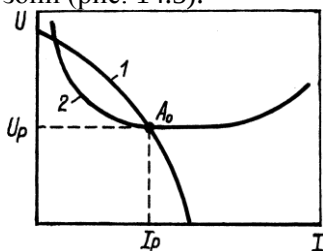


Рис 14.5

По-друге, конструкцією трансформатора повинно бути передбачено регулювання зварювального струму. Взагалі, є декілька способів регулювання зварювального струму. Од- ним з поширених є зміна числа витків первинної обмотки та послідовне і паралельне

підключення вторинної обмотки. Ефективним є спосіб переміщенням вторинної обмотки відносно первинної. В цьому способі використовується вплив розсіяного магнітного поля первинної обмотки на вторинну. За конструкцією обмотки робляться рознесеними, завдяки чому магнітне поле замикається не тільки по осерддю, а й розсіюється. Коли вторинну обмотку наближують до первинної, то вплив магнітного поля збільшується, струм росте, і навпаки.

Крім того, регулювати струм можна дроселем, шляхом використання струму самоіндукції. Дросель це довга котушка з дроту, в середині якої знаходиться стальне осердя. Вона підключається послідовно в коло вторинної обмотки. Змінюючи зазор в осердді, можна збільшувати або зменшувати зварювальний струм (рис. 14.6).

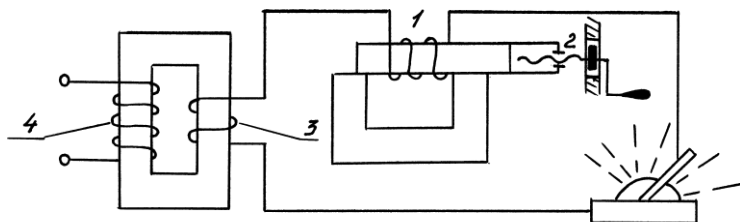


Рис. 14.6.

Досить часто для регулювання зварювального струму використовують активний опір. У коло вторинної обмотки включають котушку з дроту, який має великий опір. Змінюючи число витків в котушці, змінюють зварювальний струм.

З поширенням напівпровідникових приладів почали розробляти схеми електронного регулювання зварювального струму, в яких використовуються тиристори.

Зварювальний трансформатор підключається до мережі 220 В або 380 В. На виході з трансформатора максимальна напруга 60 – 70 В. Вона забезпечує стабільне горіння дуги та є небезпечною при роботі.

Для зварювання постійним струмом крім трансформатора потрібен випрямляч, або генератор.

Електродугове зварювання здійснюється спеціальними

електродами. Стальні електроди мають довжину 250 – 450 мм і діаметр 1 – 12 мм. Їх виготовляють із сталюого електродного дроту. Маркують буквами та цифрами. Букви Зв. відповідають слову «зварювальний». Цифри показують на- явність вуглецю у відсотках. Наступні букви та цифри показують вміст різних легуючих елементів. Вуглецеві електроди маркуються – Зв0,8; Зв0,8Г; ЗвІ0Г2С; леговані – ЗвІ8ХМА; ЗвІ0Х5М; високолеговані – Зв0,7ХІ8Н9.

За призначенням електроди розділяються на електроди для зварювання конструкційних, теплостійких і високолегованих сталей і електроди для наплавки поверхонь. Електроди для зварювання конструкційних сталей позначають буквою Е та цифрами, які показують міцність металу в кгс/мм²

– Е42, Е34. У маркуванні електродів для зварювання тепло- стійких сталей вводяться букви, які вказують на вміст легуючих елементів – ЕХМ, ЕХМФБ та ін. Електроди для зварювання високолегованих сталей класифікуються по структурі і складу металу зварювального шва. Тому в позначення їх додатково вводять букви, які вказують на структуру електродів – ЕА-ЗМ6, ЕФ-13 та ін. (А – аустенітна, Ф – ферит- на).

Електроди, які застосовуються для ручного зварювання, покриваються обмазкою. При автоматичному зварюванні обмазку замінюють флюсами. Призначення обмазки та флюсів захищати розплавлений метал і шов від впливу повітря та стабілізувати горіння дуги.

Розрізняють два види електродних обмазок: тонкі (товщина шару 0,1 – 0,4 мм) і товсті (товщина шару 0,6 – 3 мм). Перші використовуються при зварюванні мало відповідальних виробів з вуглецевої сталі, другі – при зварюванні відповідальних виробів. До складу товстої обмазки входять шлакоутворюючі речовини (польовий шпат, титанова і залізна руда, кварцевий пісок), газоутворюючі речовини (крохмаль, борошно з деревини, харчове борошно), розкислювачі (феросіліцій, феромарганець, алюміній) та стабілізуючі горіння дуги (лужні метали).

Рис. 14.7

161

ділянки 2 може відбутись гартування металу. Ця ділянка має високу крихкість і низькі механічні властивості.

Ділянка 2 – 3 характерна перегрівом металу. Більші зерна аустеніту захоплюють менші, що сприяє росту зерна. На ділянці 3 – 4 створюється нормалізована структура, яка переходить на ділянці 4 – 5 в структуру з неповною перекристалізацією. Рекристалізаційне зерно буде на ділянці 5 – 6. При температурі 200 – 500°C відбуватиметься процес старіння – закріплення атомами впровадження дислокацій, які викликають зменшення їх рухливості та підвищення крихкості. Це відповідає ділянці 6 – синеломкості.

Властивості зварних нероз’ємних з’єднань залежать не тільки від металу, електродів, режиму зварювання, а й від вибору зварних з’єднань та швів.

На практиці найбільш часто використовуються такі зварні з’єднання (рис.14.8): встик (а), внапусток (б), таврові (в), кутові (г) та бокові (д).

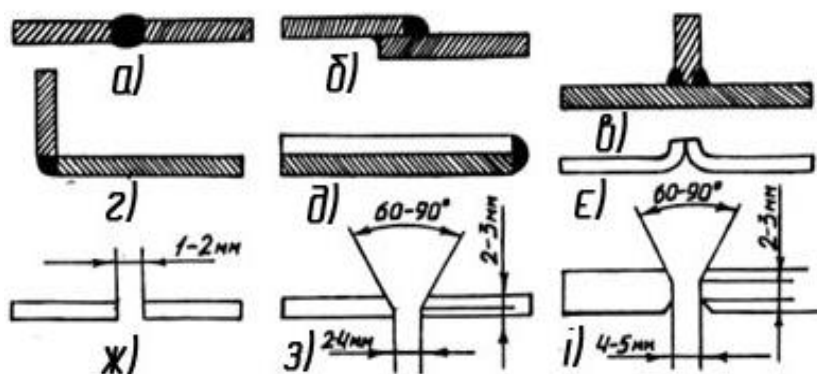


Рис. 14.8

При стиковому зварюванні кромки попередньо обробляють. Якщо зварюють тонкий метал, то кромки загинають (рис. 14.8, е). При товщині металу до 8 мм зварювання проводять без розведення кромки при зазорі до 2 мм. Метал з товщиною 8 – 15 мм зварюють з одностороннім V-подібним розділенням кромки (рис. 9.9, з). Якщо метал має товщину 15 – 20 мм, то застосовують Х-подібне розділення кромки (рис. 9.9, и).

Зварні шви підрозділяються за розташуванням у просторі на нижні, горизонтальні, вертикальні та стельові; за протяжністю – на суцільні і переривисті; за відношенням і напрямком діючих на них зусиль – на флангові, торцеві або лобові, косі та комбіновані.

На практиці широко застосовується ручне зварювання. Його можна використовувати при зварюванні вуглецевих, легованих і високолегованих сталей, а також чавунів, мідних та алюмінієвих сплавів. Ручним зварюванням можна проводити зварювання в будь-яких просторових положеннях, будь-якої конфігурації і довжини шва. Особливо широко воно використовується при монтажних роботах. Проте ручне зварювання малопродуктивне і потребує значних зусиль та уваги від зварника. Тому на машинобудівних підприємствах, в умовах ремонтних майстерень часто використовують автоматичне зварювання, при якому забезпечується автоматичне запалення дуги, підтримується стабільний режим горіння дуги під час зварювання, витримується заданий напрям руху по виробу, механізується подача електродного дроту.

При автоматичному зварюванні під флюсом дуга виникає між виробом 1 і електродним дротом 2 (рис. 14.10).

