

А.М. Власенко, О.Ю. Співак

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ
СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ**

Міністерство освіти і науки України
Вінницький державний технічний університет

А.М. Власенко, О.Ю. Співак

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ
СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ**

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник для студентів теплоенергетичних спеціальностей. Протокол №8 від 29 березня 2001р.

Вінниця ВДТУ 2002

Рецензенти

В. Р. Сердюк, доктор технічних наук, професор

А. Ф. Пономарчук, доктор технічних наук, професор

В. Г. Дзись, кандидат технічних наук, доцент ВДАУ

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Власенко А.М., Співак О.Ю.

В 58 **Матеріалознавство для студентів теплоенергетичних спеціальностей** Навчальний посібник.- Вінниця: ВДТУ, 2002.- 104 с.

В посібнику подано відомості про основи матеріалознавства та металознавства. Розглянута теорія термічної обробки металів. Висвітлені технологічні властивості і проблеми використання основних конструкційних та експлуатаційних матеріалів. Посібник розроблений у відповідності з планом кафедри та програмою до дисципліни "Матеріалознавство та технологія матеріалів".

ПЕРЕДМОВА

Основною причиною написання даного навчального посібника є практично повна відсутність необхідної навчальної літератури з матеріалознавства українською мовою, а та що існує не задовольняє потреб і специфіки підготовки інженерів теплоенергетичних і теплотехнічних спеціальностей. Разом з тим, перебудова навчального процесу вищій школі, скорочення годин аудиторних занять під безпосереднім керівництвом викладача, збільшення частки часу самостійної підготовки студентів, яка стає одним із головних засобів професійного навчання, потребує відповідного навчально-методичного забезпечення, особливо при підготовці до практичних і лабораторних занять, курсового та дипломного проектування.

Запропонований навчальний посібник розроблений відповідно до навчальної програми дисципліни “Матеріалознавство та технологія матеріалів”, що читається у ВДТУ для студентів спеціальностей “Теплоенергетика” і “Теплогазопостачання та вентиляція” і містить відомості про основи матеріалознавства, теорію термічної обробки металів, класифікацію, фізико-хімічні, технологічні властивості і використання основних конструкційних, будівельних та експлуатаційних матеріалів. Це дозволяє на науковій основі вибирати їх для виготовлення різних деталей теплотехнічного устаткування, призначати необхідну термообробку відповідних сталей і сплавів, робити повноцінну і якісну заміну матеріалів при ремонті обладнання, правильно вибирати і використовувати теплоізоляційні і прокладні матеріали при монтажі і ремонті трубопроводів різноманітного призначення.

Автори щиро вдячні рецензентам за поради та зауваження, врахування яких сприяло покращанню змісту даного навчального посібника і сподіваються, що матеріал посібника буде корисним не лише студентам, а й інженерам-експлуатаційникам теплоенергетичного та тепломеханічного обладнання.

1 СТРУКТУРА МЕТАЛІВ

1.1 Кристалічна будова металів

Метали і їх сплави можуть знаходитись в чотирьох агрегатних станах: газоподібному, рідкому, твердому кристалічному, твердому аморфному.

Метали в твердому стані характеризуються такими ознаками:

- високою теплопровідністю і електропровідністю;
- позитивним коефіцієнтом електричного опору;
- термоелектронною емісією;
- високим альбедо (відбивною здатністю);
- підвищеною здатністю до пластичної деформації.

Найбільш поширеним є використання металів і їх сплавів в твердому полікристалічному стані. Метали, якщо їх отримують звичайним способом, є полікристалічними тілами, які складаються з великої кількості дрібних ($10^{-1}-10^{-5}$ см), кристалів які різноорієнтовані один відносно одного.

Основною ознакою, за якою тіло вважають кристалічним, є не зовнішня форма тіла а його внутрішня будова. Кристалічне тіло в твердому стані характеризується певним, закономірним розміщенням атомів в просторі, що утворюють просторову (кристалічну) решітку. Решітка складається з ряду паралельних кристалографічних площин, що знаходяться на визначеній відстані одна від одної. У вузлах кристалічної решітки знаходяться атоми або позитивно заряджені іони. Кожна кристалічна решітка складається з багатьох елементарних кристалічних комірок, які мають різну кількість атомів або іонів. Під елементарною кристалічною коміркою розуміють найменший комплекс атомів, який при багаторазовому повторенні в просторі дозволяє відтворити кристалічну решітку.

Для більшості чистих металів і їх сплавів найбільш характерними є три типи кристалічних решіток:

- кубічна об'ємноцентрована решітка (ОЦК, рис 1.а), в елементарній комірці якої міститься дев'ять атомів. Чорні кружки, що зображують атоми містяться в центрі і по вершинах куба. Такий тип решітки мають літій, натрій, калій, ванадій, молибден, вольфрам, ніобій, тантал, хром, титан (β -фаза) при 885-1720°C, α -залізо при температурах нижче 910°C і вище 1401°C тощо.

- кубічна гранецентрована решітка (ГЦК, рис 1.б), в елементарній комірці якої знаходиться 14 атомів. Таку решітку мають мідь, золото, срібло, алюміній, свинець, платина, нікель, кальцій, γ -залізо при 910-1401°C тощо;

- гексагональна решітка з щільною упаковкою атомів (ГПУ, рис.1.в), в елементарній комірці якої знаходиться 17 атомів, Таку решітку мають магній, цинк, кадмій, титан (α -фаза) до 885°C, телур, берилій, гафній, осмій та інші.

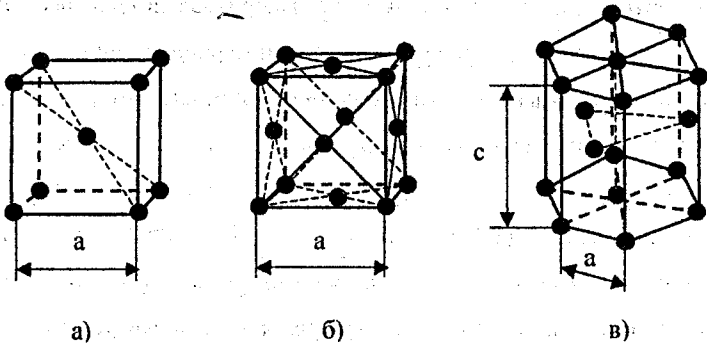


Рисунок 1 - Елементарні комірки кристалічних решіток

Розміри кристалічних решіток характеризуються відстанню між центрами сусідніх атомів, які знаходяться в вершинах елементарних комірок, - параметром або періодом решітки. Кубічні решітки визначаються одним параметром – довжиною ребра куба a , а гексагональна двома: a і c , або їх відношенням c/a . Відстань між центрами сусідніх атомів вимірюють в ангстремах. Для кубічних решіток різних металів $a=2,86\div 6,07\text{Å}$, для гексагональних $a = 2,28\div 3,98\text{Å}$; $c = 3,57\div 6,52\text{Å}$.

Утворення кристалічної решітки атомами металів зумовлюється ме-

талічним зв'язком. Суть його у наступному. Згідно з теорією металічного стану, у всіх, або в деяких атомів з вузлів кристалічної решітки, окремі валентні електрони, що знаходяться на зовнішній електронній оболонці, відриваються і вільно переміщуються між позитивно зарядженими іонами і атомами, що залишилися, утворюючи електронний газ. Ці електрони при неперервному русі в кристалічній решітці одночасно притягуються до декількох позитивно заряджених іонів, що і забезпечує металічний зв'язок між ними.

В залежності від числа атомів металу, які втрачають електрони і стають позитивно зарядженими іонами, загальна кількість вільних електронів може бути різною, що і зумовлює різні властивості в різних металах: тепло- і електропровідність, пластичність тощо.

Елементарні кристалічні комірки заповнені атомами з різною щільністю, тобто мають різну компактність. Наприклад, в ОЦК-решітці один атом знаходиться в центрі куба і в восьми вершинах знаходиться вісім атомів, котрі одночасно належать восьми сусіднім елементарним komórкам. Значить, на кожен елементарну ОЦК-комірку припадає $1 + (1/8) \cdot 8 = 2$ атоми. Це число атомів для ОЦК-решітки називають базисним. Решітка ГЦК має базисне число $(1/8) \cdot 8 + (1/2) \cdot 6 = 4$ (див рис. 1), а ГПУ – 6. Щільність елементарної комірки в різних кристалічних решіток різна, тобто, об'єм, який займають атоми, різний. Щільність кристалічної комірки характеризується координаційним числом K , яке вказує на число атомів, що знаходяться на рівній і найменшій відстані від даного атома, воно характеризує розподіл сил взаємного зв'язку між атомами.

Чим вище координаційне число, тим більша щільність упаковки атомів. Якщо провести площини в komórках, в деяких визначених напрямках, то в різних площинах виявиться різне число атомів. Неоднакова щільність атомів в різних напрямках викликає в них різні механічні і фізичні властивості кристала.

Різниця властивостей металів в залежності від напрямку прикладен-

ня дії на зразок називається анізотропією, а самі метали – анізотропними тілами. Так, наприклад, якщо з монокристала заліза вирізати в різних напрямках кілька зразків, то, в залежності від напрямку вирізання, модуль пружності цих зразків може змінюватися з 290000 до 135000 МПа.

Метали, які затверділи при звичайних умовах, складаються з великої кількості по різному орієнтованих кристаликів, тому властивості цих металів будуть приблизно однаковими по всіх напрямках, однак, варто лише на заготовку подіяти якимось чином (наприклад куванням, прокаткою чи волочінням), як кристалики орієнтуються приблизно в напрямку дії і заготовка набуває анізотропних властивостей.

1.2 Дефекти кристалічної будови металів

Кожен реальний кристал завжди має дефекти в своїй будові. Їх ділять на точкові, лінійні, двовимірні і тривимірні.

а) точкові дефекти

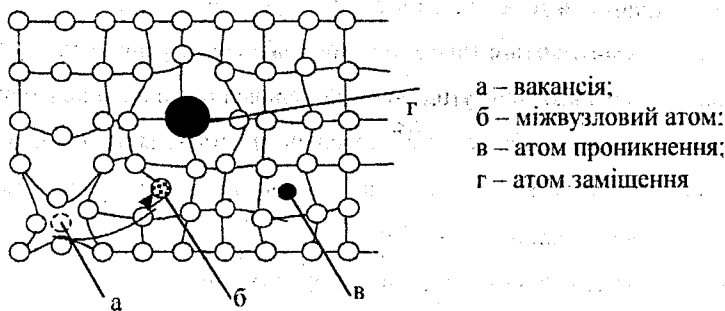


Рисунок 2 - Точкові дефекти кристалу

Ці дефекти малі у всіх трьох вимірах і їх розміри не перевищують декількох атомних діаметрів. До них відносять вакансії, міжвузлові атоми, атоми заміщення, атоми проникнення.

Вакансії (дефекти Шотткі) найчастіше утворюються в результаті переходу атомів з вузла решітки на поверхню і рідше – переходу атома з свого місця в міжвузловий простір. Кристал, який знаходиться при даній тем-

пературі в термодинамічній рівновазі, має рівноважну концентрацію теплових вакансій. При цьому в кристалі утворюються не лише одиничні вакансії, а подвійні, потрійні і їх угруповання. Більшість вакансій є подвійними (дивакансії).

Міжвузлові атоми (дефекти Френкеля) утворюються в результаті переходу атома з вузла кристалічної решітки в міжвузловий простір. На місці атома, який вийшов з кристалічної решітки утворюється вакансія.

Примісні атоми – атоми іншого матеріалу деформують кристалічну решітку кристала внаслідок відмінності своїх розмірів від розмірів атомів основного металу, заміщаючи атоми у вузлах кристалічної решітки (див. рис.2,в), або займаючи вільний простір між вузлами основної решітки (рис.2,г).

б) лінійні дефекти Мають малі розміри в двох вимірах і більші в третьому. Це може бути ряд вакансій або міжвузлових атомів. Особливими і найважливішими видами точкових дефектів є дислокації: крайові і гвинтові.

Крайова дислокація (рис.3,а) – локальне спотворення кристалічної решітки, яке викликане присутністю в ній лишньої атомної напівплощини. Дислокаційні лінії не обриваються всередині кристалу, вони виходять на його поверхню, закінчуються на інших дислокаціях або утворюють замкнуті дислокаційні петлі.

Гвинтова дислокація (рис.3,б) утворюється зсувом кристалу відносно площини Q . Якщо гвинтова дислокація утворюється рухом проти годинникової стрілки, то її називають лівою, а за стрілкою – правою. Навкруги дислокацій, на відстані декількох міжатомних діаметрів виникають спотворення кристалічної решітки. Енергія спотворення є однією з найважливіших дислокацій будь-якого типу. Критерієм цього спотворення є **вектор Бюргерса**. Якщо в ідеальній решітці провести контур (контур Бюргерса) навкруги будь-якого місця (рис.3,б), тобто відкласти визначену кількість параметрів решітки навкруг цього місця, то контур Бюргерса за-

мкнеться.

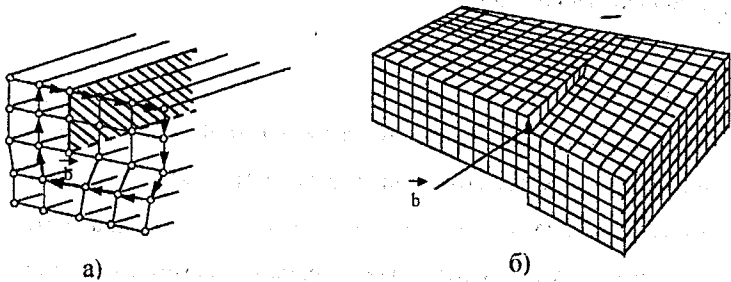


Рисунок 3 - Вектор Бюргерса в крайових і гвинтових дислокаціях

Як видно з рис.3, в реальній решітці, яка містить дислокації, контур Бюргерса не замкнеться, тобто число параметрів решітки по різні сторони дислокації буде відрізнятися на величину \vec{b} , яка називається вектором Бюргерса. Для крайової дислокації вектор Бюргерса перпендикулярний лінії дислокації, а для гвинтової - паралельний.

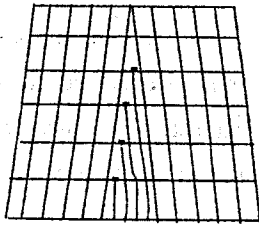


Рисунок 4 - Дислокаційна будова малокутових границь

в) під *поверхневими (двовимірними) дефектами* розуміють порушення кристалічної решітки, що мають великі розміри в двох вимірах і малі в третьому. Це: - *двійники* - симетрична переорієнтація областей кристалічної решітки всередині двійникового простору з дзеркальним відображен-

ням решітки основної частини кристалу;

- *границі субзерен*. Дослідження будови металів показали, що зерна в полікристалах не є монолітними, а складаються з окремих блоків (субзерен), повернутих одне відносно одного на малий кут. Границі субзерен в металах прийнято розділяти на малокутові ($\alpha < 5^\circ$) і великокутові ($\alpha > 5^\circ$). Малокутові границі (рис.4) мають дислокаційну будову:

г) *об'ємні (тривимірні) дефекти* кристалічної решітки – мікротріщини, пори, великі включення інших тіл.