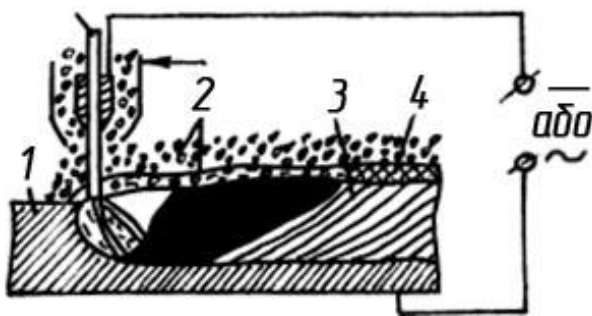


Рис. 14.10

Дуга горить під шаром флюсу 3, який поступає в зону зварювання з бункера. Частина його розплавляється і утворює на поверхні розплавленого металу ванну рідкого шлаку. Розплавлений метал швидко кристалізується і утворює шов 4, який покритий шлаковою кіркою 5. Шлакова кірка захищає шов від впливу

повітря, покращує умови кристалізації металу, знижує внутрішні напруження. З часом її легко видаляють.

Автоматичне зварювання під флюсом проводять спеціальними зварювальними головками або самохідними тракторами, які переміщуються безпосередньо по виробу.

Крім автоматичного зварювання під флюсом широко застосовується зварка в захисних газах. При цьому зона зварювання, електрична дуга та електрод захищаються газом (аргоном, гелієм, вуглекислим газом), який захищає розплавлений метал від атмосферного впливу. Таке зварювання може відбуватись у спеціальній камері або за допомогою струменя захисного газу.

Дугове зварювання в середовищі захисного газу має ряд переваг над іншими видами зварювання:

1. Висока якість зварних з'єднань.
2. Відсутність необхідності застосування флюсів, а значить, наступної очистки швів від шлаків.
3. Забезпечення незмінності хімічного складу металу шва.
4. Наявність концентрованого джерела тепла, що забезпечує малий термічний вплив на метал виробу.
5. Можливість з'єднання металів товщиною від 0,1 до 1000 мм.
6. Можливість спостережень за дугою.
7. Висока продуктивність і можливість автоматизації процесу.

Останнім часом в умовах ремонтних майстерень широко застосовується напівавтоматичне зварювання з використанням вуглекислого газу. Проте таке зварювання можна застосовувати тільки для сталей.

Питання для самоконтролю

1. Як, користуючись вольт амперними характеристиками дуги і трансформатора, визначити оптимальний режим ручного зварювання
2. Які вимоги до підготовки з'єднання деталей ручним зварюванням?
3. Як маркуються електроди для ручного зварювання ?
4. Яких правил техніки безпеки треба дотримуватись при ручному зварюванні металу?

Завдання для самостійної роботи

З'ясуйте які є способи перевірки зварених швів на герметичність

Л І Т Е Р А Т У Р А

1. Бодрова Л.Г. Технологія конструкційних матеріалів та матеріознавство Тернопіль:2023 с.156
2. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025, С 48-50
3. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. – Чернігів: с.133-151.
4. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів.-Чернігів: 2001, с.198-203.
5. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300
6. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
7. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Львів: Світ, 2006, с.624.

Тема 15. Газове зварювання та різання металів.

*Поняття про з'єднання металів газовим зварюванням
Газовий генератор, його будова та принцип роботи
Газова горілка, її будова та принцип роботи
Характерні зони для ацетилено-кисневого полум'я
Газове різання металів*

Після електродугового зварювання друге місце за поширенням має газове зварювання. Це теж спосіб нероз'ємного з'єднання деталей шляхом плавлення металу. Але при газовому зварюванні метал нагрівають високотемпературним полум'ям, яке виникає при горінні горючого газу в атмосфері кисню.

В якості горючих газів можна використати природний газ, пари бензину та гасу, нафтові гази, ацетилен тощо. Проте найбільшого поширення набув газ ацетилен, оскільки він має найбільшу теплотворну здатність і дає найвищу температуру при горінні – 3200°C. Ацетилен може використовуватись у балонах або виробляється під час зварювання у спеціальних генераторах з карбідом кальцію.

Газовий генератор представляє собою сталевий балон 1, який зверху герметично закривається кришкою (рис. 15.1).

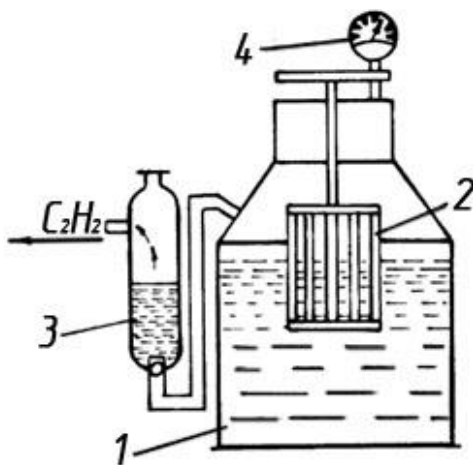


Рис. 15.1

У балон заливається вода. У воду опускається металічна сітка з карбідом кальцію (корзина) 2 і щільно закривається кришкою. У результаті взаємодії карбіду кальцію з водою утворюється газ ацетилен, який через водяний клапан 3 поступає до горілки. Водяний клапан запобігає проникненню полум'я і киснево-ацетиленової суміші в генератор при зворотному ударі, який може виникнути при неправильному поводженні з горілкою. Зворотній удар виникає, коли швидкість виходу газової суміші стає меншою, ніж швидкість її горіння. Якщо при зворотному ударі полум'я або кисень проникне в ацетиленовий генератор, то відбудеться вибух.

Водяний клапан представляє собою посудину з водою, через яку відбувається з'єднання газового генератора з горілкою. Ацетилен перш ніж потрапити до горілки проходить через воду, яка знаходиться у водяному клапані. При зворотному ударі у клапані різко зростає тиск газу, що спричинює проникнення води у газопідвідну трубку – газ тимчасово перестає поступати з генератора до газового клапану. Зворотний удар припиняється.

Кисень для зварювання знаходиться в спеціальних балонах, які пофарбовані у блакитний колір.

Ємність балона біля 40 л. При тиску 150 ат він вміщує біля 6000 л кисню.

Балони з киснем вибухонебезпечні. Не можна допускати забруднення балону, особливо його вентиля маслом та жиром, які можуть samozagorjatis'я в присутності кисню. Тому при роботі з киснем треба дотримуватись правил безпеки.

Для пониження тиску газів на виході з балону та підтримання робочого тиску застосовують газові редуктори. Редуктор має два манометри, один з яких показує тиск газу у балоні, а другий – тиск газу на виході з редуктора.

Для отримання полум'я використовують зварні горілки. Вони можуть бути низького і середнього тиску. В горілках середнього тиску змішування газів забезпечується завдяки достатньо великому тиску ацетилену. В горілках низького тиску змішування газів здійснюється примусовим засмокуванням ацетилену. Кисень, виходячи з горілки, створює розрідження, завдяки якому всмоктується ацетилен. Така горілка називається інжекторною (рис. 15.2).

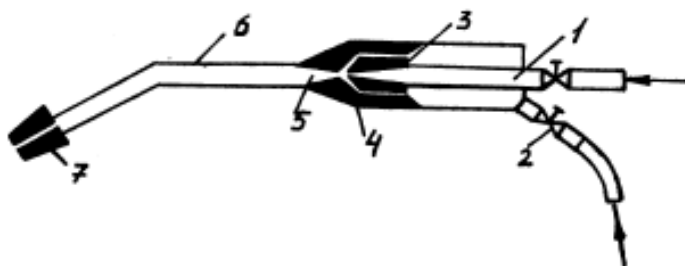


Рис. 15.2

Працює вона так. Кисень під тиском поступає в горілку і через нипель, регулюючий вентиль і трубку 1 подається до інжектора 3. Кисень, виходячи з конуса 3, створює розрідження в камері 4, що спричиняє всмоктування ацетилену через нипель і вентиль 2. В камері 5 ацетилен змішується з киснем. Утворена горюча суміш через наконечник 6 поступає до мундштука 7. Підпалена суміш дає полум'я.

Ацетилено-кисневе полум'я складається з трьох зон (рис. 15.3).

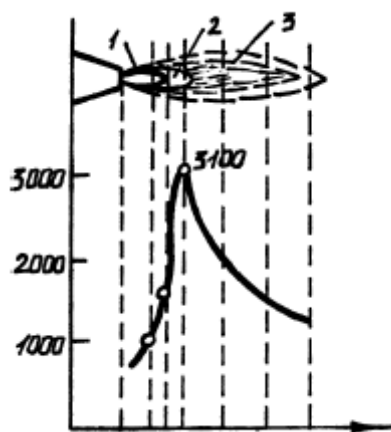


Рис. 15.3

В першій зоні 1 (ядро) відбувається поступове нагрівання до температури запалення газової суміші, яка надходить з мундштука.

В зоні 2 (зварна зона) відбувається згоряння ацетилену в присутності кисню, який є в суміші. Температура в цій зоні найбільша. В зоні 3 (факел) відбувається горіння ацетилену за рахунок кисню повітря.

У залежності від співвідношення кисню і ацетилену полум'я може бути нормальним, окислювальним і науглецьованим. В нормальному полум'ї співвідношення кисню з ацетиленом майже однакове. Таким полум'ям користуються при зварюванні більшості сталей. В окислювальному полум'ї кисню більше ніж ацетилену. Воно має блакитний відтінок і чітко виділене ядро. Його використовують тільки при зварюванні латуні. При надлишку ацетилену полум'я є науглецьованим. Воно коптить, видовжується і набуває червонуватого відтінку. Ним зварюють чавуни та кольорові метали.

Суттєвою різницею між газовим зварюванням і дуговим є більш плавне нагрівання металу, це дає можливість зварювати тонкий листовий метал.

При зварюванні кольорових металів, наприклад, алюмінієвих та мідних сплавів, застосовують флюси. Для зварювання міді та її сплавів використовують кислі флюси (бура або бура з борною кислотою). При зварюванні алюмінієвих сплавів застосовують безкисневі флюси на основі фтористих, хлористих солей літію, калію, натрію і кальцію.

Газове різання металу

Газове різання металу полягає у спалюванні металу у струмені кисню.

Процес різання починається з нагрівання металу до температури загорання металу. Нагрівання здійснюється підігрівальним полум'ям. Коли температура металу досягає необхідного значення, пускається струмінь ріжучого кисню, який потрапляє на нагрітий метал і запалює його. Утворені при згоранні окисли видувуються із зони різання струменем кисню.

Газове різання металів може здійснюватись при виконанні таких вимог:

а) температура плавлення металу повинна бути вище температури його загорання в кисні;

б) температура плавлення окислів металу повинна бути нижче температури плавлення металу та температури, яка наявна в процесі різання;

в) кількість теплоти, яка виділяється при горінні металу в кисневому струмені, повинна бути достатньою для підтримання процесу різання;

г) теплопровідність металу не повинна бути дуже високою;

д) окисли повинні легко видуватись струменем кисню.

Аналіз зазначених вище вимог свідчить про те, що найкраще ним задовольняє різання заліза і маловуглецевих сталей. При вмісті вуглецю більше 0,7% процес газового різання ускладнюється, оскільки підвищується температура згорання металу і досягає температури плавлення. Вміст легуючих компонентів не повинен перевищувати більше 5%.

Чавуни, мідні та алюмінієві сплави не піддаються нормальному різанню. Чавуни мають температуру загорання, яка рівна температурі плавлення. Високолеговані сталі та алюмінієві сплави вкриті тугоплавкою плівкою окислів. Мідні сплави мають високу теплопровідність.

Ріжуть метал за допомогою спеціальних різаків. Конструкція різача відрізняється від газової горілки тим, що в нього наконечник утворює прямий кут з корпусом різача. Крім того, різак має додаткову трубку для подачі кисню для різання. Мундштук різача має центральний отвір для подачі додаткового кисню (рис. 15.4).

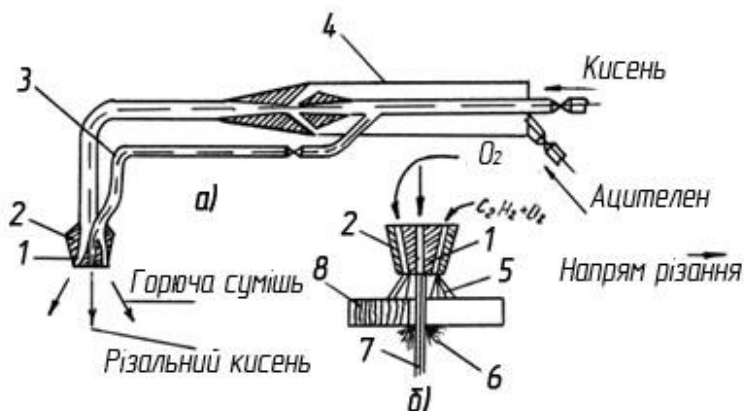


Рис. 15.4

Різання металів може бути ручним та машинним, напівавтоматичним та автоматичним.

Питання для самоконтролю

1. Назвіть переваги і недоліки газового зварювання над електродуговим
2. В яких випадках рекомендується замість газового генератора використовувати ацетиленовий і кисневі балони ?
3. Охарактеризуйте зони полум'я з температурної точки зору
4. З'ясуйте принцип зварювання електрошлаковим, контактним, термітним, тертям, вибухом, лазерним променем, плазменним та ультразвуковим способами
5. Назвіть основні правила техніки безпеки при газовому зварюванні.

Завдання для самостійної роботи

З'ясуйте такі види зварювання як електрошлакове, вибухом, ультразвуком, плазмове, та лазерне

ЛІТЕРАТУРА

1. Бодрова Л.Г. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156
2. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025, С 50-53
3. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. – Чернігів: с.133-151.
4. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів.-Чернігів: 2001, с.203-215.
5. Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300
6. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
7. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Львів: Світ, 2006, с.624.

Тема 16. Пластичні маси та їх використання в техніці. Гума та вироби з неї

Сировина для виготовлення пластмас

Види полімерів

Термопласти і термореактопласт, їх характеристика

Способи виготовлення виробів з пластмас

Гума. Сировина для виготовлення гуми. Технологія виготовлення виробів з гуми

До неметалічних матеріалів відносять пластмаси, деревину, гуму, скло та сітали. У машинобудуванні вони широко застосовуються завдяки своїм особливим властивостям – високій ізоляційній стійкості, водо-, газо- і паронепроникливості, малій густині, відносно малій собівартості тощо.

Найбільш широкого застосування в техніці знайшли пластичні маси. Їх основу становлять полімери – високомолекулярні з'єднання, які складаються з великої кількості мономерів, що регулярно або нерегулярно повторюються.

Полімери можуть бути природні (природний каучук, целюлоза, природні смоли, слюда тощо), штучні (отримані шляхом переробки природних) і синтетичні (отримані шляхом синтезу).

За складом полімери розподіляються на органічні (смоли та каучуки), елементоорганічні (до складу основного ланцюга входять атоми неорганічних елементів – титану, кремнію, алюмінію та ін.), неорганічні – силікатні стекла, слюда та ін.

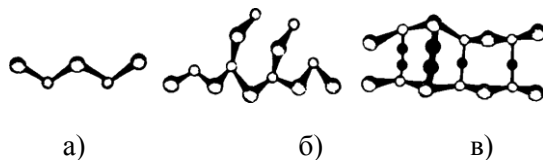


Рис. 16.1

За формою макромолекул полімери можуть бути лінійні (рис. 16.1, а), розгалужені (рис. 16.1, б), сітчасті (рис. 16.1, в).

За структурою полімери розподіляються на аморфні та кристалічні. Аморфні полімери складаються з безсистемно розташованих мономерів. Вони мають вигляд склоподібного,

каучуко- або шкіроподібного матеріалу. При нагріванні аморфні матеріали розм'якшуються в широкому інтервалі температур. Кристалічні полімери мають упорядковане розташування мономерів. Такі полімери мають різко виражену температуру розм'якшення. Проте, в реальних умовах у полімерів повна кристалізація не відбувається. Кристалічні полімери мають ділянки молекул розрихленої упаковки. Тому кристалічні полімери інколи називають частково кристалічними.

Відношення об'єму кристалічної частини полімеру до його повного об'єму називають ступенем кристалічності. Він може сягати 90 %.

Кристалізація розплаву полімеру відбувається при температурі дещо нижчій, ніж температура його плавлення. При охолодженні теплова енергія руху ланцюгових молекул та їх ланок зменшується і вже не може подолати сили міжмолекулярної взаємодії. У результаті відбувається закріплення молекул та їх ланок в деякому упорядкованому положенні.

Здатність полімеру до кристалізації визначається його хімічним складом, структурою та гнучкістю.

Аморфні полімери мають рихле розташування макромолекул, більшу ніж кристалічні, рухливість ланок, що обумовлює їх пружність. Такий стан інколи називають склоподібним, а перехід до цього стану – склуванням.

Аморфний стан полімеру досягається шляхом його гартування – швидким охолодженням розплаву, що штучно затруднює кристалізацію.

Полімери можуть знаходитися в двох агрегатних станах – твердому (кристалічному або аморфному) і рідкому (в'язкотекучому). У пароподібний стан полімери не переходять, оскільки тиск парів полімерів незначний і при нагріванні вище певних температур вони розкладаються.

Тверді аморфні полімери переходять у рідкий стан через проміжну зону – високоеластичний стан. Високоеластичний стан настає при нагріві вище температур склування. Він характеризується рухливістю ділянок ланцюга (ланок або груп ланок) при відсутності переміщення ланцюга в цілому.

Кристалічні полімери переходять у рідкий стан також через високоеластичний стан. Це відбувається завдяки наявності в кристалічних тілах аморфних зон. Оскільки у в'язко- текучому стані

макромолекули мають можливість вільно переміщатися при дії незначних зусиль і без порушення хімічних зв'язків, то цей стан полімерів має велике практичне значення для технологічних процесів переробки пластмас у виробі.