1.3 Будова сплавів

Чисті метали як конструкційні матеріали майже не використовують внаслідок того, що їх фізико-хімічні властивості рідко задовольняють вимоги інженерів. Якщо в чисті метали додати (легувати) інші метали або металоїди, то можна отримати сплав з іншими властивостями, часто кращими, ніж в чистого металу.

Сплави складаються з двох і більше основних елементів, які називають компонентами. За числом компонентів сплави ділять на подвійні, потрійні тощо. Сплави, які отримані переважно з металічних компонентів і мають металічні властивості (див. розділ 1.1) називають металічними сплавами. Сплави мають також кристалічну будову і при кристалізації за звичайних умов їх можна отримати у вигляді механічної суміші, твердого розчину і хімічної сполуки.

Механічна суміш утворюється тоді, коли при кристалізації компоненти сплаву повністю нерозчинні в твердому стані. Метали, що утворюють такі сплави, зберігають свою кристалічну решітку. Таку будову має, наприклад, сплав свинцю із сурмою. При розгляданні шліфа цього сплаву під мікроскопом видно кристалики свинцю і сурми.

Як правило, механічні суміші утворюють метали, які різко відрізняються атомними об'ємами і температурою плавлення. Наприклад, температура плавлення свинцю 327°C , а сурми 631°C , їх кристалічні решітки неоднакові: в свинцю ГЦК, а в сурми ромбоєдрична. Властивості сплавів – механічних сумішей залежать від співвідношення кількості їх компонентів.

Твердий розчин утворюється тоді, коли компоненти сплаву взаємно розчиняються один в одному і в рідкому, і в твердому стані. Це однофазне (однорідне) кристалічне тіло, котре має один тип кристалічної решітки,

тому що в решітку основного компонента входять атоми розчиненого компонента.

При цьому можливе утворення твердих розчинів двох типів: твердих розчинів **заміщення** (рис.5,а,б) і твердих розчинів **проникнення** (рис.5,в). Крім того, на базі хімічних з'єднань можливе утворення твердих розчинів віднімання.

В твердому розчині заміщення атоми Б розчиненого елемента заміщують атоми розчинника А в його кристалічній решітці. При цьому параметри решітки розчинника змінюються в залежності від різниці атомних діаметрів розчиненого елемента і розчинника.

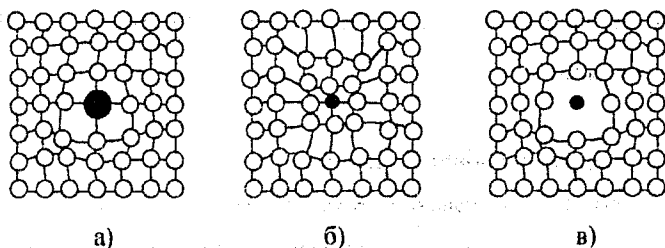


Рисунок 5 - Схеми твердих розчинів і спотворень їх кристалічної решітки

В твердому розчині проникнення атоми Б розчиненого елемента розміщуються між атомами А розчинника в його кристалічній решітці. Для утворення твердого розчину проникнення необхідно, щоб відношення атомного радіуса розчиненого елемента до атомного радіуса розчинника було $\leq 0,59$. При утворенні твердих розчинів проникнення параметр решітки завжди збільшується, що призводить до значних спотворень решітки. Тверді розчини проникнення, як правило, отримують тоді, коли в метали розчиняють неметалічний елемент: (водень, кисень, вуглець, бор тощо).

В твердому розчині вилучення, що утворюється на базі хімічного

з'єднання, атоми розчиненого елемента заміщують атоми розчинника у вузлах кристалічної решітки, але окремі її вузли залишаються незайнятими (порожніми). Це робиться тоді, коли на базі хімічного з'єднання (наприклад закису заліза FeO) отримують твердий розчин розчиненням одного з елементів (кисню), що складають хімічну сполуку (FeO). Розчинення проходить не заміщенням атомів заліза атомами кисню, а витяганням деякої кількості атомів заліза з вузлів кристалічної решітки хімічної сполуки FeO , в результаті чого утворюються порожні місця (дірки).

Хімічна сполука утворюється при сплавленні різних металів, або метала з неметалом. Хімічна сполука – однорідне кристалічне тіло, що має свою решітку з впорядкованим розміщенням в ній атомів компонентів і свої специфічні властивості, що відрізняються від решіток і властивостей вихідних компонентів.

1.4 Діаграми стану подвійних сплавів

Діаграми стану є графічним зображенням всіх перетворень, які проходять в сплавах, в залежності від температури і концентрації компонентів. Перетворення в сплавах при нагріванні або охолодженні залежать від того, які фази при цьому утворюються. Під фазою розуміють однорідну частину системи, відділену від інших поверхнею розділу. Наприклад: однорідна рідина є однофазною системою, а вода з льодом – двофазною. Система може складатися з одного або декількох компонентів, наприклад, система залізо-вуглець складається з двох компонентів: заліза і вуглецю, а система нікель-мідь-алюміній з трьох.

Розрізняють чотири головних типи діаграм стану подвійних сплавів: механічну суміш, твердий розчин з необмеженою розчинністю компонентів, твердий розчин з обмеженою розчинністю компонентів і хімічну сполуку. Діаграми стану подвійних сплавів будують в двох вимірах: по осі ординат відкладають температуру, а по осі абсцис – концентрацію. Загальний вміст двокомпонентного сплаву в будь-якій точці абсциси дорівнює 100%, а крайні ординати відповідають чистим компонентам. Кожна точка на діаграмі стану показує стан сплаву даної концентрації при даній температурі.

Правило фаз. Воно встановлює залежність між числом компонентів, числом фаз і числом ступенів свободи системи. Під числом ступенів свободи (варіантністю) системи розуміють число зовнішніх і внутрішніх факторів (температура, тиск і концентрація), яке можна змінювати без зміни числа фаз в даній системі.

Правило фаз для металічних систем виражається рівнянням:

$$C = K + 1 - \Phi \quad (1)$$

де: C – число ступенів свободи системи;

K – число компонентів в системі;

Φ – число фаз, що знаходяться в рівновазі;

1 – число зовнішніх змінних факторів (температура).

В процесі затвердіння чистого металу система безваріантна: ($K=1$, $\Phi=2 \rightarrow C=1+1-2=0$). В системі не можна змінювати зовнішній фактор (температуру) не змінюючи числа фаз і рівноваги в системі. Якщо подвійний сплав знаходиться в розплавленому стані, то маємо: $K=2$, $\Phi=1 \rightarrow C=2+1-1=2$ – біваріантну систему. В цьому випадку існують різні температури і концентрації при яких не змінюється число фаз і рівновага в системі.

Для побудови діаграм стану користуються методом диференційного термічного аналізу. Сплави, як правило, досліджують в інтервалі температур. Температура початку первинної кристалізації, при якій утворюються

зародки твердої фази, називається температурою *ліквідус*, а температура кінця первинної кристалізації, при якій тверднуть останні краплі рідини – температурою *солідус*. Лінії на діаграмах, які відповідають таким температурам в певному інтервалі концентрацій називають за температурами: лінією ліквідус і лінією солідус.

Найбільш легкоплавкий сплав системи, первинна кристалізація якого протікає при сталій температурі, називається *евтектичним сплавом*, а структура, що отримується при кристалізації рідкого розчину евтектичного складу, називається *евтектикою*.

Лінія ліквідус за своєю фізичною суттю є лінією насичення, тобто вказує насичений склад рідкого розчину. Тому в інтервалі температур кристалізації сплавів рідкий розчин неперервно змінює свій склад, рухаючись по лінії ліквідус. При температурі кристалізації евтектики у всіх сплавів залишок рідкого розчину набуває евтектичного складу і кристалізується евтектика (механічна суміш двох компонентів).

Прийнято сплави, розміщені вліво від евтектичного, називати *доевтектичними*, а розміщені вправо – *зоевтектичними*.

Правило відрізків. Кількісне співвідношення фаз або структурних складових визначається правилом відрізків, згідно з яким в даному сплаві при заданій температурі кількість структурних або фазових складових прямо пропорційна величині протилежних відрізків (рис.6.а). Нехай в сплаві 1 при температурі t_1 відрізок ad приймемо за 100% сплав, тобто $Q_{жр} + Q_{кр B} = Q_{заг 1}$, згідно з правилом відрізків:

$$Q_{жр} = (ka/ad) \cdot 100\% \quad Q_{кр B} = (ak/ad) \cdot 100\%;$$

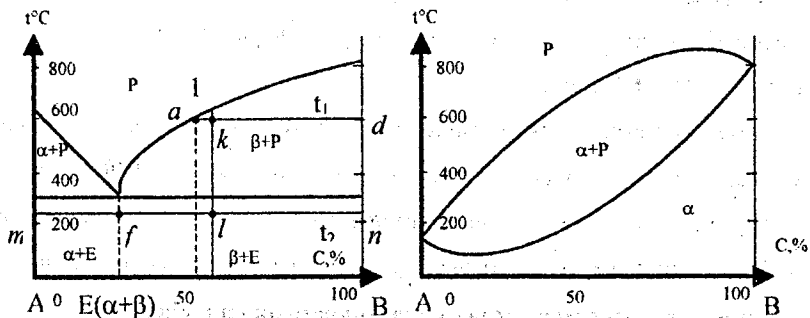
При температурі t_2 в цьому сплаві фазами є кристали А і В. Тоді, якщо за 100% прийняти відрізок mn :

$$Q_{кр A} = (ln/mn) \cdot 100\% \quad Q_{кр B} = (ml/mn) \cdot 100\%;$$

Кількість евтектики в сплаві 1, якщо за 100% прийняти відрізок fn :

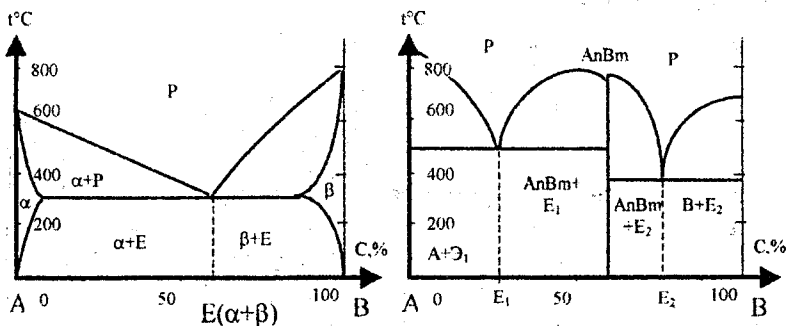
$$Q_{евт} = (ln/fn) \cdot 100\%.$$

Діаграма стану 1 типу: На цій діаграмі показана кристалізація сплавів, обидва компоненти яких необмежено розчинні один в одному в рідкому стані, а в твердому утворюють механічну суміш (рис.6,а).



а

б



в

г

Рисунок 6 - Головні діаграми стану двокомпонентних систем

За такою діаграмою кристалізуються подвійні сплави свинець-сурма, хром-марганець, нікель-хром тощо.

Діаграма стану 2 типу. За цією діаграмою кристалізуються сплави, обидва компоненти яких необмежено розчинні один в одному і в рідкому і

в твердому вигляді і не утворюють хімічних сполук (Cu-Ni, Fe-Cr, Ag-Au тощо). Діаграма зображена на рис.6,б.

Діаграма стану 3 типу. За цією діаграмою кристалізуються сплави, обидва компоненти яких необмежено розчинені один в одному в рідкому вигляді, обмежено розчинні в твердому і не утворюють хімічних сполук (Cu-Au, Cd-Zn, Pb-Sn тощо).

Діаграма стану 4 типу. Вона характеризує подвійні сплави, обидва компоненти яких необмежено розчинні один в одному в рідкому стані, а при твердненні утворюють стійку хімічну сполуку типу A_mB_n . За діаграмою 4 типу кристалізуються сплави Mg-Zn, Mg-Cu, Fe-Zr, Fe-Nb та інші.

1.5 Зв'язок між діаграмою стану і властивостями сплавів.

Н.С. Курнаков встановив зв'язок між діаграмою стану, структурою сплавів і їх властивостями.

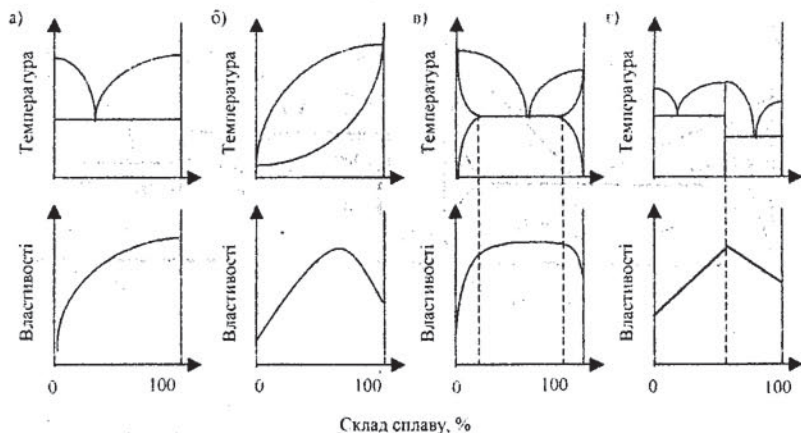


Рисунок 7 - Залежність властивостей сплаву від виду діаграми стану

В сплавах, які тверднуть за діаграмою 1 (рис.7,а) в твердому стані міститься механічна суміш вихідних компонентів. В залежності від складу сплаву в його властивостях будуть переважати властивості того компонента, якого більше в сплаві. Зміна цих властивостей відбувається за лінійним законом.

Властивості сплавів, що тверднуть за діаграмою типу 2 змінюються по кривій. Це зв'язано з тим, що внаслідок спотворень кристалічної решітки розчинника твердий розчин має більш високу міцність і твердість, ніж вихідні компоненти. Однорідні тверді розчини характеризуються підвищеними значеннями твердості і міцності, які більші за середньоарифметичне значення відповідних чистих металів. При цьому висока міцність часто буває з високою пластичністю, тому такі сплави добре обробляються тиском (прокатуванням, куванням, штампуванням), хоча мають невисокі ливарні властивості.

При утворенні твердих розчинів з обмеженою розчинністю (діаграма 3 типу) властивості однофазних твердих розчинів змінюються по кривій лінії, а властивості суміші з двох фаз – по прямій.

Характерною особливістю властивостей сплавів що кристалізуються за діаграмою 4 типу (рис.7,1) є висока твердість, підвищена крихкість, невисока здатність до пластичної деформації і високий питомий електроопір. Концентрація хімічної сполуки відповідає максимуму або мінімуму властивостей (наприклад максимуму твердості і мінімуму пластичності).

2 ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ І ЇХ СПЛАВІВ

Для раціонального використання металів і сплавів необхідно знати їх властивості, які залежать від складу і стану сплавів. Метали, які використовуються в чистому вигляді, часто мають домішки, що значною мірою змінюють властивості самих металів. Наприклад, присутність в міді до 0,1% фосфору знижує її електропровідність в два рази, а 0,5% - в десять раз. Стан металів і сплавів головним чином визначається їх структурою. Метал або сплав який термообробляли, змінює структуру, а значить і властивості.

Властивості металів і сплавів прийнято ділити на фізичні, механічні, хімічні, технологічні і спеціальні.

2.1 Фізичні властивості

До них відносять густину, температуру плавлення, теплове розширення, теплопровідність, електропровідність тощо.