З часом полімери можуть старіти. При цьому знижується міцність, зменшується еластичність, підвищується жорсткість і крихкість. Старіння відбувається під впливом певних фізико-хімічних процесів. Одним з таких процесів є деструкція – розрив хімічних зв'язків в основному ланцюгу макро- молекул, окислення і зшивки. Розпад макромолекул настає при концентрації механічної енергії на окремих ділянках ланцюга, під час тривалого вальцювання, тонкому розселенні, при дії ультразвуку тощо.

Термічна деструкція призводить до розпаду полімеру на мономері, тому її називають деполімеризацією. Її можна використати при переробці відходів виробництва.

Хімічна деструкція для багатьох полімерів виникає під впливом кисню повітря і може прискорюватись дією світла.

Для сповільнення процесу старіння в полімери додають стабілізатори. Вони зменшують дію того чи іншого фактору на старіння полімеру. Наприклад, аміни запобігають окисленню полімерів, сажа поглинає світло і т.д.

Полімери часто називають пластмасами. Якщо ж у полімер додають наповнювач, то його називають складною пластмасою. Додатки до полімера дають можливість змінювати властивості пластмаси в необхідному напрямі. До них належать наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, каталізатори, фарбники та спеціальні добавки.

Наповнювачі зміцнюють матеріал, здешевлюють його і надають йому спеціальних властивостей, наприклад, підвищують теплостійкість, зменшують усадку і т. д. В якості наповнювача використовують органічні (мука з деревини, целюлоза, бавовняна тканина, шпон, папір тощо) та неорганічні (графіт, тальк, азбест, кварц, слюда, склотканина і ін.) речовини. У пластмасах наповнювача може бути до 70 %.

Пластифікатори полегшують переробку пластмас і роблять їх більш еластичними, крім того, вони збільшують гнучкість, зменшують крихкість; покращують формуємість пластмас. Пластифікаторами можуть бути ефіри, касторка тощо. Їх додають в пластмаси до 10 – 20 %.

Стабілізатори запобігають старінню пластмас.

Каталізатори (вапно, магnezія та ін.) – речовини, які прискорюють затвердіння пластмас.

Фарбники (сурик, мумія, нігрозін та ін.) – речовини, які надають пластмасі необхідний колір.

Спеціальні добавки в пластмаси додають з метою підсилення тих чи інших властивостей. До них відносять змащуючі речовини (стеарин, олеїнова кислота та ін.), які збільшують текучість, зменшують тертя між частинами композицій і зменшують прилипання до прес-форм, речовини, які зменшують статичний електричний заряд, зменшують загоряємість і т. д.

У залежності від виду зв'язку між молекулами полімерів та їх поведінки при підвищених температурах пластмаси розділяють на термопластичні (термопласти) та термореактопласти (реактопласти).

Термопласти отримують на основі полімерів, молекули яких зв'язані слабкими міжмолекулярними силами. Це дозволяє полімеру багато разів розм'якати при нагріванні та затвердівати при охолодженні, не втрачаючи попередніх властивостей. До термопластів відносять поліетилен, капрон, вініласти, фторопласти, органічне скло тощо.

Реактопласти отримують на основі полімерів, молекули яких поряд з міжмолекулярними силами можуть зв'язуватись хімічно. Виникнення міцних хімічних зв'язків в полімерах відбувається при нагріванні або при введенні добавок – затверджувачів. Їх уводять у термореактопласти для з'єднання полімерних молекул хімічними зв'язками. При введенні затверджувачів утворюється просторова молекулярна сітка, а молекули затверджувача стають частинками цієї сітки. При цьому полімер перетворюється у жорстку речовину, яка не може бути розплавлена. Прикладом можуть бути епоксидні та поліефірні смоли, фенопласти та інші полімери.

Пластмаси, крім того, розділяють на пластики та еластики. Перші називають жорсткими, вони мають незначне відносне видовження, другі – м'якими, вони мають велике відносне видовження і малу пружність.

Найбільш поширеними термопластами є поліетилен, полістирол, фторопласт, пенопласт, поліаміди тощо.

Поліетилен – продукт полімеризації газу етилену. Це дуже легкий, дешевий, водостійкий матеріал. З нього виготовляють

плівки, труби тощо.

Поліетилен виготовляють високого і низького тиску. Поліетилен низького тиску має більшу механічну міцність, ніж високого тиску, і використовується для виготовлення труб, шлангів, плівок, деталей радіоапаратури тощо. Литтям виготовляють крани, зубчаті колеса, золотники тощо. Поліетилен високого тиску застосовують як пакувальний матеріал, використовують для виготовлення хімічного посуду тощо

Основний недолік поліетилену – невисока теплостійкість, вироби з нього рекомендується використовувати при температурах не вище 80 °С.

Поліетилен добре обробляється і переробляється всіма відомими способами: литтям під тиском, вакуум-формуванням, екструзією, зварюванням тощо.

Полістирол – твердий аморфний продукт полімеризації ненасиченого вуглеводню – стиrolу. Це безкольоровий прозорий матеріал. Має велику водостійкість, добрий ізолятор. Його ізоляційні властивості зберігаються при температурах від –80 до +110 °С. Недоліком є мала теплостійкість, крихкість та здатність до швидкого старіння і розтріскування.

Із полістиролу виготовляють труби, профільні деталі, деталі радіоапаратури, побутові вироби тощо. Високий показник заломлення (1,60) дозволяє його застосовувати для виготовлення оптичного скла.

Фторопласт – кристалічний полімер, який виготовляється з вуглецю і фтору. Він має високу хімічну стійкість по відношенню до кислот, розчинів лугів, органічних розчинників, найкращу морозостійкість (до –195°С), хороші анти-фрикційні властивості.

Фторопласти широко використовують для виготовлення ущільнюючих матеріалів – прокладок, набивок, які працюють в агресивних середовищах, деталей клапанів приладів, мембран, хімічно стійких деталей, (труб, гнучких шлангів і т.д.), самозмащуючих вкладишів підшипників, насосів, тари тощо.

Пінопласт – полімер, який має велику хімічну та атмосферну стійкість. З нього виготовляють хімічно стійкі труби, сепараторні кільця, підшипники тощо.

Поліаміди – новий вид термопласту, який має високу теплостійкість (200 – 250 °С), хороші механічні та ізоляційні властивості. Поліамідні пластмаси можуть використовуватись при

температурі до $-155\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поліаміди хімічно стійкі. Вони не розчиняються в більшості органічних розчинників, на них не діють розбавлені кислоти, мінеральні масла і вода. Не витримують поліаміди концентрованих кислот, лугів і перегрітої пари.

На основі поліамідів виготовляють різні пластмасові вироби електроізоляційного і конструкційного призначення. Із них виготовляють електроізоляційні плівки світложовтого або коричневого кольору. Плівки можуть виготовлятися товщиною від 5 до 100 мкм і більше. Вироби із поліамідів виготовляють литтям; пресуванням при температурі $350 - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Серед термореактопластів найбільш поширеними є фенопласти, текстоліт, гетинакс, азботекстоліт та ін.

Фенопласти виготовляють на основі фенолформальдегідних смол, які поширені завдяки простому та дешевому способу отримання сировини та простій технології виготовлення із них виробів. Вони мають високу міцність, теплостійкість, стійкість проти дії кислот, лугів та органічних розчинників. Із фенолформальдегідних смол з добавкою наповнювачів виготовляють прес-порошки, волокнисті і шаруваті пластини.

Текстоліт – це пластмаса, яка має наповнювач з бавовняної чи паперової тканини. Зв'язуючою речовиною служить фенолформальдегідна смола.

Виготовляють його так. Бавовняну тканину змащують фенолформальдегідною смолою і укладають у пакет необхідної товщини. Пакет пресують, дають можливість затвердіти, а потім обрізують боки.

Текстоліт має відносно високу міцність, малу густину, високі антифрикційні властивості, високу стійкість до вібраційних навантажень. Теплостійкість текстоліту $120 - 125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Завдяки цим властивостям текстоліт знайшов широке застосування в техніці. З нього виготовляють шестерні для автомобілів та інших машин, підшипники прокатних станів, деталі електричних машин, ізолятори тощо.

Гетинакс теж виготовляється на основі фенолформальдегідної смоли, але наповнювачем в нього є папір. Він застосовується переважно в електротехнічній промисловості, оскільки є добрим ізолятором. З гетинаксу також виготовляють декоративні, фасонні та побутові вироби.

Азботекстоліт – шаруватий пластик, в якого наповнювачем є

азбестова тканина, а основу становлять фенолформальдегідна смола. Він стійкий до різких коливань температури та вологості, бензостійкий, виділяється високими фрикційними та електроізоляційними властивостям. З азботекстоліту виготовляють гальмівні колодки, накладки дисків зчеплень тощо.

Для виготовлення плат в електротехніці застосовують **фольговані пластмаси**. Основою їх є тексоліт або склотекстоліт. З однієї або з двох сторін пластина, наприклад з гетинаксу, покривається мідною фольгою, товщиною 35 – 50 мкм. Для поліпшення зчеплення з пластиком одну сторону фольги обробляють в розчині лугу (оксидують). З'єднання фольги з пластиком роблять за допомогою клею з наступним пресуванням.

Технологія виготовлення виробів з пластмас має ряд особливостей, які пов'язані з природою даного матеріалу. Інколи навіть в технологічному процесі виготовлення виробів одночасно проходять процеси формоутворення і отримання пластмаси як конструкційного матеріалу.

Методи виготовлення виробів різноманітні. Їх вибір залежить від виду пластмаси та вимог до виробу. Основними методами є пряме гаряче пресування, ливарне пресування, пресування листів та плит з шаруватих пластмас, лиття під тиском, відцентрове лиття, екструзія тощо.

Пряме гаряче пресування полягає в безпосередньому прикладенні зовнішнього тиску до прес-матеріалу, який знаходиться в нагрітій замкнутій пресформі (рис. 16.2).

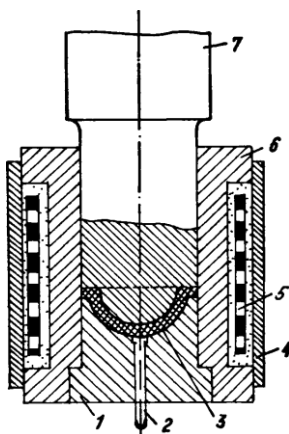


Рис. 16.2.

За таких умов пластмаса переходить у в'язкотекучий стан і приймає форму виробу. Після застигання готовий виріб виймають із прес-форми. Прес-матеріал застосовують у вигляді порошку, гранул або таблеток. Дозування проводять по вазі, об'єму або поштучно. Основною частиною пристрою для пресування виробів з пластмас (рис. 16.2) є прес-форма, яка складається з матриці 1, циліндра 6, пуансона 7, нагрівника 5, ізолятора 4 та виштовхувача 2.

Перед завантаженням прес-матеріалу прес-форми очищають і, при необхідності, встановлюють металічну арматуру. У циліндр встановлюють пуансон і поступово підвищують тиск до необхідної величини. В процесі пресування здійснюють нагрівання прес-матеріалу. Важливо в процесі пресування підтримувати необхідну температуру. Це здійснюють автоматичні терморегулятори.

При нагріванні та стисканні з прес-матеріалу виділяються леткі речовини та волога, які можуть утворювати дефекти у виробі. Тому періодично треба робити підпресовку – піднімають пуансон на 2 – 4 с для випускання газів з прес-форми.

Після стискування, виріб певний час витримують, а потім виймають пуансон і виштовхують виріб. При необхідності виріб зачищають, знімають заусениці тощо.

Показаний на рисунку пристрій можна використовувати для пресування термореактопластичних пластмас. Вони після нагрівання переходять у в'язко-текучий стан, а потім у твердий. При пресуванні термопластів нагрівання пресматеріалу проводять парою, а охолоджують водою.

Пряме пресування використовують в основному для, виготовлення виробів простої конфігурації з термореактивних пластмас.

При ливарному пресуванні прес-матеріал нагрівають не у прес-формі, а окремо. Установка для ливарного пресування показана на рисунку 40.

Прес-матеріал у в'язко-текучому стані подається в камеру 2, а потім пуансоном 1 видавлюється через литник 4 у форму 5. Після охолодження форму розбирають і виймають виріб.

Ливарне пресування відбувається під значним тиском,

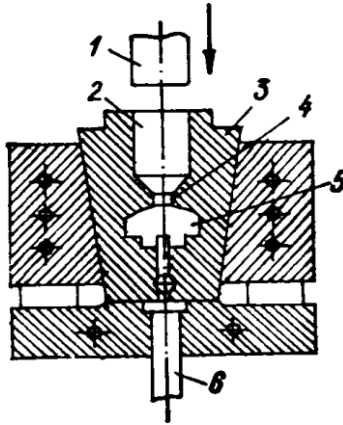


Рис.16.3

тому воно має ряд переваг перед прямим гарячим пресуванням. Деталі отримуються точнішими, більш складної форми, з меншими внутрішніми напруженнями тощо.

Лиття під тиском застосовують при виготовленні виробів з термопластів. Гранульована сировина подається у циліндр термопластоавтомату, там нагрівається до в'язко-текучого стану і поршнем під тиском подається у робочу порожнину прес-форми, де і застигає. Таке лиття можна автоматизувати.

Відцентрове лиття застосовують для виготовлення виробів, які мають форму тіл обертання (труби, втулки, шківів тощо).

Термопласт плавиться в спеціальній печі-дозаторі. Розплавлену масу подають у металічну форму, яка закріплена в патроні чи на планшайбі спеціальної установки. При обертанні форми розплавлена маса під дією відцентрової сили рівномірно розташовується з внутрішньої частини форми і застигає. Форму розкривають і виймають виріб.

Екструзію, неперервне видавлювання пластмаси через мунштук, застосовують для виготовлення труб, профільних виробів, ізоляції для провідників тощо. Виготовлення таких виробів відбувається за допомогою спеціального пристрою – екструдера (рис 16.4).

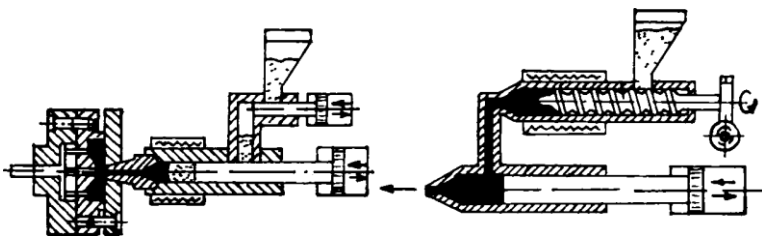


Рис. 16.4.

Прес-порошок, який поступає із бункера в робочий циліндр, просувається штоком або поршнем через декілька зон нагріву і нагрівається до пластичного стану. На кінці циліндра знаходиться мундштук, отвір якого формує профіль виробу. Мундштуки змінні, тому на одному і тому ж екструдері можна виготовляти вироби різної форми: циліндричної, шестикутної, прямокутної тощо).

Плівки з пластмас можна виготовляти екструзією, каландруванням та методом поливу.

Способом екструзії плівки отримують так. За допомогою екструдера отримують труби, наприклад, з поліетилену. Трубу на виході з мундштука роздувають нагрітим повітрям до 0,2 – 2 м. Після охолодження плівку змотують у рулон.

Методом каландрування плівку отримують також і з термопластів. Розм'якшений термопласт пропускають через систему валиків, пара останніх з яких є калібруючими. Товщина виготовлених плівок – 0,05 – 1 мм.

Целулоїдну кіно і фотоплівку виготовляють способом поливу. На рухому стрічку конвеєра через фільтру з вузькою, щілиною подається полімер, розчинений в органічному розчиннику. Далі в спеціальній камері розчинник випаровується, а плівка намотується в рулон. Таким чином отримують дуже тонкі та прозорі плівки.

Ряд особливостей має технологія виготовлення виробів з склопластиків. Вони мають високу міцність, хімічну стійкість та малу гігроскопічність, для формування виробів з них треба високий тиск і відносно висока температура.

Вихідними матеріалами є: зв'язуючі – поліефіри, епоксидні та фенолформальдегідні смоли; мономери – стирол, метилметакрилат, а також ненасичені поліакрилатні ефіри – зшиваючі агенти; ініціатори – перекиси та гідроперекиси в поєднанні з пластифікаторами; активатори – нафтенат кобальту, диметиланімін

для прискорення хімічних реакцій; наповнювачі – скломати, склотканини, різані скловолокна, фарбники.

Виготовлення корпусних крупногабаритних деталей з склотканини, склошпона і скломатів відбувається способом контактного формоутворення. Викрійки з наповнювача укладають на форму – шаблон. Після прокатування валиками на наповнювач наносять смолу із затверджувачем і прискорювачем затвердіння. Таким же чином формують і наступні шари до необхідної товщини виробу.

Після нанесення шарів виріб витримують 10 – 12 годин при 18 – 20 °С. Подальшу обробку проводять після додаткової витримки протягом 4 – 5 діб.

Форми виготовляють з металу, цементу, гіпсу, деревини, а змащують проти прилипання полівініловим спиртом, змішаним з гліцерином і водою.

При виготовленні крупногабаритних корпусних деталей (кузовів автомашин, корпусів човнів, тощо) використовують **вихрове напilenня**.

Скловолокно і поліефірні смоли із затверджувачем та прискорювачем наносять на форму-шаблон спеціальним пульверизатором. Маса, нанесена на форму-шаблон, ущільнюється роликками, затвердіває при кімнатній температурі протягом 0,5 – 8 годин. Час затвердіння залежить від температури. При вихровому формуванні в якості наповнювачів використовуються скловолокна із скручених ниток.