Густина – відношення маси спокою до її об'єму і має розмірність $\text{кг}/\text{м}^3$.

Найбільшу густину серед металів в таблиці Менделєєва має осмій:

$22,6 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$, а найменшу літій: $0,53 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Температура плавлення – температура, при якій метал або сплав переходять в рідкий стан. Найтугоплавкішим металом є вольфрам: $t_{\text{пл}}=3416^\circ\text{C}$, а найлегкоплавкішим – францій: $t_{\text{пл}}=-223^\circ\text{C}$. Чисте залізо має температуру плавлення: $t_{\text{пл}}=1539^\circ\text{C}$.

Теплове розширення металів та сплавів: Приріст об'єму металу при нагріванні внаслідок збільшення рухомості атомів у вузлах кристалічної решітки.

Теплопровідність: Здатність металу передавати тепло від більш нагрітих частин тіла до менш нагрітих. Характеризується коефіцієнтом теплопровідності λ , який має розмірність $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ і показує, скільки тепла може пройти за одиницю часу через площу 1м^2 на відстань 1м перпендикулярно до неї при різниці температур в 1°C на двох протилежних гранях куба.

Електропровідність: здатність металу проводити електричний струм. За одиницю електропровідності приймають величину χ , обернену питомому електроопору. Електропровідність металів і їх сплавів обернено пропорційно залежить від температури: чим вища температура сплавів тим нижча їх електропровідність.

2.2 Механічні властивості металів і сплавів

До них відносять міцність, пружність, пластичність, твердість, в'язкість, в'яккість тощо.

Для визначення механічних властивостей використовують стандартні зразки, які досліджують на розривних машинах, будуючи криві пласти-

чної деформації від відносного видовження зразків (рис.8).

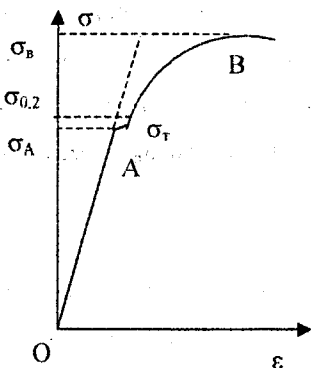


Рисунок 8 - Діаграма розтягнення

Нахил прямої OA показує *жорсткість* металу, що характеризує, як прикладені зовні навантаження змінюють міжатомні відстані в кристалах зразка. Тангенс кута нахилу прямої OA пропорційний *модулю пружності* E , який чисельно дорівнює відношенню навантаження до відносної пружної деформації. Навантаження σ_A відповідає моменту, коли з'являється пластична деформація. σ_T – *межа текучості* – мінімальне навантаження, при якому зразок отримує залишкове видовження без збільшення навантаження. Більшість металів не мають ясно вираженої полицки текучості, і тоді за межу текучості приймають *умовне навантаження* $\sigma_{0,2}$, при якому зразок отримує *залишкову деформацію* 0,2%. Навантаження σ_B відповідає максимальному навантаженню, досягнутому на зразкові при розтягненні до руйнування і називається *межею міцності*.

Величина пластичної деформації, яка досягнена до руйнування – відносне видовження δ характеризує міцність металу, а площа під кривою OAB пропорційна роботі, яку потрібно затратити, щоб зруйнувати даний метал. Цей показник, що визначається різними способами, характеризує *в'язкість* зразка. Показники δ , $\sigma_{0,02}$, σ_T , σ_B є довідковими величинами.

Твердість характеризує здатність металу опиратися проникненню в

нього більш твердого тіла. Існує багато методів визначення твердості вдавлюванням, шкрябанням, пружною віддачею тощо, але найпоширенішими є методи Брінеля (за діаметром відбитка сталевий загартований кульки HB, н/мм²), Роквелла (за глибиною вдавлювання алмазного конуса, HRC і HRA) і Віккерса (за величиною поверхні відбитка чотиригранної алмазної піраміди, HV).

2.3 Хімічні властивості металів і їх сплавів

До хімічних властивостей металів і сплавів відносять їх стійкість проти дії агресивних середовищ : корозійну стійкість, жаростійкість тощо. Не всі метали і сплави однаково успішно опираються дії кислот, лугів, прісної і морської води тощо, і знання хімічних властивостей сплавів дозволяє правильно вибрати їх для конструювання і ремонту різних машин і установок.

2.4 Технологічні властивості

Під технологічними властивостями металів і сплавів розуміють їх здатність до різних видів обробки, наприклад кування, різання, лиття та інших. Їх визначають за технологічними пробами. На практиці найчастіше використовують такі стандартні технологічні проби: на витяжку, згин, перегин, осадку, зварювання, різання, лиття тощо. Про результати технологічних досліджень судять за зовнішнім виглядом зразка після проби або за виглядом готової деталі з даного зразка і за станом інструмента після його обробки.

2.5 Спеціальні властивості металів і сплавів

Під спеціальними властивостями розуміють те, як вони ведуть себе в специфічних умовах: при підвищених і понижених температурах, тисках, а також властивості, які сплави отримують при виплавці завдяки введенню легувальних елементів: жароміцність, зносостійкість, високий електроопір, високу коерцитивну силу і т.д.

3 ДІАГРАМА СТАНУ СИСТЕМИ ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ

В діаграмі стану залізо-вуглець (цементит) розглядаються процеси кристалізації, що протікають в залізовуглецевих сплавах (сталі і білому чавуні) і перетворення в їх структурах, що отримані при повільному охолодженні від розплавленого стану до кімнатної температури (рис.9).

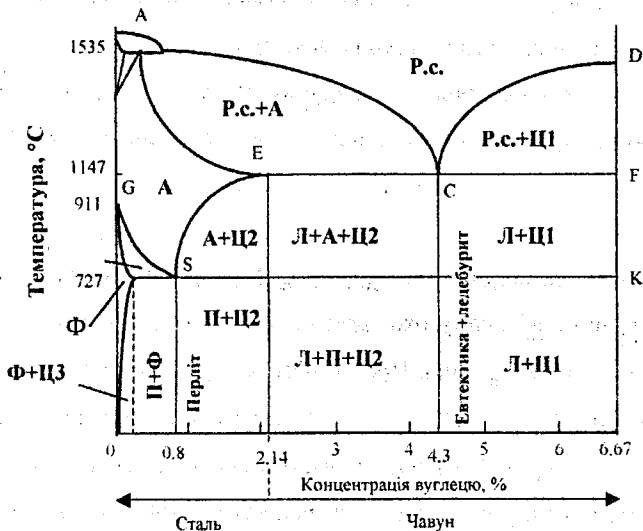


Рисунок 9 - Діаграма стану системи залізо-вуглець

По вертикалі відкладають температуру, по горизонталі – концентрацію вуглецю від 0 до 6,67% (більше 6,67% вуглецю в залізі не розчиняється).

Кристалізація всіх залізовуглецевих сплавів починається з температур лінії ліквідус (ACD). По лінії AC кристалізується аустеніт А, по лінії CD – первинний цементит Ц1. Лінія солідус (AECF). Нижче неї всі сплави заліза з вуглецем знаходяться в твердому стані.

Після тверднення в залізовуглецевих сплавах утворюються такі структури:

а) однофазні:

- ферит (Ф) – твердий розчин вуглецю в α -залізі $Fe_{\alpha}C$. Максимальна

розчинність вуглецю в фериті: біля 0,008% при 20°C і 0,03% при 727°C. Кристалічна решітка – ОЦК. Ферит – твердий розчин проникнення, магнітний і достатньо пластичний. Твердість фериту HB 80-100;

- **аустеніт (А)** – твердий розчин вуглецю в γ -залізі - Fe_3C . Максимальна розчинність вуглецю в аустеніті 2,14%. Кристалічна решітка – ГЦК. Аустеніт є також твердим розчином проникнення, немагнітний, має менший питомий об'єм ніж ферит. Твердість аустеніту HB 180-200;

- **цементит (Ц)** – хімічна сполука заліза з вуглецем Fe_3C . Цементит має складну (ромбічну) решітку, крихкий і має дуже високу твердість: HV1000.

б) двофазні:

- **перліт (П)** – евтектоїд, який є сумішшю фериту і аустеніту. Перліт утворюється при повільному охолодженні з аустеніту при температурі 727°C і містить 0,8% вуглецю. Процес перетворення аустеніту в перліт можна записати: $A_{0,8} \rightarrow П(\Phi_{0,03} + Ц_{6,67})$. В залежності від форми часток цементиту перліт може бути пластинчастим або зернистим. Твердість пластинчастого перліту середньої дисперсності HB 200-250, зернистого – HB 160-220;

- **ледебурит (Л)** – евтектика, що є сумішшю аустеніту і цементиту. Утворюється при кристалізації рідкого розчину постійного складу (4,3% C), при температурі 1147°C. Ледебурит має дуже високу твердість HV800 і крихкий.

Сплави, що містять вуглецю до 2,14% називають сталями, а ті, вміст вуглецю в яких знаходиться в межах 2,14% < C < 6,67%, називають чавунами.

Чавун, який містить 4,3% вуглецю кристалізується при температурі 1147°C. Його структура є рівномірною механічною сумішшю аустеніту і первинного цементиту. Такий чавун називають евтектичним або ледебуричним. Чавуни, з вмістом вуглецю менше 4,3%, називаються доевтектичними.

ми, їх кристалізація починається від температур, які лежать на лінії AC, з виділенням аустеніту, і закінчується на лінії EF, при цьому утворюються структури ледебуриту, аустеніту і вторинного цементиту. Вторинний цементит при зниженні температури виділяється з аустеніту і коли, при температурі 727°C його залишиться 0,8% аустеніт переходить в перліт. Доевтектичні чавуни широко використовуються промисловістю, в тому числі і в теплотехнічних та сантехнічних виробках (труби, запірна арматура тощо). Вони слугують також сировиною для отримання кувального чавуну.

Чавуни, які містять вуглецю більше 4,3%, називаються заевтектичними. Їх кристалізація починається на лінії CD з виділенням первинного цементиту і закінчується на лінії CF. При повному повільному охолодженні в заевтектичних чавунах утворюється структура ледебуриту і первинного цементиту.

При твердненні сталі з розплаву (лінія солідус AE) утворюється аустеніт. При подальшому зниженні температури з аустеніту виділяються ферит і вторинний цементит. В точці S з вмістом вуглецю 0,8%, при 727 аустеніт розпадається, утворюючи рівномірну суміш фериту з цементитом – перліт. Така сталь називається евтектоїдною. Сталь, в якій вміст вуглецю менше 0,8% називають доевтектоїдною, а більше 0,8% - заевтектоїдною. Розпад аустеніту в доевтектоїдній сталі проходить по лінії GS, з виділенням фериту. При подальшому пониженні температури концентрація вуглецю в аустеніті, що залишився, зростає і при досягненні її 0,8% при температурі 727°C аустеніт переходить в перліт. В заевтектоїдній сталі початок розпаду аустеніту проходить по лінії SE з виділенням вторинного цементиту. Коли вуглецю залишається 0,8%, при температурі 727°C аустеніт переходить в перліт. Таким чином структура заевтектоїдних сталей : перліт і вторинний цементит. Більш детально стальний кут діаграми стану розглянемо при виборі термообробки сталей.

4 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ (ТО)

4.1 Класифікація видів термообробки

Термічна обробка – процес дії на сплав певними температурами, в результаті якого змінюються його структура і властивості. Процес ТО складається із нагрівання до певної температури, витримки при цій температурі і охолодження із заданою швидкістю.

Будь-який процес термообробки можна описати графіком, який показує зміни температури в часі (рис. 10). За таким графіком можна визначити температуру нагріву, час нагріву і охолодження, середні швидкості нагріву, загальну тривалість ТО і час витримки при тій чи іншій температурі.

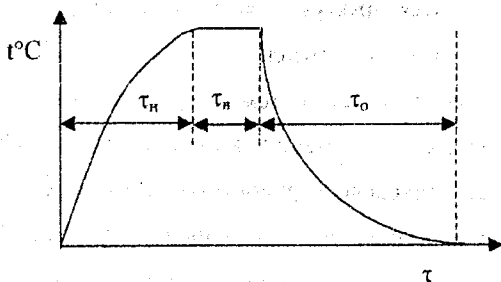


Рисунок 10 - Графік (режим) простої термообробки

Але за виглядом такого графіка не можна визначити, з яким видом термообробки ми маємо справу: Вид термообробки визначається не характером змін температури в часі, а типом фазових перетворень в металі.

Опираючись на цю ознаку А.А. Бочвар розробив класифікацію, що описує багаточисленні різновиди термообробки металів і сплавів.

На основі цієї класифікації розроблені класифікації видів і різновидів ТО сталей, кольорових металів і їх сплавів, а також відповідна технологія ТО. На рис. 11 показана схема основних видів термообробки.

Власне термообробку можна розділити на 4 великих групи:

- **перша група.** Попередня обробка могла привести метал в нестійкий

стан: (холодна пластична деформація, тверднення з розчину тощо). Термообробка, яка приводить метал в стійкий стан, знімає напруги, усуває відхилення від рівноважного стану називається *відпалюванням першого роду*;

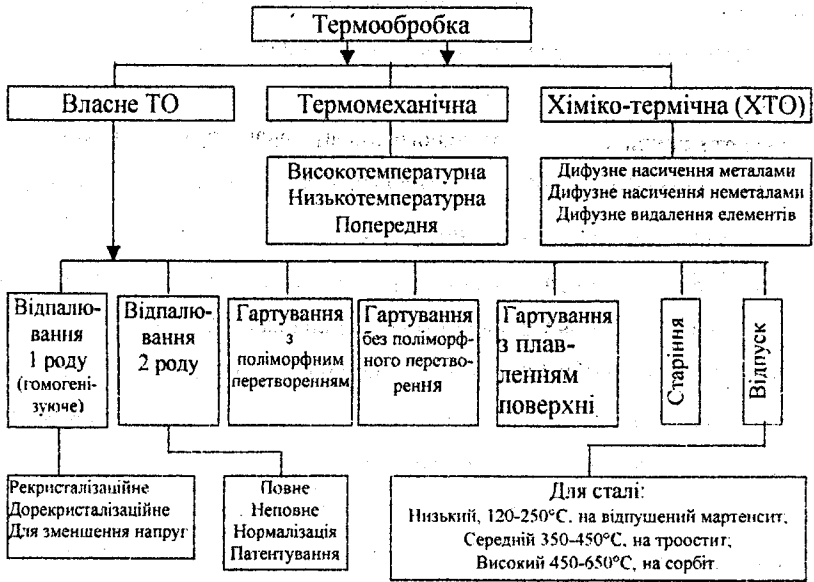


Рисунок 11 - Схема видів термообробки

- друга група. Якщо в сплавах при нагріві є фазове перетворення, то нагрів вище деякої критичної температури викличе зміни в будові сплаву. При подальшому охолодженні пройде зворотне перетворення. Якщо охолодження проходить досить повільно, то перетворення відбувається повністю. Така термообробка називається *відпалюванням другого роду* або *фазовою перекристалізацією* і призначена для отримання стійкого стану сплаву з мінімальною кількістю напруг.
- третя група. Якщо в сплаві при нагріві відбуваються фазові зміни, то повнота зворотного (при охолодженні) перетворення залежить від швидкості охолодження. Теоретично можна уявити такі умови охоло-

дження, при яких зворотного перетворення не буде зовсім і при кімнатній температурі зафіксується стан сплаву, характерний для високих температур. Така термообробка називається *гартуванням*. В багатьох випадках гартування не повністю фіксує стан сплаву при високих температурах. Тому крайній випадок гартування, коли стан сплаву при високих температурах фіксується повністю, називають істинним гартуванням;

- **четверта група.** Стан загартованого сплаву характеризується нестійкістю (нерівноважний стан) і з часом сплав старається перейти до рівноважного стану. Нагрів загартованого сплаву підвищує швидкість процесів релаксації загартованого сплаву і в результаті підвищення температури загартований сплав все більше і більше наближається до рівноважного стану. Така термообробка, тобто нагрів сплаву нижче температури фазових перетворень для зняття напруг і отримання більш стабільної структури сплаву, називається *відпуском*.