Пластмаси добре обробляються в твердому стані точінням, фрезеруванням та свердлінням на металообробних верстатах. Вони добре шліфуються, поліруються.

Нероз’ємні з’єднання із пластмас отримують **зварюванням** та **склеюванням**. Утворення нероз’ємного з’єднання відбувається в результаті дифузії молекул полімеру або хімічної реакції приєднання.

Найбільш поширеним методом зварювання є **зварювання нагрітим повітрям** або газом з присадочним матеріалом або без нього. Схеми зварювання показані на рисунку 16.5.

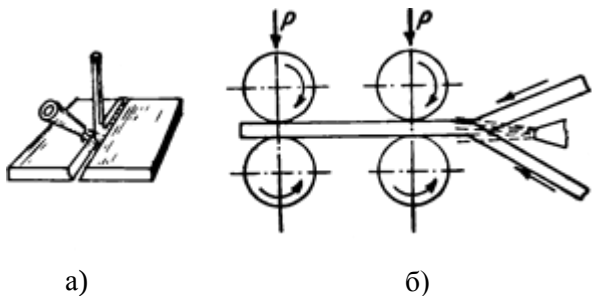


Рис. 16.5.

Часто також використовується зварювання нагрітим інструментом (роликом рис. 16.5, б) та струмом високої частоти. Зварювання струмом високої частоти характеризується високою міцністю, продуктивністю та якістю.

Можна здійснювати зварювання пластмас ультразвуком. Нагрівання місць з'єднання здійснюється теплом, яке виділяється при дії ультразвукових коливань на пластмасу.

Склеювати пластмаси можна між собою та з іншими матеріалами (металом, гумою, деревиною, шкірою тощо). Міцність та надійність з'єднань за допомогою склеювання залежить від правильного вибору клею та дотримання технології склеювання.

Гума є продуктом переробки (вулканізації) природного або штучного каучуку. Вона має ряд важливих технічних властивостей. Найважливішою з них є висока еластичність, тобто здатність до великих пружних деформацій (до 1000 %). Крім того, вона добре протистоїть стиранню, багатократному розтягу та згинанню, має високу стійкість проти дії мастила, рідкого палива та ряду інших середовищ. Гума – добрий діелектрик, газо і гідростійкий матеріал, у невулканізованому стані має здатність до легкого формоутворення.

Гумові технічні вироби застосовують для виготовлення:

- 1) коліс (камер і покришок) транспортних засобів;
- 2) шлангів, рукавів для подачі рідин, пари та повітря;
- 3) пасів для клино і плоскостових передач;
- 4) ущільнюючих прокладок, сальників, манжет, клапанів, мембран тощо;
- 5) амортизаційних деталей (опор, гумових підвісок, буферів тощо);
- 6) електроізоляційних матеріалів (ізоляцію для провідників, ізоляційні килими, засоби індивідуального захисту від ураження

струмом);

7) деталей хімічних апаратів, будівельних конструкцій, повітро- і водоплавальних засобів тощо.

Каучук є природним або синтетичним полімером з високою еластичністю

На даний час для виготовлення гуми переважно використовують синтетичний каучук. Уперше синтетичний каучук був отриманий у 1932 році з дивінілу – продукту переробки етилового спирту.

Для виготовлення гуми крім каучуку потрібні: вулканізатори, прискорювачі, активатори, наповнювачі, протистаріючі речовини, фарбники та ін.

Виготовляють гуму в такій послідовності: пластифікація каучуку; приготування гумової суміші; формування із суміші заготовок або виробів; вулканізація виробів.

Пластифікація здійснюється на спеціальних черв'ячних пресах або багатовальцевих машинах. Нарізаний на шматочки каучук при температурі 40 – 50 °C розминається до в'язкого стану і змішується з порошкоподібними добавками. З метою здешевлення гуми, в каучук додають регенерат – продукт переробки старої гуми. Вулканізуючою речовиною частіше всього служить сірка (до 4 %). Щоб прискорити вулканізацію добавляють оксиди свинцю і магнію (0,5 – 2,5 %). Наповнювачами служать тальк, крейда, сажа та ін. В якості наповнювача використовуються також і тканини (корд, рукавні тканини тощо). Не всі наповнювачі пасивні, тобто тільки збільшують об'єм гуми. Наприклад сажа, крейда підвищують механічні властивості гуми.

Азбест, каолін покращують хімічну стійкість гуми. Протистаріючими речовинами є парафін, віск. Вони запобігають окисленню каучуку, але, з іншого боку, це приводить до втрати еластичності гуми.

Пластифікатори (бітум, парафін, олії) покращують еластичність гуми, підвищують їх морозостійкість.

З метою придання гумі певного кольору до суміші додають мінеральні або органічні фарбники. Формування листової гуми відбувається на спеціальних машинах – каландрах. За конструкцією каландри подібні до триваликового прокатного стану. Верхній та середній валики каландра підігрівають до 60 – 95 °C, а нижній охолоджують до 15 °C. Гумова маса направляється в зазор між

верхньою парою валиків, нагрівається від них і охоплює середній валик. Далі попадає в зазор між середнім і нижнім валиками, де охолоджується і потрапляє на підкладочну тканину (марлю). Після цього сира

гума разом з тканиною намотується на дерев'яний барабан. У такому стані вона може зберігатись до трьох місяців. Сира листова гума використовується для формування виробів.

Після формування напівфабрикатів та виробів їх піддають вулканізації, яка може бути гарячою (в присутності сірки при 120 – 150 °С), холодною (виріб на 0,5 – 3 хв. занурюють у розчин напівхлористої сірки в бензолі) і газовою (виріб періодично обробляють сірчистим газом, сірководнем). Холодну і газову вулканізацію застосовують переважно для дрібних виробів.

При вулканізації лінійна структура каучуку перетворюється в просторову.

Профільні вироби (шланги, шнури, полоси) виготовляють методом шприцювання – видавлюванням сирової гуми через спеціальну матрицю. Після видавлювання вироби вулканізують.

Вироби, які потребують армування, виготовляють пресуванням. Сиромугову суміш або прогумовану тканину вкладають у нагріту прес-форму і гідравлічним пресам стискають. Суміш приймає необхідну форму і вулканізується. Таким способом, наприклад, виготовляють клиноподібні паси, муфти, ущільнюючі кільця тощо.

Вироби складної форми, а також габаритні, виготовляють литтям під тиском. Розігріта сира гумова суміш з циліндра видавлюється штоком через литникові канали в форму. Оскільки гумова суміш нагріта, то одночасно з формоутворенням відбувається вулканізація виробу.

При вмісті в гумовій суміші більше 25 % вулканізуючої речовини отримують тверду гуму – ебоніт. Його застосовують як надійний електроізоляційний матеріал. Він також має високу хімічну стійкість, легко обробляється різанням, але нетеплостійкий.

Гума має властивість старіння, швидко руйнується в тривалому напруженому стані та під дією світла. Тому треба знати особливості експлуатації і зберігання гумових виробів. Найкраще коли гумовий виріб в процесі роботи зазнає пружної деформації. Зберігати гумові вироби треба в ненапруженому стані, в затемнених приміщеннях, без наявності агресивних середовищ. Наприклад, гумові шланги при зберіганні не можна скручувати в рулон, бо його

внутрішня сторона буде стиснута, а зовнішня – розтягнута. Це призведе до появи тріщин, як на внутрішній так і на зовнішній сторонах шланга. Листову гуму при зберіганні не можна перегинати або скручувати в рулон. Камери коліс зберігаються в напівнакачаному стані. Для запобігання руйнування покриттів коліс транспортних засобів від дії світла при відкритому зберіганні техніки колеса фарбують білою фарбою

Питання для самоконтролю

1. Чим обумовлене використання пластмас у техніці
2. Що є сировиною для виготовлення пластмас
3. Які є способи формоутворення виробів з пластичних мас
4. Які фактори впливають на властивості виробів виготовлених з пластмас
5. Від чого залежать властивості гуми?
6. Які особливості зберігання виробів з гуми?
7. Як виготовляють з гуми вироби складної форми?
8. Як отримують тверду гуму (ебоніт)?

Завдання для самостійної роботи

З'ясуйте технологію виготовлення камер і покриттів для автомобілів

ЛІТЕРАТУРА

1. Бодрова Л.Г. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156
2. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернівці:2025, С 54-55
3. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів.-Чернівці: 2001, с.105-119.
4. Гетта. В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. – Чернівці:
5. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
6. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Львів: Світ, 2006, с.624.

Тема 17. Деревина та матеріали з неї. Будова дерева.

Будова дерева

Будова деревини в поперечному, повздовжньому та тангенціальному перерізу

Клітинна будова деревини

Вологість деревини та методи її визначення

Вироби з деревини

Деревина широко використовується в техніці, як будівельний матеріал, та сировина для виробництва целюлози, паперу, етилового спирту, синтетичного каучуку, різних лаків, фарб, кормових дріжджів, хвойної муки тощо.

Основними частинами дерева є коріння, стовбур та крона.

Коріння утримує дерево у вертикальному положенні,

всмоктує з ґрунту воду з розчиненими в ній мінеральними солями та вуглекислотою, передає її в стовбур та крону і зберігає запас поживних речовин. Коріння окремих дерев використовують на виробництві. Наприклад, коріння сосни використовують при виробництві скипидару та каніфолі.

Стовбур – це основна частина дерева. Його умовно розділяють на комель та вершину. Комель дає товарну деревину.

Крона дерева включає вершину стовбура, гілля, листя. У листях під дією сонячних променів відбувається фотосинтез, завдяки якому в ньому утворюються поживні речовини для дерева та кисень, який розсіюється в оточуючому середовищі. Крона, образно кажучи, є лабораторією по виробництву кисню. Продукти фотосинтезу водою переносяться в стовбур і до коренів. Вершина, гілля, сучки використовуються в подрібненому вигляді для виробництва різних плит.

Для вивчення будови деревини роблять такі розрізи: поперечний, радіальний і тангенціальний (рис. 17.1).

Макробудову деревини добре видно при невеликому збільшенні (через лупу) і навіть неозброєним оком.

У поперечному перерізі більшість порід мають серцевину, ядро, заболонь, камбій, луб і кору.

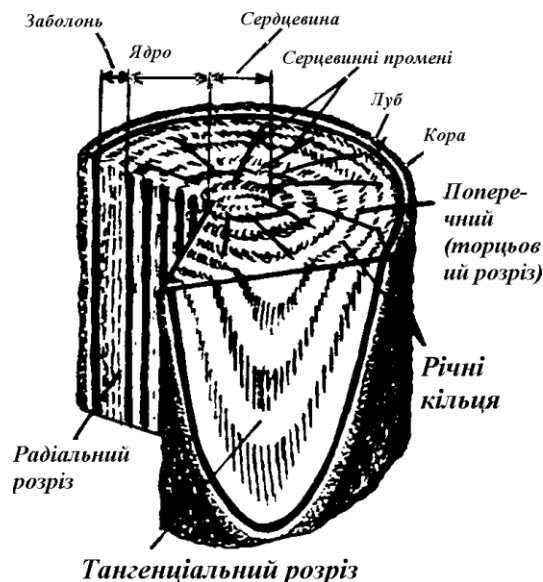


Рис. 17.1.

Серцевина розташована в центрі стовбура. Її розмір 2-5 мм в діаметрі. Колір темнуватий.

Ядро становить основну частину стовбура. За ядром розташована заболонь. Вона дещо світліша за ядро. Але так не в усіх порід деревини. У берези, липи, вільхи, грабу, клена, груші та інших ядро відсутнє, замість нього центральну частину стовбура заповнює заболонь. Такі породи називаються заболонними. До ядрових відносяться хвойні породи (сосна, ялина, модрина, кедр) і листяні (дуб, липа, тополя, верба, горобина, яблуня та ін).

Породи, у яких забарвлення деревини по перерізу однакове, і центральна частина має менше вологи, ніж периферійна, називаються зрілодеревинними. Деревина таких порід називається зрілою. До таких порід належать ялина, ялиця, модрина, осика, бук та ін.

За ядром розташований тонкий шар деревини – камбій. Він складається з живих клітин, тобто таких, які дають приріст стовбуру дерева.

За камбієм розташований луб. Товщина його в різних порід різна, але невелика 1 – 4 мм. Наприклад, у липи вона досягає 4 мм. Луб проводить воду з поживними речовинами з крони до

кореневої системи.

Кора – зовнішній шар стовбура дерева. Вона виконує захисні функції: утримує вологу, запобігає різкій зміні температури центральної частини стовбура, захищає дерево від механічних пошкоджень.

Щорічний приріст деревини в поперечному перерізі утворює кільця. Вони складаються з двох зон – ранньої і пізньої деревини. Рання утворюється весною, а пізня – літом і осінню. Рання зона більш світла, рихла, має малу міцність. Пізня темна, більш густа, міцніша.

У повільноростучих дерев кільця вузькі (дуб, самшит), у швидкоростучих – широкі (тополя, верба та ін.).

У радіальному перерізі річні кільця мають вигляд повздовжніх паралельних ліній, а тангенціальному – параболічних кривих.

У деревині всіх порід є серцевинні промені. В окремих порід деревини (дуб, бук) вони широкі, добре видні неозброєним оком. В інших – серцевинні промені вузькі, слабо- помітні. У сукупності вони утворюють гарний рисунок (текстуру).

У стовбурі деревини хвойних порід є вертикальні та горизонтальні смоляні ходи – тонкі, заповнені смолою канали. Горизонтальні ходи проходять серцевинними променями і з'єднуються з вертикальними. Деревина має клітинну будову.

Основна по масі частина стовбура складається з трахеїд, судин і лібриформ. Судини є тільки у листяних порід. Вони мають форму трубок різного діаметру. У залежності від розмірів і розташування судин по річному шару розрізняють кільцесудинні та розсіяносудинні породи. В кільцесудинних породах судини розділяються за розмірами на крупні та дрібні. Крупні зосереджені в ранній зоні річного шару і утворюють пористе кільце. Дрібні розташовуються в різних зонах річного шару і мають світле забарвлення.

У розсіяносудинних порід судини розташовуються рівно- мірно по річному кільцю. До них належать береза, осика, вільха, липа, клен та ін.

Дерево для росту і розвитку споживає багато води. Вона постачає поживні речовини з ґрунту через корені та стовбур до крони, приймає участь у фотосинтезі в листях дерева, переносить

продукти фотосинтезу від листя до клітин дерева і плодів. Завдяки воді дерево накопичує поживні речовини для росту та розвитку клітин. Накопичує також поживні речовини для зимування. У воді, яка знаходиться в дереві, містяться жири, вуглеводи, різні солі. Це запобігає їй замерзанню зимою. Якщо ж у воді виявиться мало мінеральних та органічних речовин, вона замерзне. Судини, клітини, капіляри лід розірве і дерево загине. Ось чому при дуже великих морозах в лісі можна почути сильний тріск.

Наявна вода і в деревині. Шляхом висушування її можна зменшити. Оскільки деревина пориста, то вологість висушеної деревини під впливом оточуючого середовища може змінюватись.

Розрізняють зв'язану (гігроскопічну) та вільну (капілярну) вологість. Зв'язана волога знаходиться в стінках кліток, тому її важко видалити з деревини. Вільна волога з деревини видаляється значно легше, ніж зв'язана. Вільна волога також менше впливає на механічні властивості деревини. Крім того, розрізняють абсолютну вологість та відносну. Під абсолютною вологістю розуміють кількість води в 1 м³ деревини. Відносна вологість W – це відношення кількості видаленої вологи до маси зразка абсолютно сухої деревини.

$$W = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \quad \text{—}$$

де m – маса зразка до сушки; m_0 – маса того ж зразка, висушеного в сушильній шафі.

На виробництві вологість деревини визначають ваговим та електричним методами.

Для визначення вологості ваговим методом беруть зразок розмірами 20х20х30 мм, зважують з точністю до 0,01 г і висушують у сушильній шафі при температурі 103 ± 2 °C протягом 12 – 24 годин. Після охолодження сухий зразок зважують і знаходять вологість деревини.

Вологість електричним методом знаходять за допомогою спеціального приладу. Його робота базується на тому, що волога, яка є в деревині, проводить електричний струм. Чим більше води в деревині, тим більша його електропровідність, а, значить, тим

більше значення струму покаже прилад. Якщо

шкалу приладу проградувати в значеннях вологості, то стрілка приладу відразу покаже вологість деревини. Оскільки у різних порід деревини різна розчинність солей (носіїв струму), то при одній і тій же вологості покази приладу для різних порід будуть різні. Тому шкалу приладу градуують для сосни, а вологість інших порід деревини знаходять, користуючись таблицею, яка додається до приладу. Як відомо, провідність також залежить від температури. Тому, якщо температура оточуючого середовища відхиляється від 20 °С, то до показів приладу вносять температурну поправку.

Вимірювання вологості деревини електричним методом значно швидше, ніж ваговим. При введенні спеціальних електродів в поверхню деревини, стрілка приладу показує значення вологості.

Якщо вологість деревини нижче 30 %, то в ній знаходиться тільки зв'язана волога. Стандартною вологістю деревини вважається вологість, рівна 12 %.

3 вологістю деревини пов'язані явища усушки, волого поглинання, розбухання та ін.

Використання деревини як конструкційного матеріалу визначається її механічними властивостями. Їх визначають у спеціальних лабораторіях шляхом випробовувань на розтяг, стискування, статистичного згинання, кручення тощо.