Всі ці види термообробки відносяться і до сталей, і до сплавів, і до кольорових металів. Кожен з них ділиться на різновиди, специфічні для сплавів на різних основах. Основою для призначення тієї чи іншої термообробки різних сплавів є їх діаграми стану.

Основою для вивчення термічної обробки сталей є діаграма залізо-вуглець (рис.9), але, оскільки ми розглядаємо процеси термообробки сталі, то нас більше цікавлять сплави з концентрацією вуглецю до 2,14%, і, відповідно, будемо користуватись частиною діаграми залізо-вуглець до вмісту вуглецю 2,14%, яку часто називають "сталітним кутом" (рис.12).

На цій діаграмі не нанесена лінія магнітного перетворення при 770°C, бо магнітне перетворення не є фазовим і не супроводжується перекристалізацією і зміною структури. Критичні точки позначаються буквою А. Нижня критична точка, яка позначається А₁ лежить на лінії PSK і відповідає аустенітно ↔ перлітному перетворенню. Верхня критична точка А₃

відповідає початку випадання або кінцю розчинення фериту (цементиту). Щоб відрізнити критичну точку при нагріві і охолодженні в першому випадку біля букви А ставлять букву с (A_{c1} , A_{c3}) і букву г в другому (A_{g1} , A_{g3}).

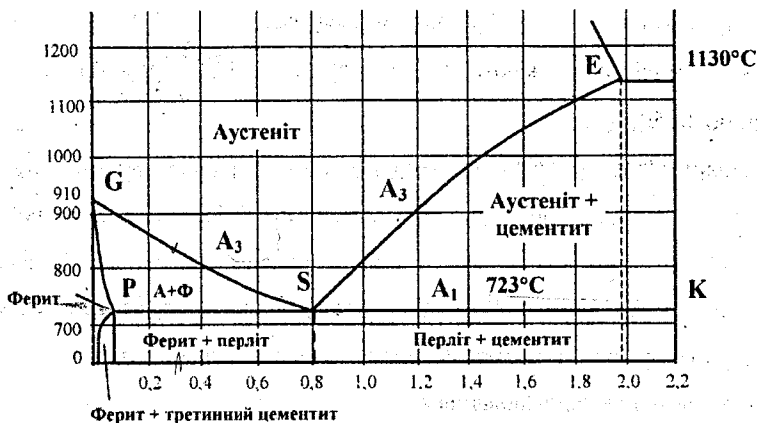


Рисунок 12 - «Стальний» участок діаграми залізо-вуглець

Згідно з класифікацією видів термообробки (рис.11) і з врахуванням позначення критичних точок можна сказати, що:

4.2 Відпалювання – це фазова перекристалізація, суть якої в нагріві вище A_{c1} з наступним повільним охолодженням. У випадку нагріву вище A_{c1} але нижче A_{c3} повна перекристалізація пройти не може, така термообробка називається неповним відпалюванням. При відпалюванні стан сталі наближається до структурно-рівноважного, структурою сталі після відпалювання є перліт+ферит, перліт, або перліт+цементит.

Якщо після нагріву вище A_{c3} провести охолодження на повітрі, то така термічна операція називається **нормалізацією**.

Використовують відпалювання 1 і 2 роду для зняття внутрішніх напруг, покращення структурної однорідності та оброблюваності, і підготов-

ки деталей до наступної термообробки.

Повне відпалювання – супроводжується фазовою перекристалізацією. В результаті крупнозерниста сталь отримує дрібнозернисту структуру, стає м'якою і в'язкою. Повне відпалювання використовують для доевтектоїдних сталей, нагріваючи їх до температур вище лінії GS (A_{c3}) на 20-30°C. Витримують $\frac{1}{4}$ часу нагріву і охолоджують із піччю до 600-400°C. Вуглецеві сталі охолоджують зі швидкістю 100-150°C/год, леговані з швидкістю 30-50°C/год.

Гомогенізацію (дифузне відпалювання) – використовують для злиwkів з метою вирівнювання хімічного складу сталі. Нагрівають зливки до 1000 – 1100 °C, витримують 10 – 15 год. і охолоджують із піччю. Сталь яка пройшла гомогенізацію, має більш високі механічні властивості, особливо підвищується ударна в'язкість. Гомогенізація дає велике зерно, яке зменшується повторним відпалюванням.

Суть неповного відпалювання – в нагріві вище лінії A_{c1} і повільному охолодженні. Неповне відпалювання використовують для доевтектоїдних сталей з метою зняття внутрішніх напруг і покращення оброблюваності різанням, в тому випадку, якщо попередня гаряча механічна обробка не привела до утворення крупного зерна.

Неповне відпалювання до температури 750–760°C є єдиною різновидністю відпалювання для заевтектоїдних інструментальних сталей. Знімає внутрішні напруги в деталях та інструментах і покращує оброблюваність різанням.

Низьке відпалювання використовують для зняття напруг. Сталь нагрівають до 680–700 °C, витримують 1 – 2 год. і охолоджують на повітрі.

Нормалізацію називають нагрів сталі до температури вище A_{c3} на 50-60°C і витримку в печі 2-3 год з наступним охолодженням на повітрі. Використовують для зниження внутрішніх напруг і натягу. Сталь після нормалізації отримує нормальну, однорідну, дрібнозернисту структуру. Об-

робляються відливки і головки. Призначення нормалізації різне, в залежності від складу сталі. Зараз нормалізацію використовують частіше ніж відпалювання внаслідок її простоти, швидкості і дешевизни.

4.3 Гартування - нагрів вище критичної точки A_{c3} з наступним швидким охолодженням. При швидкому охолодженні розпад аустеніту з виділенням цементиту і фериту не встигає пройти і аустеніт (γ -твердий розчин) перетворюється в мартенсит (твердий розчин вуглецю в α -фазі), який має високу твердість: HV850. Мартенситне перетворення носить бездифузний характер, просто при ньому проходить перебудова ГЦК-решітки аустеніту в ОЦК- решітку α -заліза без виділення з розчину вуглецю, що призводить до спотворення кубічної решітки до тетрагональної.

Гартування - термічна операція для надання сталі міцності, твердості, пружності, тобто покращення механічних властивостей. Вона включає нагрівання сталі до температур, які перевищують температури фазових перетворень, витримку при цих температурах і швидке охолодження. Швидке охолодження забезпечують використанням гартувальних середовищ: води, масла, розчинів солей. Для гартування простих вуглецевих сталей рекомендують воду, а легованих – масло. Окремо від традиційних способів гартування в печах стоїть гартування з індукційним нагріванням: спосіб гартування поверхні деталі при її нагріванні струмами Фуко. В цьому випадку поверхня набуває необхідної твердості, а серцевина деталі залишається в'язкою.

Температура гартування для доєвтектоїдних сталей: на $30-40^{\circ}\text{C}$ вище A_{c3} , а для заєвтектоїдних – на стільки ж градусів вище A_{c1} (неповне гартування, для збереження надлишку цементиту, який підвищує твердість загартованої сталі).

4.4 Відпуск - кінцева операція термообробки. Сталь нагрівають нижче A_{c1} , витримують при цій температурі і охолоджують (швидко або повільно). Мета відпуску – усунення або зменшення напруг в сталі, підвищення в'язкості. Правильним виконанням відпуску визначаються кінцеві якості готової загартованої деталі. Температура відпуску коливається в межах – 150-700 °С. Розрізняють високий, середній, низький відпуск. Низький: 150–250 °С, середній: 300–500 °С, для пружин, ресор, столярного і слюсарного інструмента. Високий: 500–650 °С для деталей з конструкційних сталей.

Одним з різновидів відпуску є **старіння** – процес зміни властивостей сплавів без суттєвої зміни мікроструктури. Відомо два види старіння: **термічне** і **деформаційне**. Старіння часто використовується для сплавів кольорових металів, особливо для сплавів на основі алюмінію (дуралюмінів).

4.5 Термомеханічна обробка сталі (ТМО)

Термомеханічною обробкою називають поєднання пластичної деформації сталі в аустенітному стані з гартуванням. Формування структури загартованої сталі при ТМО проходить в умовах підвищеної щільності і оптимального розподілу дислокацій, які зумовлені умовами гарячої деформації.

За першим способом, який називають високотемпературною термообробкою (ВТМО), сталь деформують при температурі вище A_{c3} , при якій сталь має аустенітну структуру. Ступінь деформації складає 20-30%. Після деформації необхідно негайно гартувати деталь, бо можливий розвиток рекристалізації.

За другим способом, який має назву НТМО, сталь деформують в температурній зоні переохолодженого аустеніту, в області його відносної стійкості (400-600°C). Ступінь деформації складає 75-95%. Гартування проводять зразу після деформації.

Після гартування в обох випадках призначають низькотемпературний відпуск (100-300°C). Така комбінована ТМО дозволяє отримати дуже високу міцність ($\sigma_a=2200-3000\text{МПа}$) при добрій пластичності і в'язкості ($\delta=6-8\%$, $\phi=50-60\%$). Для порівняння: після звичайного гартування і низького відпуску $\sigma_a=2000-2200\text{МПа}$, $\delta=3-4\%$. Дуже важливим є те, що одночасно з підвищенням міцності після ТМО зростають пластичність і опір руйнуванню.

4.6 Хіміко – термічна обробка сталі (ХТО)

Це процес в якому поєднано термічний і хімічний вплив на зміну складу, структури і властивостей поверхневого шару сталі. Основана на дифузії в атомно-кристалічну решітку сталі атомів різних хімічних елементів при нагріванні в середовищі, що багате цими елементами.

При ХТО одночасно відбуваються декілька процесів:

- утворення в навколишньому середовищі (реакційному об'ємі) дифундувального елемента в атомарному стані;
- адсорбція атомів (іонів) на поверхню металу з утворенням хімічних зв'язків між іонами основного металу і елемента насичення (хемосорбція);
- дифузія адсорбованих металів від поверхні в глибину металу, що обробляється, основана на законах Фіка.

В результаті цих процесів утворюється дифузійний шар, який за своїми фізико-хімічними показниками відрізняється від основного металу. Основними і найбільш поширеними способами ХТО є:

Цементация : процес дифузійного насичення поверхневого шару вуглецем до концентрації 0,8-1,1 % і отримання після гартування високої твердості поверхні: HV700-800 при відносно м'якій серцевині. Дуже часто використовується для обробки різних валів, осей тощо.

Азотування – дифузійне насичення поверхневого шару азотом. Підвищується зносостійкість, виносливість і опір корозії в середовищі повітря,

води, водяної пари.

Нітроцементация та ціанування. Насичення поверхні деталі одночасно вуглецем і азотом (C+N). Якщо така операція проводиться в газовому середовищі, то її називають нітроцементациєю, а якщо в розплавленій ванні з ціанистих солей то ціануванням.

Борування – насичення поверхні бором. Значно підвищує твердість поверхні оброблених деталей (до HV2000), опір абразивному зношуванню і корозійну стійкість.

Дифузна металізація: Процес насичення поверхні деталей атомами інших металів. Проводиться при температурі 1000-1200 °С, в залежності від виду. Дуже часто використовується для покращення поверхні деталей теплоенергетичного машинобудування, надання їм корозійної стійкості, жароміцності тощо. Традиційними способами отримання таких покриттів є:

- насичення поверхні алюмінієм – алітування (підвищує жаростійкість);
- хромом – хромування (жаростійкість і зносостійкість);
- кремнієм – силікування (кислотоупорність).

Деталі, які необхідно наситити іншим металом, пакують в металеві контейнери з плавкими затворами, нагрівають в печі до заданої температури і витримують декілька годин для отримання дифузійних шарів заданої товщини і структури.

4.7 Практика термообробки

Термообробляють як заготовки (ковані, штамповані, литі тощо) так і готові деталі машин і інструмент. Заготовки піддають ТО для покращення структури, пониження твердості, а готові деталі для надання їм певних властивостей: твердості, пружності, міцності, зносостійкості тощо.

Покращення і отримання нових властивостей в результаті термообробки дає можливість використовувати сплави більш простого складу, що значно поширює області використання багатьох сплавів.

Термообробку проводять в печах: камерних або муфельних. Для термообробки сплавів, які при контакті з гарячим повітрям інтенсивно окислюються і для рівномірності прогріву заготовок використовують соляні гартувальні ванни. В камерних печах для нагрівання печі і деталей використовують відкрите полум'я, а в муфельних - електронагрівання муфеля: масивної ємності, виготовленої з вогнестійкої шамотної глини, яка забезпечує рівномірність нагріву деталей і заготовок (світле відпалювання, газова цементация).

Вимірювання температури при термообробці проводять за допомогою оптичних пірометрів і термопар. Для візуального контролю температури деталі в печі можна користуватися старовинним способом визначання температури "на око", по так званих кольорах каління, яких набуває деталь, нагріта до певної температури:

Кольори каління, °С:

- | | |
|--|-------------|
| • Темно – коричневий (видно в темноті) | 530 – 580 |
| • Темно – червоний (вишневий) | 650 – 720 |
| • Вишнево – червоний | 720 – 770 |
| • Вишнево – яскраво червоний | 770 – 830 |
| • Яскраво – червоний | 830 – 900 |
| • Оранжевий | 900 – 1050 |
| • Темно – жовтий | 1050 – 1150 |

Без приладів температуру відпуску можна визначити за кольорами поверхневої плівки на деталі. Для цього деталь зачищають в якомусь місці до блиску, нагрівають і слідкують за появою кольорів:

Солом'яний – 220 °С

Темно – жовтий – 240 °С

Коричневий – 255 °С

Багряно – червоний – 275 °С

Васильковий – 295 °С

Сірувато – синій – 325 °С

Примітки до практичного використання термообробки:

1. Якщо гартування проводити в воду, то твердість сталі вища ніж в масло.
2. Відпуск проводять не пізніше, як за 24 год. після гартування.
3. Якщо відпуск проводити при верхній межі температури (для вуглецевих сталей – 330 °С, для легованих – 650 °С), то сталь буде більш в'язкою.
4. Критичні температури в одних легованих сталей вище, а в інших нижче ніж в вуглецевих. Такі леговані елементи як Cu, V, W, Si, Ti підвищують температуру гартування, а Mn, Ni, Co, Mg – знижують.
5. Вироби з швидкоріжучої сталі (P18, P9) нагрівають до 800 °С повільно, а потім до температури 1230 – 1300 °С швидко. Це запобігає утворенню теплових напруг. Після закалювання їх охолоджують на повітрі і багаторазово відпускають з температурою 560 – 580 °С, або обробляють холодом після першого відпуску (до – 80 °С).

4.8 Дефекти термообробки.

При неправильній термообробці заготовок і деталей можуть виникнути такі дефекти:

Недогрів – якщо сталь була нагріта до температури нижче критичної.

Виправляють такий дефект відпалюванням, а потім дають нормальне гартування.

Перегрів – температура нагріву набагато вище критичної або деталі перетримані в печі при заданій температурі - перетримка. В цьому випадку в деталі утворюється дуже велике зерно. Виправляють нормалізацією, а потім знову гартують.

Перепад – при нагріві до температури близької до температури плавлення. Деталі при такому дефекті термообробки стають крихкими. Перепад

є невірним браком.

Окислення і декарбонізація – наслідок взаємодії деталей з перегрітими газами. Різко знижується твердість поверхні деталей і зносостійкість.

Короблення і тріщини – наслідки внутрішніх напруг, які виникають при неправильному охолодженні загартованих деталей. Дуже часто проявляються у тому випадку, коли деталь відпускають не зразу після гартування, а через деякий час. Вони є невірними дефектами, тому для попередження їх виникнення рекомендується при конструюванні виробів уникати різких виступів, загострених кутів, переходів від товстих перерізів до тонких тощо. Для деталей, які все ж мають такі конструкційні особливості, рекомендується ізотермічне гартування і виконання відпуску негайно після гартування.

5 СТАЛІ І СПЛАВИ НА ОСНОВІ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ

5.1 Вплив легуючих елементів на властивості сталі.

Вуглецева сталь - сплав заліза з вуглецем (до 2,14 %). Головним елементом, який визначає властивості цих сталей є вуглець. Він знаходиться в сталі у вигляді цементиту і підвищує твердість, пружність, міцність, зменшує пластичність і опір ударним навантаженням.

Разом із вуглецем в сталі присутні ще багато інших елементів, одні з яких попадають в сталь при її виплавлянні (наприклад, сірка і фосфор), інші попадають в сталь внаслідок спеціального добавляння – легування. Сірка і фосфор - небажані домішки. Сірка викликає червоноламкість (крихкість при підвищенні температури), збільшує втому сталі, зменшує корозійну стійкість. Разом з тим сірка підвищує оброблюваність (особливо на станках-автоматах). Фосфор дає сталі високу крихкість (холодоламкість), особливо з підвищеним вмістом вуглецю. Небажаною домішкою є і кисень. Для підвищення якостей сталей її легують різними елементами. Кожен з них по своєму впливає на властивості сталі.

Хром—підвищує твердість, знижує ржавіння. При вмісті хрому в сталі більше 13% вона стає корозійностійкою.

Нікель—підвищує міцність і пластичність, корозійну стійкість.

Вольфрам – підвищує твердість і червоностійкість.

Ванадій—підвищує густину, міцність, опір ударам та стиранню.

Кобальт—підвищує жароміцність, магнітопроникність.

Молібден—підвищує червоностійкість, міцність, опір окисленню при збільшенні температури.

Марганець—при вмісті > 1% підвищує твердість, зносостійкість, стійкість ударним навантаженням.

Титан—підвищує міцність, опір корозії.

Алюміній—підвищує окалиностійкість.

Ніобій—підвищує кислотостійкість.

Мідь—зменшує корозію.

В сталь вводять також бор, селен, азот, цирконій. В легованій сталі може знаходитись одночасно кілька елементів. В маркуванні прийняті такі буквені позначення: Х- хром, Н- нікель, А- азот, Р- бор, П- фосфор, В- вольфрам, Е-селен, Г-марганець, Д- мідь, Б-ніобій, Ю- алюміній, М- молібден, К-кобальт, Ц- цирконій, Ф- ванадій.

Ці букви разом з цифрами, які стоять після них, утворюють марку сталі.

5.2 Маркування сталей

Вуглецеві сталі маркують таким чином: Букви “Ст” в марці означають “сталь”, а цифри, які йдуть далі – умовний номер марки, з ростом якого в сталі зростає вміст вуглецю, крім того, ГОСТ і ДСТУ передбачають сталі з підвищеним вмістом марганцю (0,8-1,1%) – Ст1; Ст5; Ст3Г, Ст5Г тощо.

Леговані високоякісні і особливо високоякісні сталі маркуються таким чином: вміст вуглецю на початку цифрою, що відповідає вмісту його в сотих долях відсотка, для сталей, що містять $<0,7\%C$ (конструкційні) і в десятих відсотка для сталей, що містять $>0,7\%C$ (інструментальні). Наприклад, Сталь 10 - 0,07-0,14%С, Сталь 45 - 0,42-0,5%С, а У10 - 0,95-1,05%С. Якщо вміст якого-небудь легуючого елемента не перевищує 1,5%, то цифра після букви, яка позначає цей легуючий елемент, показує його вміст у відсотках: 15Х - 0,15%С+1%Сr; 40Х13 - 0,4%С+13%Сr; 35Г2 - 0,35%С+2% Мп.

В кінці високоякісної сталі добавляється буква А, а особливо високоякісної – Ш, наприклад: 40ХНМ - якісна, 40ХНМА - високоякісна. В ливарних сталях в кінці марки добавляють букву Л: 110Г13Л.

Випятки:

1. Всі інструментальні леговані сталі і сплави з особливими фізичними властивостями, нержавіючі і жароміцні сталі завжди високоякісні, тому букву А в кінці марки не вказують.

2. В марках сталей вузького використання вказується їх використання:

- шарикопідшипникові хромисті - ШХ, вміст хрому вказують в десятих до-

лях відсотка - ШХ15 -1%С+1,5%Сг.

- швидкоріжучі мають вміст хрому > 4% і позначаються буквою Р, цифра після неї вказує вміст вольфраму у відсотках, а потім ідуть всі інші легуючі елементи: Р18Ф5, Р6М5.

- електротехнічні сталі позначаються буквою Э, а цифра після неї показує вміст Si у відсотках.

3. Нові сталі, які ще не включені в ДСТУ і поставляються за ТУ позначаються буквами: ЭП і ЭН (Електросталь), ДИ (Дніпроспецсталь) і черговим номером, який дається заводом.

За стандартом SAE (США) конструкційні сталі позначається чотирма цифрами. Перша цифра показує шифр основного легуючого елемента, друга - вміст його у відсотках, третя і четверта - вміст вуглецю в сотих відсотка. Цифри шифру: 1 – вуглецеві сталі (тоді друга 0); 2 – нікелеві сталі, 3 – нікельхромові, 4 – молібденові, 5 – хромисті, 6 – хромованадієві, 7 – вольфрамові, 8 – ванадієві, 9 – кремнисто-марганцеві. Наприклад: 1045 – Ст 45 (1-вуглецева сталь, 45 – вміст вуглецю 0,45%, 5140 – Ст 40Х (5-хромиста сталь, 1 – вміст вуглецю до 1%, 40 – вміст хрому 4%).

5.3 Способи класифікації сталей

Прийнято кілька способів класифікації сталей. Сталі класифікують за хімічним складом, за способом виробництва, за призначенням тощо.

Класифікація за хімічним складом використовується для конструкційних сталей і розрізняє: вуглецеві, хромисті, або складніші (четверні)— хромонікелеві, хромованадієві, для високолегованих сталей не використовується внаслідок високої кількості легованих елементів.

Класифікація за способом виробництва визначає умови металургійного виробництва і контролю сталей, і перш за все вміст шкідливих домішок.

За способом виробництва сталь ділиться:

-спокійна, яка розкисляється марганцем і кремнієм (Mn+Si);

-напівспокійна, розкислена марганцем (Mn);

-кипляча;

В марці сталі, класифікованої за способом виробництва, (як правило, використовується тільки для вуглецевих сталей) додаються букви кп — кипяча, пс - напівспокійна: Ст1, Ст3, Ст3кп, Ст3пс.

а) сталі звичайної якості – вуглецева сталь з вмістом вуглецю до 0,6%С. Виплавляється в конверторах і мартенах, і є найдешевша. Має до 0,06%S і до 0,07%P. Ліквіація сталей звичайної якості більша, ніж в інших сталей. Може мати підвищений вміст неметалевих включень. Використовується сталь звичайної якості як листовий і сортовий прокат для будівельних конструкцій: арматура, болти, труби, невідповідальні паливні пристрої.

б) **якісні сталі**. Такі сталі більш леговані. Виплавляються в основному в основних мартенівських печах з більшими вимогами до складу. Вміст сірки і фосфору (P і S) < 0,035%. Коливання у складі вуглецю в межах марки можуть сягати до 0,08%. Якісні сталі для глибокої витяжки (в листах) - кипячі, для холодної висадки - напівспокійні.

в) **високоякісні сталі** - більш леговані сталі, що виплавляються в електричних і кислих мартенівських печах. Вміст сірки і фосфору в них: (S і P) < 0,025%. Сталі мають підвищені вимоги до вмісту неметалевих включень. Коливання в складі С по марках 0,07%.

г) **особливо високоякісні сталі**. Їх отримують в електрпечах з електрошлаковим переплавом. Вміст сірки S < 0,015%. Коливання вмісту вуглецю і легуючих елементів такі ж, як і в високоякісних сталях. В таких сталях понижений вміст газів. Це підвищує ударну в'язкість, пластичність і контактну витривалість.

За структурою леговані сталі класифікують у відпаленому і нормалізованому станах.

У відпаленому стані сталі класифікують на такі основні структурні класи:

- доєвтектоїдний;
- заєвтектоїдний;
- ледебуритний;
- феритний.

Клас сталі можна визначити в залежності від вмісту в ній вуглецю і легуючого елемента за спеціально побудованими структурними діаграмами.

В нормалізованому стані сталі за структурою ділять на такі класи:

- **перлітний:** сталь з низьким вмістом легуючих елементів, основною структурною складовою цих сталей є перліт;
- **мартенситний:** сталі з більш високим вмістом легуючих елементів. Для таких сталей швидкість охолодження на повітрі більша за критичну швидкість гартування, тому аустеніт при охолодженні перетворюється в мартенсит;
- **аустенітний:** легуючий елемент, введений у великій кількості, сильно знижує температуру початку мартенситного перетворення і вона стає нижчою за кімнатну, в результаті чого в структурі повністю зберігається аустеніт.

Сталі доєвтектоїдного, заєвтектоїдного і перлітного класу є найбільш поширеними легованими сталями для деталей конструкцій і інструмента. Сталі мартенситного класу мають обмежене використання. Сталі аустенітного і феритного класів мають особливі фізичні і хімічні властивості (корозійностійкі, жароміцні та ін.). Сталі ледебуритного класу використовують як інструментальні. Найбільш типовими представниками сталей цього класу є швидкорізи.

За призначенням сталі класифікують на такі:

- будівельні;
- машинобудівні (конструкційні);
- машинобудівні спеціального призначення;
- інструментальні;

- з особливими фізичними властивостями;
- з особливими хімічними властивостями (корозійностійкі).

Остання класифікація є найпоширенішою, тому розглянемо її більш детально.

5.4 Будівельні сталі

Це вуглецеві, а також низьколеговані сталі з низьким вмістом вуглецю: Ст 1, Ст 3кп, 14Г, 18Г2, 16ГС, 14ХГС – анкерні болти, заклепки, листи, кутники, арматура парових котлів 16ГС, 10Г2С1, 14ХГС, армування залізобетонних конструкцій. Метою легування будівельних сталей є підвищення здатності до гартування і механічних властивостей.

Низьколеговані низьковуглецеві сталі добре зварюються, не утворюючи при зварюванні холодних і гарячих тріщин, і властивості зварного з'єднання та участків, що прилягають до нього в зоні термічного впливу близькі до властивостей основного металу.

Для армування залізобетонних конструкцій використовують вуглецеву або низьколеговані сталі у вигляді гладкого прокату або стержнів з періодичним ребристим профілем. Ці сталі діляться на класи А-I ÷ А-VI. Сталі класів А-I, А-II і А-III використовують для ненавантажених конструкцій, а сталі класів А-IV ÷ А-VI для армування попередньо напруженого залізобетону. Властивості деяких арматурних сталей і їх розбивання на класи приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Властивості арматурних гарячекатаних сталей

Клас сталі	Сталь	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
А-I	Ст3(сп, пс, кп)	380	240	25
А-II	Ст5сп2, 18Г2С	500	300	19
А-III	35ГС, 25Г2С	600	400	14
А-IV	80С, 20ХГ2Ц	900	600	6
А-V	23Х2Г2Т	1050	800	6
А-VI	22Х2Г2АЮ, 22Х2Г2Р	1200	1000	6

Сталь, яку використовують для будівельних конструкцій, ділять на умовні класи незалежно від її хімічного складу і марки, враховуючи тільки її механічні властивості при розтягуванні.

Класи сталі для будівельних конструкцій наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Механічні властивості сталей для будівельних конструкцій

Клас сталі	Механічні властивості при розтягуванні		
	Тимчасовий опір розриву, МПа	Межа текучості σ_t , МПа	Відносне видовження δ , %
С 235	360	235	25
С 245	370	245	24
С 255	280	255	24
С 275	390	275	23
С 285	400	285	23
С 345	490	345	21
С 245К	490	345	21
С 375	510	375	21
С 440	600	440	20
С 590	685	590	14
С 590К	688	590	14

5.5 Сталі машинобудівні (конструкційні)

Машинобудівні сталі загального призначення використовуються у всіх областях машинобудування: автомобільній, тракторній, приладо- і станкобудівній тощо: вали, осі, черв'ячні колеса і т.д.. Найбільш важливою характеристикою, за якою вибираються такі сталі, є механічні властивості і їх розподіл за перерізом. Вміст вуглецю визначає властивості сталей і коливається від 0,05 до 0,65%. Легуючі елементи визначають в основному здатність прокалюватися і гартуватися (Ni і Mo підвищують в'язкість).

Конструкційні і спеціальні сталі, які використовуються для виготовлення апаратів, пристроїв і смностей в теплотехніці, особливо ті, які працюють під надлишковим тиском, повинні містити (згідно з контрольно-хімічним аналізом для будь-якої сталі) не більше 0,3%С - при використанні електрозварювання і не більше 0,35%С - при використанні інших видів з'єднань, а також задовольняти вимоги відповідних стандартів.

Сталь для виготовлення теплотехнічного обладнання використовується головним чином у вигляді прокату, (листів, труб тощо) відливок і поковок.

Деталі апаратів і ємностей, в яких робочим середовищем є пара, конденсат, масло, нафта і повітря виконуються з вуглецевих сталей, при умові, що вони не мають прямого контакту з більш агресивним середовищем (морська вода, пари і розчини кислот і лугів). Для зварних сталевих корпусів апаратури, днищ, кришок та інших деталей, що працюють під надлишковим тиском використовують, як правило, сталь марки Ст.3, а для менш відповідальних деталей - Ст.2. Для сталевих трубних дощок, фланців тощо в більшості випадків рекомендується використовувати Ст.4, рідше Ст.5. Сталеві труби виготовляються суцільнотягнутими та суцільнокатаними з вуглецевої сталі за ГОСТом 301.