Твердість деревини визначають специфічними приладами (твердомірами) принцип роботи яких заснований на вдавлюванні в деревину металевої кульки певного діаметру.

За ступенем твердості всі породи деревини розділяють на дуже тверді (акація, граб та ін.), тверді (береза, бук, в'яз, ясен та ін.), м'які (сосна, ялина, липа та ін.).

Деревина має багато вад – порушень будови, погіршення якості тощо. Вади деревини можна розділити на первинні, які виникли в процесі росту дерева, і вторинні, які виникли на заготовленій деревині або виробках з неї.

Усі вади можна розділити на дев'ять груп: сучки, грибкові ураження, вади форми стовбура, ураження комахами, сторонні включення і вади деформації.

Вади дуже впливають на якість деревини, особливо тріщини, сучки, гнілі тощо. Вони знижують її механічні властивості та сортність.

шкалу приладу проградувати в значеннях вологості, то стрілка приладу відразу покаже вологість деревини. Оскільки у різних порід деревини різна розчинність солей (носіїв струму), то при одній і тій же вологості покази приладу для різних порід будуть різні. Тому шкалу приладу градуують для сосни, а вологість інших порід деревини знаходять, користуючись таблицею, яка додається до приладу. Як відомо, провідність також залежить від температури. Тому, якщо температура оточуючого середовища відхиляється від 20 °С, то до показів приладу вносять температурну поправку.

Вимірювання вологості деревини електричним методом значно швидше, ніж ваговим. При введенні спеціальних електродів в поверхню деревини, стрілка приладу показує значення вологості.

Якщо вологість деревини нижче 30 %, то в ній знаходиться тільки зв'язана волога. Стандартною вологістю деревини вважається вологість, рівна 12 %.

З вологістю деревини пов'язані явища усушки, волого поглинання, розбухання та ін.

Використання деревини як конструкційного матеріалу визначається її механічними властивостями. Їх визначають у спеціальних лабораторіях шляхом випробовувань на розтяг, стискування, статистичного згинання, кручення тощо.

Твердість деревини визначають специфічними приладами (твердомірами) принцип роботи яких заснований на вдавлюванні в деревину металевої кульки певного діаметру.

За ступенем твердості всі породи деревини розділяють на дуже тверді (акація, граб та ін.), тверді (береза, бук, в'яз, ясен та ін.), м'які (сосна, ялина, липа та ін.).

Деревина має багато вад – порушень будови, погіршення якості тощо. Вади деревини можна розділити на первинні, які виникли в процесі росту дерева, і вторинні, які виникли на заготовленій деревині або виробках з неї.

Усі вади можна розділити на дев'ять груп: сучки, грибкові ураження, вади форми стовбура, ураження комахами, сторонні вclusions і вади деформації.

Вади дуже впливають на якість деревини, особливо тріщини, сучки, гнілі тощо. Вони знижують її механічні властивості та сортність.

Завдяки своїм властивостям деревина використовується у виробництві як у природному, так і в переробленому стані.

Природну деревину використовують у вигляді пиломатеріалів – продукції лісопильного виробництва, яка отримана шляхом поздовжнього розпилювання стовбура дерева (колодок, кряжів). Найбільш поширеними пиломатеріалами є дошки, рейки та бруски (рис. 17.2).

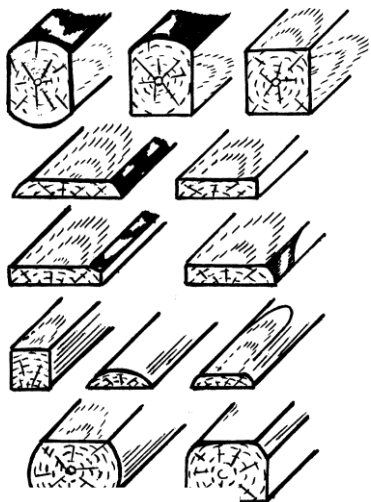


Рис. 17.2

На виробництві та в побуті деревина широко використовується в переробленому вигляді. З неї виготовляють фанеру, столярні, деревостружкові та деревоволокнисті плити тощо.

Фанера – це листовий матеріал, який отриманий шляхом склеювання шпону (широкої, рівної стружки деревини).

Шпон отримують трьома методами – лушенням, струганням та розпилюванням. Для виготовлення фанери використовують лушений

шпон. Його отримують шляхом лушення (розвертання) кряжа (колоди) деревини на спеціальних верстатах. Кряж розпарюється, закріплюється в центрах верстата і приводиться в повільний обертальний рух. Збоку до кряжа підводиться широкий ніж, над яким знаходиться направляюча планка.

Ніж автоматично заглиблюється в деревину і знімає тонку широку стружку, яка і є шпоном. Для виготовлення фанери можуть використовувати різні породи деревини. Частіше її виготовляють з берези, вільхи, ясена, дуба, клена, осики та хвойних порід. Для виготовлення фанери може бути використаний шпон з різних порід деревини. Склеюють шпон фенолформальдегідними, карбамідними та іншими клеями. Вид клею впливає на водостійкість та міцність фанери. Найбільш міцною та водостійкою фанерою є бакелізована – виготовлена з березового шпону і склеєна фенолформальдегідним клеєм.

У залежності від якості шпону верхніх шарів фанери встановлені п'ять її сортів: А/АВ; АВ/В; В/ВВ; ВВ/С; С/С. Найвищий сорт – А, найнижчий – С. Фанера може бути трьох-, п'яти-, семи-, восьми- і багатошарова. Непарність кількості шарів дає можливість їй краще згинатись в одному з напрямків.

Струганий шпон використовується переважно для оздоблення плит, фанери тощо. Він виготовляється шляхом зняття тонкої стружки з кряжа вздовж волокон. Струганий шпон виготовляється з цінних порід деревини і має приємну текстуру. Пиляний шпон виготовляється теж з цінних порід деревини шляхом її розпилювання вздовж волокон. Товщина його декілька міліметрів. Застосовують його при виготовленні меблів як оздоблювальний матеріал.

Столярні плити – тришарові щити, які складаються з наповнення, обклеєного з двох сторін шпоном. Наповненням служать рейки, деревоволокнисті плити, папір тощо.

Столярні плити випускаються таких типів:

НР – з щитів, виготовлених з несклеєних рейок;

СР – з щитів, виготовлених зі склеєних між собою рейок;

БР – з блочно-реечних щитів;

БШ – з блочно-шпонових щитів.

Деревостружкові плити (ДСП) виготовляються шляхом гарячого пресування стружки із зв'язуючою речовиною (сечовиною і фенолформальдегідними смолами). ДСП класифікуються за способом пресування, за конструкцією плит, за видом оздоблення поверхні, за типом зв'язуючої речовини, за густиною та іншими фізико-механічними показниками.

Використовують ДСП у мебельній промисловості, будівництві, радіотехнічній промисловості, машинобудуванні та в інших галузях.

Як оздоблювальний матеріал дуже широко використовуються **деревоволокнисті плити** (ДВП). Це листовий матеріал, який виготовляється з деревини, подрібненої до волокнистого стану. На спеціальних рубильних машинах відходи деревини подрібнюються і відливаються на металічні сітки. Волокна деревини зближуються між собою до відстані міжмолекулярної взаємодії.

При необхідності в подрібнену масу деревини додають добавки, які роблять плити вогнетривкими, декоративними тощо.

Степенем подрібнення відходів деревини регулюють твердість ДВП.

На даний час виготовляють ДВП таких марок: м'які – М4 і М12; напівтверді – НТ100; тверді – Т350 і Т400; зверхтверді – ЗТ500.

Питання для самоконтролю

1. З'ясуйте різницю в будові різних порід деревини?
2. Вільна і зв'язана волога в деревині ?
3. Способи висушування деревини?
4. Як визначити твердість деревини?
5. Які вади характерні для різних порід деревини?
6. Як виготовляється шпон з деревини та де його використовують?
7. Яка різниця між столярними, деревостружковими і деревоволокнистими плитами

Завдання для самостійної роботи

З'ясуйте яких вимог треба дотримуватись при висушуванні деревини

ЛІТЕРАТУРА

1. Бодрова Л.Г. Технологія конструкційних матеріалів та матеріознавство Тернопіль:2023 с.156
2. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів методичні рекомендації. Чернігів:2025, С 56
3. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. – Чернігів: 2001, с.119-126.
4. Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум. – Чернігів: с. 283
5. Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301
6. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Львів: Світ, 2006, с.624.

*Редакційно-видавничий відділ НУЧК імені Т. Г. Шевченка,
14013, м. Чернігів, вул. Гетьмана Полуботка, 53,
тел. (0462) 941-102
nuchk.tipograf@gmail.com
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової
інформації
серія KB № 23743-13583 ПР від 06.02.2019 р.*