Деталі апаратів, що вимагають підвищеної міцності або необхідної та достатньої корозійної стійкості, ті, на які діють високі температури, деталі обладнання для харчової і хімічної промисловості, там, де це необхідно, виготовляють з нікелевих, хромонікелевих або більш високолегованих сталей з відповідними фізичними, хімічними і механічними властивостями.

5.5.1 Сталі, що використовуються без термообробки

Це сталі в листах для штампування, витяжки, видавлювання, і т.д. Вони випускаються легованими і слабо легованими. Можуть мати підвищений вміст кремнію, який знижує в них міцність. Леговані машинобудівні сталі більше страждають від цього ефекту, тому вміст кремнію у високолегованих машинобудівних сталях повинен бути незначним. Марки: 10КП, 15КП, Ст3, Ст5Гпс ;

5.5.2 Сталі, що зміцнюються в поверхневому шарі

Це сталі для деталей, що працюють в умовах підвищеного зношування і при динамічних навантаженнях. Їх характерною особливістю є те, що вони зберігають в'язку серцевину після гартування.

Діляться на:

- сталі, що цементуються.

Ці сталі мають низький вміст С (до 0,3 %). Після цементації вони гартуються з досягненням високої твердості тільки в поверхневому шарі. Серцевина таких сталей залишається в'язкою. Вміст вуглецю в поверхневому шарі до 0,8 %. Приклади таких сталей: Ст 20, 15Х, 15ХФ, 15Х2Н4А, 18ХГТ;

- ті, що гартуються з індукційного нагрівання.

Вміст С 0,5 - 0,65 % і при індукційному нагріванні і швидкому охолодженні поверхня цих сталей гартується. Зносостійкість їх нижча, ніж в цементації, але опір напруженням вище. Марки: Ст 45, 55, 60, 45Х, 50Х;

- пониженого прокалювання.

Мають 0,1–0,6% С і приймають гартування. Але завдяки пониженому вмісту Mn і Si і гартуються лише в поверхневому шарі. Розподіл твердості по перерізу рівномірний. Використовуються тільки при високих навантаженнях. Марки: 55 ПП, 58 ПП, 47 ГТ;

- сталі, що азотуються.

Через особливості взаємодії з азотом, що дифундує при азотуванні, використовують сталі леговані хромом і алюмінієм. Вони мають 0,35–0,5%С. Мають високу зносостійкість і твердість (HRC – 69–71). Найкращими сталями для азотування є 38ХМ10А, 30ХТ2М, 40ХНМА, з яких виготовляють стакани циліндрів і шестерні відповідального призначення.

5.5.3 Сталі, що покращуються (зміцнюються по перерізу)

Це сталі, які приймають гартування і містять 0,35 % С – (вуглецеві і малолеговані) та 0,2–0,3 % С – (середньо і високолеговані). Оскільки здатність зміцнюватися на певну глибину визначається впливом легуючих елементів, то вона не однакова для всіх сталей цього типу. Такі сталі мають низьку міцність в деталях малого перерізу, а в деталях великого перерізу вона суттєво відрізняється.

Сталі діляться на такі групи:

- ті, що прогартовуються в деталях до 12–15 мм: Це сталі марок типу 35, 40, 45, 50, 55 – з них виготовляють осі, вали, ротори, штоки, шестерні;

- до 25 – 35 мм:

- а) марганцевисті сталі: 35Г2, 45Г2 – колінвали, кардани, осі, шатуни;
- б) хромисті: 35Х, 40Х, 45Х – осі, вали, шестерні;
- в) хромокремністі: 33ХС, 40ХС – тонкостінні труби, вали високої міцності;
- г) хромованадієві: 40ХФА, 40ХФ2А – колінвали, остання сталь не чутлива до перегріву при гартуванні.

- до 75 мм:

- а) хромансиль (хромомарганцевокремністі): 25ХСА, 30ХГС, 35ХГСА – вузли відповідного призначення, рами, труби;
- б) хромомолібденові: 35ХМ – ротори, ванни, шестерні, циліндри моторів двигунів;

- від 75 до 125 мм:

- а) хромонікелеві: 30ХН3А – вали, штоки, кривошпи високої міцності;
- б) хромонікельмолібденові: 40ХНМА – важконавантажені вали, шестерні, осі;

5.6 Сталі і сплави машинобудівні спеціального призначення

Такі сталі працюють в строго визначених умовах, наприклад на холоді, при нагріванні, при динамічних і гідроабразивних навантаженнях, або для спецпризначення в машинах і приладах: для пружин, електроконтактів, або для деталей, які повинні отримувати при різанні поверхню високої чистоти.

5.6.1 Сталі особливо високої міцності і в'язкості

Це сталі які, зміцнюються в результаті мартенситного перетворення. Вони практично безвуглецеві і складнолеговані нікелем, кобальтом, молібденом, титаном і берилієм. Як правило, такі сталі стійкі проти корозії, теплостійкі і дорогі:

Н18К9М5Т – шестерні, вали, корпуси ракет;

Н10Х12Д2Т – деталі хімапаратури, пружини;

H4X12K15M4T – деталі теплоелектричних установок (500 °C), гарячі штампи.

5.6.2 Жаростійкі та жароміцні сталі

Ці сталі часто використовуються в різних теплотехнічних пристроях, тому розглянемо їх докладніше.

В теплотехніці вироби різного призначення часто працюють при підвищених температурах, високих тисках і механічних навантаженнях і вуглецеві сталі часто не задовольняють вимоги до матеріалу таких виробів. Для роботи при підвищених чи понижених температурах створено цілий ряд сталей, які називають жаростійкими та жароміцними. **Жаростійкість (окалиностійкість)** характеризує опір металу окисленню при високих температурах. Для підвищення окалиностійкості сталь легують елементами, які змінюють склад і будову окалини. Так, в результаті введення в сталь відповідних кількостей хрому, алюмінію та кремнію в процесі окислення на поверхні утворюються міцні окисли Cr_2O_3 , Al_2O_3 або SiO_2 , дифузія кисню через які відбувається дуже повільно. Утворена тонка плівка з таких оксидів утруднює процес подальшого окислення. Чим вищий вміст хрому, алюмінію або кремнію в сталі, тим вища її окалиностійкість і тим вищою може бути робоча температура.

Мінімальний вміст хрому, що забезпечує окалиностійкість, різний при різних температурах. При робочій температурі 900 °C вміст хрому повинен бути не менше 20-25 %. Важливо і те, що окалиностійкість, яка суттєво залежить від складу сталі або сплаву, практично не залежить від його структури, тобто ця властивість структурно нечутлива. **Жаростійкі** сталі стійкі проти газової корозії в повітрі, пічних газах, продуктах згоряння до 900 – 1200 °C.

Жароміцними називають сталі і сплави, здатні працювати під високими механічними навантаженнями при підвищених температурах протягом визначеного часу і маючи при цьому достатню механічну міцність.

X5, X17, 4X9C2, 3X13N7C2 – теплообмінники, труби піролізних установок;

15ХМ, 25Х2МФ – труби пароперегрівачів, арматура парових котлів;

2Х13, 2Х12ВМБФ – лопатки парових турбін;

ХН6ОЮ – листові деталі турбін.

В таблиці 3 приведені склади і механічні властивості сталей та сплавів, що використовуються як жаростійкі. Гранична температура експлуатації показує температуру, вище якої, для запобігання швидкого окислення сплав не повинен перегріватися.

Оскільки підвищення граничної температури експлуатації створюється за рахунок дорогого легування, то необхідно точно визначати температурні умови роботи металу і вибирати відповідний жаростійкий сплав.

Жароміцні сталі та сплави використовують для виготовлення деталей котлів, газових турбін, реактивних двигунів тощо, що працюють при високих температурах і навантаженнях.

Таблиця 3 - Властивості і використання деяких жаростійких сталей (ГОСТ 5632-72)

Марка сталі	Окалино- стійкість °С	σ_b МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ %	Використання
12Х17	900	520	350	30	Лист, пруток
15Х25Т	1050	540	-	40	Лист, пруток, труби
12Х18Н9	850	520	360	30	-//-
10Х23Н18	1050	580	280	40	Лист, пруток
12Х25Н16Г7АР	1100	750	450	45	-//-
ХН32Т	1100	750	-	45	Лист, пруток, труби
ХН78Т	1100	800	470	48	-//-
ХН45Ю	1300	800	450	45	-//-
15Х25ТЛ	1050	-	-	-	Литі деталі
30Х24Н12СЛ	1050	-	-	-	-//-
15Х25Н19С2Л	1150	-	-	-	-//-

В таблиці 4 приведені властивості жароміцних сталей і хімічних сплавів.

Таблиця 4 - Властивості жароміцних сталей і нікелевих сплавів

Матеріал		Температура, °С			Жароміцні властивості МПа	
Марка	Група	Максимальна робоча	Початок ін- тенсивного окислення	Випро- бувань	$\sigma 10^4$	$\sigma 10^5$
12X11MФ	Перлітні	585	600	560	140	84
12XM		500	520	500	50	-
12X2MФCP		600	640	600	85	65
25X2M1Ф		550	600	550	160-220	-
X5BФ	маргенсітні	600	650	600	70	50
15X5M		600	650	540	100	44
40X10C2M		650	850	550	100	40
15X11MФ		580	750	650	200	90
11X11H2B2MФ	аустенітні	600	750	530	400/δ ₁₀₀	-
12X18H10T		600	850	660	100	40
45X14H14B2M		650	850	650	130	40
10X11H20T3P		700	850	700	400/δ ₅₀	-
08X18H12B		700	800	600	300/δ ₁₀₀₀	130/δ ₁₀₀
XH77TЮP	Нікелеві сплави	750	1050	750	200	110
XH55BMTKЮ		950	1050	900	150/δ ₁₀₀₀	130/δ ₁₀₀
ЖС6К		1050	1050	950	100/δ ₁₀₀₀	-

Підвищення температури впливає на механічні властивості : знижує модуль пружності, границю текучості і часовий опір. При цьому потрібно мати на увазі, що в умовах малих швидкостей навантаження, руйнування проходить при більш низьких навантаженнях, ніж при звичайних статичних випробуваннях.

Жароміцні сплави для роботи при високих температурах (до 700-

900⁰С) створюють на основі заліза, нікелю і кобальту, а для роботи при дуже високих (до 1200-1500⁰ С) – на основі молібдену та інших тугоплавких металів.

Жароміцні сталі завдяки порівняно невисокій вартості (в порівнянні з вартістю інших жароміцних сплавів) широко використовують у високотемпературній техніці. Їх робочі температури в межах 500-750⁰С. Чим складніші сталі, тим вище їх легованість і вище жароміцність.

- сталі перлітного класу:

Ці вуглецеві і низьколеговані теплостійкі сталі використовують для виготовлення деталей і вузлів енергетичних установок, що працюють тривалий час при температурах 550-580⁰С, порівняно мало навантажених. Якщо робоча температура не перевищує 400⁰С і тиск 0,8 МПа, використовують нормалізовані вуглецеві сталі 12К, 15К, 18К, 22К (ГОСТ 5520-79), що виготовляються у вигляді листів і труб. В марці буква "К" означає "котельна сталь", а цифра – вміст вуглецю в десятих долях відсотка. Механічні властивості сталей: $\sigma_s = 360-490$ МПа, $\sigma_{02} = 220-280$ МПа, $\delta = 24-19\%$. Чим більше в сталі вуглецю, тим менша пластичність і більша міцність (див. розділ 5.6.3).

Для більш відповідальних паропровідних і пароперегрівних труб з робочою температурою 600⁰С, використовують низьколеговані сталі з хромом, ванадієм і молібденом (ГОСТ 20072-74). Вміст вуглецю, як і в вуглецевих сталях повинен бути 0,08-0,2 %. При більшому вмісті вуглецю погіршується зварюваність, на утворення карбідів йде значна частина легуючих елементів і знижується міцність і пластичність. Для котельних установок, що працюють при температурі 560⁰С і тискові 25,5 МПа найчастіше використовують сталь 12Х1МФ, що має добрі технічні властивості і теплостійкість.

- Сталі мартенситного і мартенситно-феритного класу.

Для деталей і вузлів газових турбін і паросилових установок (лопат-

ки, метизи, труби тощо) використовують високохромисті (8-13%Cr) сталі, додатково леговані W, Mo, V, Nb і В. Такі сталі крім більш високого значення тривалої міцності мають високу жаростійкість. В залежності від вмісту хрому, вони відносяться до мартенситного (10-11% Cr) або до мартенситно-феритного класу (11-13% Cr). Легування їх бором, цирконієм, церієм і азотом додатково підвищує жароміцність. Робочі температури таких сталей сягають 580-600⁰ С. Так , для виготовлення робочих лопаток парових турбін широко використовують сталь 15X11МФ, з відповідною термообробкою. Сталі поступають у вигляді сортового прокату: гарячедеформованого товстого листа і гаряче-, холодно-, і теплodeформованих труб.

Для випускних клапанів двигунів внутрішнього згоряння використовують хромокремністі сталі мартенситного класу – силхроми: (40X9C2 і 40X10C2М), які працюють до температур 500-600°С. В форсованих двигунах і дизелях (700°С) використовують жароміцні сталі аустенітного класу.

- Сталі аустенітного класу.

Для отримання структури аустеніту такі сталі повинні містити велику кількість хрому, нікелю і марганцю. Для досягнення високої жароміцності їх додатково легують Мо, W, V, Nb і В. Такі сталі використовують для деталей , що працюють при температурі 500–750°С. Жароміцність аустенітних сталей вища, ніж жароміцність перлітних, мартенситних, мартенситно-феритних і феритних.

Аустенітні сталі пластичні, добре зварюються, однак гірше обробляються різанням, ніж інші групи сталей. Зварний шов має підвищену крихкість і уникнути цього недоліку за допомогою термообробки не вдається.

Аустенітні сталі є немагнітними в звичайних умовах.

Дисперсійно тверднучі аустенітні сталі 10X18H12T, 08X15H24B4TP, 09X14H19B2BP, що призначені для виготовлення пароперегрівачів і турбоприводів силових установок високого тиску, що працюють при 600-

700°C, використовують в загартованому стані. Гартування проводять від 1100 - 1160°C в воді або на повітрі. Після гартування такі сталі мають помірну міцність і високу пластичність ($\sigma_{100} = 250-260$ МПа при 700°C).

Для досягнення високої жароміцності аустенітні сталі з карбідним і інтерметалідним зміцненням (типу 45X14H14B2M і 10X11H20T3P, див. Табл.4) термообробляють в 2 стадії:

1. Гартування від 1050-1200°C в воду, масло або на повітрі. Таке гартування проводять для розчинення карбідних і інтерметалідних фаз в твердому розчині (аустеніті) і отримання після охолодження високолегованого твердого розчину.

2. Старіння при 600-850°C. Воно призначене для виділення дисперсних фаз з твердого розчину, які зміцнюють сталь.

5.6.3 Котлотурбінні сталі

Теплові електростанції виробляють до 85% електроенергії. Температуру перегрітої водяної пари підтримують на рівні 540°C при тискові 25МПа або на рівні 560°C при тискові 16 МПа. Ці параметри визначаються не технічною необхідністю, а відсутністю достатньо дешевих сталей, які б могли працювати тривалий час (100 000 годин і більше) при більш високих температурах.

Для виробництва деталей котлотурбінних агрегатів, пароперегрівників тощо використовують не лише спецсталі, а й звичайні вуглецеві сталі (будівельні, машинобудівні і т.д.)

Котлотурбінні сталі за призначенням ділять на дві основні групи:

- а) котельні сталі - низьковуглецеві низьколеговані (Mo, Cr, V) сталі, їх основна характеристика—довготривала міцність або межа повзучості;
- б) метизні сталі - середньовуглецеві низьколеговані (Ni, Mo, V) сталі, їх основна характеристика—межа текучості.

Котельні сталі, що використовуються, наприклад, для труб пароперегрівачів, паропроводів тощо повинні задовольняти такі вимоги:

- мати добрі технологічні властивості (високу пластичність, добру зварюваність, не потребувати складних способів термообробки);
- не містити великої кількості дефіцитних легуючих елементів;
- в умовах тривалої експлуатації мати стабільні міцнісні параметри і не мати схильності до теплової крихкості;
- при робочій температурі мати якомога більшу межу повзучості при швидкості деформації 1% за 100 000 годин.

Котли низького і середнього тиску (до 6 МПа) з температурою нагрівання не вище 450 °С повністю виготовляють з низьковуглецевої сталі (Ст2, Ст3, Сталь 20). Для труб пароперегрівників, паропроводів, що працюють при більш високих температурах (540-560°С) використовують низьковуглецеві леговані сталі перлітного класу. В якості легуючого елемента, що значно підвищує опір повзучості сталей перлітного класу використовують молібден. Разом із молібденом в них сталях повинен бути хром (0,5-1%), який підвищує жаростійкість і стійкість структури при високих температурах. Для підвищення опору повзучості в котлотурбінні сталі додають ванадій і вольфрам.

Котельні низьковуглецеві сталі не гартуються. Найчастіше вони використовуються в нормалізованому стані. Після нормалізації часто дається стабілізувальний відпуск при 650-700°С.

З таблиці 5 видно, як покращується жароміцність вуглецевої сталі при додаванні легуючих елементів. Межа повзучості сталі 12ХМФ в порівнянні із сталлю 15 збільшується в 3 рази при одночасному підвищенні температури на 50°С. Значно більш високу жароміцність мають сталі аустенітного класу типу 09Х14Н19В2БР, вони використовуються для котлів надвисокого тиску, але коштують значно дорожче.

Таблиця 5 - Жароміцність сталей, що використовуються в котлотурбінних установках

Марка сталі	Температура випробування	σ_1 % 10^5	Структурний клас	Призначення
15	500	2,5	Перлітний	Труби пароперегрівачів і паропроводів
12ХМ	540	3,8	»	»
12ХМФ	550	8	Мартенситний	Лопатки парових турбін
15Х12ВНМФ	550	10	»	»
09Х14Н19В2БР	650	11	Аустенітний	Котли надвисокого тиску
30	500	15*)	Перлітний	Метизи
40ХН2МА	500	55	»	
25Х2МФА	500	59	»	

П Р И М І Т К А : для метизів вказана межа текучості

Метизи (болти, шпильки, гайки тощо) котлотурбінних агрегатів повинні забезпечувати надійність фланцевих з'єднань і не вимагати частих перетяжок. Для фланців живильних і з'єднувальних водопроводів, котлів високого тиску і фланцевих з'єднань парових турбін, деталі кріплень виготовляють з легованих середньовуглецевих сталей, частіше хромомолібденових і хромомолібденованадієвих (30ХМ, 35ХНЗМА, 38ХМЮА, 25Х2МФА) тощо.

Межа текучості для легованих сталей 40ХН2МА і 25Х2МФА при температурі 500°C в 4 рази вища ніж у вуглецевої сталі 30 (див табл. 5).

До лопаток парових турбін ще більш жорсткіші вимоги щодо повзучості : вона повинна бути в 10 раз менша : 0,1% за 100 000 годин і, крім того, лопатки повинні бути корозійностійкими. Для них використовують

хромисті сталі 12Х13, 15Х11МФ і 15Х12 ВНМФ.

5.6.4 Криогенні сталі

Вони використовуються для відповідальних деталей, що працюють при низьких температурах. Прикладами таких сталей є: 0Н6А, 0Н9А, 0Х23Н18, температура їх служби від -196 (перші дві) до -296 °С. З таких сталей виготовляють циліндричні і сферичні резервуари для зберігання і транспортування зріджених газів. Всі технологічні операції для виготовлення таких резервуарів, в тому числі і зварювання виконують тільки на термооброблених листах сталі.

5.6.5 Зносостійкі сталі

Використовуються частіше в литому або кованому вигляді. Загальна технологічна особливість – понижена оброблюваність різанням.

В процесі роботи виробів з таких сталей, що піддаються кавітаційній ерозії, деформація і руйнування поверхневих шарів приводять до того, що на поверхні деталей під дією гідравлічних ударів утворюється новий шар мартенситу, який має високу міцність.

З марок 0Х14АГ12, 30Х10Г10 виготовляють лопаті гідротурбін, і гідронасосів, суднових трубних гвинтів, а марки Г13, 110Г13Л1 використовуються для траків гусениць, черпаків землерийних машин.

5.6.6 Пружинні сталі і сплави

Їх можна поділити на такі групи:

-з високими механічними властивостями: це вуглецеві і леговані сталі, які в першу чергу повинні мати високий опір малим пластичним деформаціям, високу межу витривалості і підвищену реакційну стійкість. Це сталі типу 65Г, 55ХГР, 50ХФА, 55ХГСФ – пружини механізмів і машин ресори автомашин.

-з додатковими хімічними і фізичними властивостями: немагнітні, корозійно стійкі, з високою електропровідністю і т.д. 70С2ХА – для годинникових пружин.

5.6.7 Автоматні сталі

Автоматні сталі призначені для обробки на станках-автоматах і мають підвищений вміст сірки і марганцю. В такі сталі додають свинець, це підвищує швидкість різання. Використовуються, в основному, для деталей що виготовляються великими партіями різанням на станках-автоматах з ЧПУ (гвинти, гайки, болти). В марці перед цифрами вмісту вуглецю вказують букву А, або АС (свинцеві): А12, АС35Г2. Можуть бути і з кальцієм: АЦ45Х. Автоматні сталі обробляються твердосплавним інструментом, і мають понижені механічні властивості.

5.7 Інструментальні сталі

Це досить широкий клас різних сталей, які використовуються для виготовлення різного інструмента. Ці сталі мають високу твердість, зносостійкість та міцність, використовуються для ріжучих інструментів, штампів, вимірювальних інструментів. Основний параметр – теплостійкість. Діляться вони на:

а) нетеплостійкі. Мають високу твердість до температури 190 – 225°C. Це вуглецеві сталі: У10, У10А, У13А, твердість яких >HRC 60 – з них виготовляють напилки, бритви, плашки, штампи вирубні. Бувають звичайної (вищеперечислені) і підвищеної в'язкості: У7, 6ХС – інструмент для обробки дерева;

б) напівстійкі – штампіві. Вони можуть працювати з нагрівом до 400 – 500 °С. Це, як правило, евтектоїдні сталі, леговані хромом, вольфрамом, молібденом і ванадієм: Х12М, Х18МФ, Х6В3МФС;

в) теплостійкі.

- для різання з підвищеною швидкістю (швидкорізи) – для роботи до 650°C - Р18, Р6М5 (фрези, свердла).
- для деформування при підвищеному нагріві – до 600–800°C: 5Х3В3МФС, 2Х8В8М2К8.

Всі інструментальні сталі діляться на:

Сталі підвищеної твердості – для металоріжучих інструментів У10А,

ХВСГ, 13Х, У13. Р12Ф4К5 (ЭП600) – для різання жароміцних нержавіючих сталей.

Сталі підвищеної в'язкості – деревообробні і штампові сталі У7, У7А, 6ХС(0,65), 6ХЗФС, 4Х4М2ВФС.

5.8 Сталі та сплави з особливими хімічними властивостями (корозійностійкі)

5.8.1 Основи теорії корозії

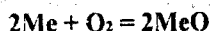
Корозією називають руйнування металу під дією зовнішнього середовища. При цьому деякі сталі покриваються продуктами корозії (іржею). В результаті дії зовнішнього середовища механічні властивості сталей можуть різко погіршуватись навіть при відсутності видимих змін на поверхні деталі. Корозію ділять на хімічну і електрохімічну.

- хімічна корозія:

Руйнування металу в цьому випадку не супроводжується виникненням електричного струму. Хімічна корозія буває:

а) корозія в рідинах–неелектролітах (тетрахлориді вуглецю, спиртах, бензолі, нафті, бензині тощо). Механізм її покажемо на прикладі тетрахлориду вуглецю. Присутність в тетрахлориді вуглецю води зумовлює протікання такої хімічної реакції: $CCl_4 + H_2O = CCl_3OH + HCl$, внаслідок якої утворюється соляна кислота, яка роз'їдає стінки резервуара, в якому знаходиться тетрахлорид;

б) газова корозія – процес руйнування металів і сплавів в результаті хімічної взаємодії з газами при підвищенні температури. Газова корозія спостерігається при роботі металевих конструкцій, арматури нагрівних печей, деталей ДВЗ, при термообробці тощо. Причина газової корозії сталей і сплавів – їх термодинамічна нестабільність в даному газовому середовищі при відповідних параметрах середовища (температурі і тиску). Найпоширеніший випадок газової корозії – процес взаємодії металу з киснем повітря:



Швидкість процесу газової корозії залежить від таких факторів: природи металу, складу сплаву, характеру газового середовища, температури середовища і від властивостей продуктів корозії. Від властивостей оксидної плівки залежить швидкість процесу корозії. Наприклад, оксиди Al_2O_3 , Cr_2O_3 захищають сплав (прозора міцна пластична повітрянепроникна плівка, яка має коефіцієнт термічного розширення близький до КТР основного металу), а $Fe_3O_4 = FeO + Fe_2O_3$ – ні, бо вона є пористою. Щоб оксидна плівка мала захисні властивості вона повинна задовольняти такі вимоги: бути суцільною, безпориною, мати добре зчеплення з металом, мати коефіцієнт термічного розширення однаковий з металом, бути твердою і зносостійкою.

- електрохімічна корозія:

Щоб протікала електрохімічна корозія потрібен контакт металу з розчином електроліту. Надчисті метали кородують дуже слабо (приклад стовпа з надчистого заліза в Індії). Більше цей процес притаманний сплавам. В сталі є залізо і домішки. При контакті з електролітом на поверхні сплава утворюються гальванічні мікропарні, замкнуті накоротко через сам метал, при цьому метал, який легше віддає електрони, слугує анодом і руйнується в процесі роботи гальванічного елемента.

Під час роботи мікрогальванічного елемента одночасно протікають два електродних процеси:

1. Анодний – процес переходу іонів металу в розчин:



2. Катодний – асиміляція залишкових електронів молекулами електроліту, або атомами домішок:



Внаслідок цих реакцій метал ржавіє (кородує). Чим вище стоїть хімічний елемент в ряду електродних потенціалів, тим швидше він ржавіє.

Електрохімічна корозія ділиться на:

- атмосферну корозію – руйнування металів і сплавів в атмосфері і в середовищах вологих газів в результаті хімічного і електрохімічного процесів.

- корозію металів в ґрунті (трубопроводи, ємності, опори тощо). Агресивні властивості ґрунту визначаються пористістю, вологістю, рН, електропровідністю, присутністю розчинених солей.

- біокорозію – мікроорганізми впливають на катодні або анодні електрохімічні процеси, змінюють фізико-хімічні характеристики ґрунту, руйнують захисні покриття. Біокорозія може розвиватись в аеробних і анаеробних умовах.

- корозія в морській воді. Агресивність морської води зумовлюється присутністю в ній O_2 і хлоридів металів, які запобігають утворенню ефективних захисних плівок. Для нелегованих сталей корозійні втрати в морській воді складають 1-3 г/м² на добу.

- корозія під дією блукаючих струмів які вносять в ґрунт негативний потенціал рейок трамваїв і електричок, електрозварювальних апаратів постійного струму, установок катодного захисту. Величина блукаючих струмів біля електрозалізниць складає до 300 А. Струм силою 1 А за рік руйнує 9 кг заліза, 11 кг цинку і міді, 34 кг свинцю. Радіус дії блукаючих струмів сягає десятків кілометрів.

За впливом електрохімічної корозії на сталі і сплави існує кілька її видів. Якщо метал однорідний, то спостерігається рівномірна корозія, що протікає приблизно з однаковою швидкістю по всій поверхні металу. В неоднорідному сплаві (найбільш частий випадок) корозія носить локальний характер і діє лише на деякі ділянки поверхні. Таку локальну корозію, в свою чергу, ділять на точкову, плямисту і виразкову. Найбільш небезпечною для сталей, що використовуються в теплотехнічних виробках, є *інтеркристалітна* корозія, що розповсюджується по границях зерен внаслідок більш низького їх електрохімічного потенціалу. Така корозія без зовнішніх ознак швидко розвивається по границях зерен в глибину, різко знижуючи при цьому механічні властивості. Сталь, уражена інтеркристалітною коро-

зією втрачає металічний звук і при згинанні дає надриви по границях зерен в місці корозійного руйнування металу.

Існує багато методів захисту від корозії, одним з яких (і найефективнішим) є легування сплаву елементами, які утворюють на його поверхні захисні плівки, які зводять до мінімуму контакт основного металу з агресивним навколишнім середовищем.

Корозійна стійкість сплавів залежить від середовища. Класифікація корозійностійких сплавів показана в таблиці 6:

Таблиця 6 - Хімічний склад і механічні властивості деяких корозійностійких сталей

Сталь	Вміст основних легуючих елементів, %				Механічні властивості			
	C	Cr	Ni	Інші елементи	σ_b	$\sigma_{0,2}$	δ	ϕ
					МПа		%	
Сталі мартенситного класу								
20X13	0,2	13	-	-	850	650	15	50
40X13	0,4	13	-	-	1150	900	12	30
Сталі феритного класу								
12X17	0,12	17	-	-	520	350	30	75
15X25T	0,15	25	-	0,5-0,9Ti	540	-	40	70
Сталі аустенітного класу								
12X18H9	0,12	18	9	-	520	350	30	75
10X17H13M3T	0,1	17	13	0,5-0,7Ti	580	280	40	60
10X14Г14Н4Т	0,10	14	3	0,5-0,6Ti 13-15 Mn	620	280	45	60
Сталі аустенітно-мартенситного класу								
09X15H8Ю	0,09	15	8	0,7-1,3 Al	1250	1000	20	50

Стійкість сталей проти корозії визначається:

- а) складом сплаву і його структури;
- б) властивостями агресивного середовища де використовується даний сплав.

5.8.2 Сплави стійкі в слабких агресивних середовищах (повітря, вода, водяна пара).

Це сплави з 13 % Сг, а також алюміній і мідні сплави. При 13 % Сг на поверхні металу утворюється плівка окислів хрому, досить міцна і непроникна для агресивного середовища.

Термічна обробка таких сталей: гартування з температури 1000 – 1100 °С в масло і низькотемпературний відпуск. Твердість HRC 52 (40X13) - HRC 58 (9X18). З сталей марок 12X13, 20X13 виготовляють лопатки гідравлічних і парових турбін, предмети домашнього вжитку. Сталі 30X13, 40X13 стійкі в середовищах харчових продуктів, фруктових соків, слабких розчинах азотної і оцтової кислот і мають властивості, близькі до властивостей інструментальних сталей. Використовують ці сталі для виготовлення деталей, які працюють на зношення (ріжучий, вимірювальний, хірургічний інструмент). В залежності від використання призначають режим відпуску.

5.8.3 Сплави стійкі в агресивних середовищах (морській воді, органічних кислотах)

Це аустенітні сталі з високим вмістом хрому і нікелю, наприклад X18H10T, X17H13M3T, або сталі феритного класу з підвищеним вмістом хрому: 12X17 і 15X28. Вони добре зварюються, непогано обробляються різанням. Їх використовують для виготовлення технологічного обладнання в хімічній, харчовій і легкій промисловості, для виготовлення оболонок муфельів і реторт термічних печей, чохлів термопар.

5.8.4 Сплави високої стійкості

Це, як правило, високолеговані і дуже дорогі нікелеві сплави типу H70M27, OX23H28M2T – для азотної і фосфорної кислот.

5.9 Сталі і сплави із особливими фізичними властивостями

Їх розділяють на такі види:

а) з малим і заданим коефіцієнтом лінійного розширення, марки: 36H (ін-

вар), 32НКД (суперінвар), 29НК (ковар), 47НД (платиніт). Їх використовують для виготовлення біметалевих датчиків температури, для спаювання і зварювання зі склом (36Н) тощо;

б) з модулем пружності, що не залежить від температури (елінвари), марки 36НХ, 42НХТЮ, 44НХТЮ, для виготовлення пружних елементів і пружин точних приладів;

в) з високою магнітною проникністю (магнітом'які).

- кремнисті трансформаторні Э31, Э330, Э41.
- пермалой (залізонікелеві) Э11, Э12, Э1100, 45Н, 50НХС.

Вміст вуглецю в таких сталях понижений $<0,05\%$. Маркування їх відрізняється від легованих: 1-ша цифра – вміст Si, 2-га – питомі магнітні втрати: 1-нормальні, 2 -понижені, 3 -низькі, 3-я цифра – спосіб виготовлення листів: 0 – холоднокатана, 1 – гарячекатана.

г) з високою коерцитивною силою (магнітотверді).

Магнітотверді сплави виготовляються на основі системи Fe-Ni-Al: АН1, ЮНДК15, ЮНДК24В.

д) сплави з високим електроопором.

Сплави виготовляються на основі систем Fe-Cr-Al, Fe-Ni-Cr, Ni-Cr: Х13Ю4 – реостати, Х20Н80 – ніхром, електричний опір таких сплавів в 10 раз вище, ніж в маловуглецевої сталі: 0,1 Ом/м.

є) немагнітні сплави. Вони використовуються переважним чином в електротехніці і радіотехніці. Марки таких сплавів: Г'13, ЭИ269, 55Г9Н9Х3, 45Г17Ю3. Нірезісти – 4Н15Д7Х2, 4Н15Х3Ш, 4Н19Х13Ш. Крім того, до немагнітних сплавів можна віднести всі сталі аустенітного класу, наприклад, Х18Н10Т.

6 ЧАВУНИ

Чавуни найбільш широко використовуються для литих деталей, що експлуатуються при зменшених динамічних навантаженнях. Переваги чавуну – підвищені ливарні властивості і менша вартість. В теплотехнічних і будівельних конструкціях чавуни використовують для виготовлення запірної арматури, труб, сантехнічного обладнання. Температура для лиття чавунів значно нижча (на 300–400 °С) ніж у сталей. Приблизний хімічний склад чавунів стандартних марок: 2,9-3,7% С, 1,2-2,6% Si, 0,5-1,1% Mn, не більше 0,2-0,3%P і не більше 0,12-0,15% S.

В марках чавуну хімічний склад не вказується, бо його структура і властивості залежать від умов отримання відливка (температури рідкого металу і умов охолодження при литті).

Діляться:

а) сірий чавун – (СЧ 12-28, СЧ 32-52: труби, фітінг, деталі запірної арматури, блоки циліндрів, зубчасті колеса). Перша цифра показує межу міцності, кгс/см², при розтягуванні, друга – при згинанні:

б) кувальний чавун отримують спеціальною термічною обробкою білого доєвтектичного чавуну. Маркують буквами КЧ і цифрами, що показують мінімальні значення опору при розтяганні, МПа·10⁻¹, і відносного видовження. (КЧ 35-10 – фланці, КЧ 45-6 – задній міст автомобільної техніки, картер):

в) високоміцний чавун отримують модифікуючи розплав магнієм в кількості 0,03-0,07%. Високоміцні чавуни використовують для виготовлення колінвалів, поршнів, корпусів парових турбін, лопаток направляючих апаратів та інших деталей, що працюють в умовах зношування і при високих циклічних навантаженнях. Марки: ВЧ 45, ВЧ70, ВЧ100. Цифри після букв вказують мінімальні значення опору при розтяганні, МПа 10⁻¹;

г) відбілений чавун має на поверхні структуру білого чавуну, а всередині структуру сірого, що досягається спеціальними умовами лиття. Має високу

твердість поверхні і високу зносостійкість, особливо в умовах абразивного зношування. Використовується для виготовлення валків листових прокатних станів, куль для кульових млинів, деталей простої форми, посуду;

д) **білий чавун** – використовують рідко внаслідок низьких механічних властивостей. Раніше використовувався для виготовлення посуду.

е) **антифрикційний чавун** використовують для виготовлення литих деталей (підшипників ковзання тощо) які працюють у вузлах тертя з мастилом. Маркують антифрикційні чавуни буквами АЧ і, в залежності від форми графітних включень, буквами С, В, або К. Більшість антифрикційних чавунів містять невеликі кількості хрому, титану, міді та інших елементів. Виготовляють антифрикційні чавуни таких марок (ГОСТ 1585-85): АЧС-1 - АЧС-6, АЧВ-1, АЧВ-2, АКЧ-1, АЧК-1, АЧК-2.

7 КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ ТА ЇХ СПЛАВИ

Для виготовлення різних деталей технологічного обладнання, крім сталей і сплавів чорних металів, широко використовуються сплави кольорових металів і самі метали, такі як мідь, алюміній, свинець, олово, цинк тощо.

7.1 Мідь і сплави на основі міді

Мідь і сплави міді відрізняються високими: електропровідністю, теплопровідністю, пластичністю, корозійною стійкістю (наприклад, в морській воді і вологому повітрі), добре обробляються тиском в холодному і гарячому стані, мають високі ливарні властивості і задовільно обробляються різанням. Промисловість випускає мідь десяти марок (ГОСТ 859) у вигляді катодів, зливків і напівфабрикатів (листів, стрічок, полос, прутків, труб тощо). Мідь є також добрим матеріалом для фасонних відливок. Механічні властивості міді показані в таблиці 5.

Високі теплопровідність і електропровідність міді утруднюють її електрозварювання, особливо у вигляді масивних виробів. Тонкі мідні деталі і напівфабрикати можна зварювати електродами з вольфраму і молібдену. Попереднє лудіння поверхонь, що з'єднуються, спрощує зварювання. Легше проводити зварювання в стик, але для цього необхідні трансформатори великої потужності. Деталі товщиною більше 2мм можна зварювати нейтральним ацетиленокисневим полум'ям, але при цьому необхідно захищати їх від окислення і забруднення. Найбільш надійний спосіб з'єднання мідних виробів - паяння твердими і м'якими припоями.

Основну кількість міді, що виробляється, використовують для приготування сплавів.

7.1.1 Маркування мідних сплавів

В технічній літературі мідні сплави ділять на три групи: латуні - сплави на основі міді і цинку, бронзи - сплави міді з іншими елементами, в числі яких в невеликих добавках може бути і цинк, і мідно-нікелеві сплави,

основою яких є мідь і нікель.

Прийняте таке маркування мідних сплавів: сплави позначають буквами "Л"- латунь або "Бр"- бронза, після чого йдуть букви основних елементів, що утворюють сплав. Букви "МН" на початку марки вказують на мідно-нікелевий сплав. В марці сплаву такі наступні умовні позначення: "О" – олово, "Ц" – цинк, "Мц" – марганець, "Ж" – залізо, "Ф" – фосфор, "Б" – берилій, "Мн" – магній тощо. Цифри, що йдуть за буквами вказують кількість легуючого елемента у відсотках.

Порядок цифр для бронз і латуней різний. В марках латуней, що деформуються, перші дві цифри після букви "Л" вказують середній вміст міді в відсотках. Наприклад, Л70 – латунь, що містить 70 % Cu. У випадку нелегованих латуней що деформуються вказують ще букви і цифри, які позначають назву і кількість легуючого елемента, наприклад, ЛАЖ 60-1-1 це латунь з 60 % Cu, легована алюмінієм (А) в кількості 1 % і залізом в кількості 1 %. Вміст цинку (Ц) визначається за різницею від 100 %. В деформованих бронзах вміст основного компонента – міді не вказується, а визначається за різницею. Цифри після букв, відділені одна від одної через тире, вказують середній вміст легуючих елементів у відсотках, цифри розташовуються у тому ж порядку, що і букви, які вказують присутність в бронзі того чи іншого елемента, наприклад бронза БрОЦ 4-3 – має такий склад: олова (О) – 4 % , цинку (Ц) – 3 % . Вміст міді визначається за різницею від 100 % .

В ливарних латунях і бронзах середній вміст компонентів сплаву в відсотках ставиться зразу ж після букви, що позначає його назву. Наприклад: латунь ЛЦ40Мц1,5 містить 40 % цинку (Ц) і 1,5 % марганцю (Мц). Бронза БрА10ЖЗМц2 містить алюмінію (А) 10 % , заліза (Ж) – 3 % і марганцю (Мц) – 3 %.

Мідно-нікелеві сплави маркуються аналогічно деформованим бронзам, при цьому перші дві букви МН (мідь-нікель).

7.1.2 Латуні

Латуні – подвійні і багатокомпонентні мідні сплави, в яких основним легуючим компонентом є цинк. В порівнянні із міддю латуні мають більш високі міцність, корозійну стійкість, ливарні властивості і температуру рекристалізації. Це найбільш дешеві мідні сплави, з яких виготовляють різні деталі тепломеханічного обладнання, особливо ті, які працюють під дією морської води, розчину кухонної солі, вологого повітря, холодної і гарячої води та водяної пари. Подвійні (прості) латуні, що містять 88-97% Cu називають томпаком, а з вмістом міді 79-86% - напівтомпаком. За структурою розділяють α - латуні, $(\alpha+\beta)$ латуні і β -латуні, причому α і $(\alpha+\beta)$ латуні пластичні і в холодному, і в гарячому стані, а β -латуні тільки при високих температурах.

Всі латуні добре паяються м'якими і твердими припоями і зварюються краще від міді. Слід мати на увазі, що латуні, які містять більше 15% Zn в холоднодеформованому стані, в тому числі і після обробки різанням, здатні до самовільного корозійного розтріскування при зберіганні особливо в вологій атмосфері, що містить сірчисті гази або аміак. Для запобігання розтріскування латуні напівфабрикати і вироби відпалюють з температури 250 – 300 °С (низькотемпературне відпалювання), знижуючи залишкові напруги, але зберігаючи міцність. Зміцнюють латуні (за винятком марки ЛАНКМц 75- 2-2,5-0,5-0,5) деформаційним наклепом. Латунь останньої марки – єдиний дисперсно-твердіючий сплав, що змінюється гартуванням і старінням.

Основні механічні властивості міді і деяких латуней при різних температурах приведені в таблиці 7.

Міцність міді з підвищенням температури значно зменшується і за дослідними даними складає:

Температура, °С	20	50	100	150	200	250	285	367	451	556
Міцність, %	100	98	95	91	85	79	75	66	51	33

Таблиця 7 - Механічні властивості міді і латуней

Марка	Межа міцності, σ_s	Межа текучості, σ_f	НВ	Відносне видовження, δ	Призначення
	Мпа			%	
МЗ	м'яка	240	70	---	Листи, стрічки, труби, фольга, аноди тощо
	тверда	400-500	380	6	
	ливарна	170	---	8	
Л90	м'яка	260	130	50-60	Змійовики, сильфони, деталі теплотехнічної і хімічної апаратури, радіаторні труби
	напівтверда	340	30	130-145	
	ливарна	190	70	---	
Л68	ливарна	280	---	---	Для штампованих виробів
	м'яка	330	100	55-65	
	тверда	520	---	145-155	
Л62	ливарна	328	120	---	Для гайок, болтів, деталей машин, конденсаторних труб
	м'яка	360	110	58-68	
	тверда	680	480	150-160	
ЛК 80-3	300-500	160	170-190	15-16	Для корозійностійких деталей машин, що працюють в морській воді
ЛЮ70-1	ливарна	250	184	---	Для конденсаторних труб, теплотехнічної апаратури
	м'яка	350	162	55-65	
	тверда	590	---	145-155	
ЛС59-1	ливарна	340	150	---	Для гайок, болтів, шестерень, зубчастих коліс, втулок
	м'яка	420	145	70-80	
	тверда	620	420	150-160	
ЛАНКМц 75-2-250-505	850-950	500-600	290-300	6-10 тв 45-55м	Для пружин, манометричних трубок
ЛМцЖ55-3-1 ливарна	400-500	170-240	100-110	5-10	Для відповідальних деталей, що працюють до 300°C

Допустимі навантаження для міді і латуні в залежності від температури приведені в таблиці 8.

Таблиця 8 - Допустимі навантаження на мідні сплави в залежності від робочої температури

Температура, °С	120	140	160	180	200	220	240	260
Допустиме навантаження для міді, МПа	440	420	400	380	360	340	320	300
Допустиме навантаження для латуні, МПа	500	475	450	425	400	375	350	325

Для мідного і латунного лиття допустимі напруги на розтягування складають приблизно 67 % від допустимих напруг для прокату.

Нормативні документи, що регламентують прокат із міді і латуней, зведені в таблиці 9.

Таблиця 9 - Прокат з міді і латуней

Напівфабрикати	Матеріал	ГОСТ
Листи	мідь	495-70
Стрічки	мідь	1173-70
Фольга	мідь	5638-75
Труби	мідь	617-72
Трубки радіаторні	мідь	529-41
Дріт	мідь	2112-72
Листи, стрічки	латуень	931-70
Труби	латуень	4961-69
Трубки тонкостінні	латуень	11383-65
Прутки	латуень	2060-73
Дріт	латуень	16230-72

Для апаратів і деталей, що працюють при температурі вище 250°C використання міді і латуней не рекомендується.

7.1.3 Бронзи

Бронзами називають подвійні і багатокомпонентні мідні сплави, в яких основними легуючими елементами є різні метали (крім Zn і Ni). Назву бронзам дають по основному легуючому елементу. Розрізняють дві групи бронз – олов'яні, в яких основним легуючим елементом є олово (Sn) і безолов'яні (спеціальні).

За технологічними ознаками бронзи ділять на деформівні і ливарні.

Перші легко штампуються, куються і піддаються іншим видам обробки тиском. Ливарні бронзи призначені для фасонних відливок. В порівнянні з латунями бронзи мають більш високу міцність, корозійну стійкість і антифрикційні якості. Вони досить стійкі на повітрі, в морській воді, розчинах більшості органічних кислот, вуглекислих розчинах.

Бронзи в яких легуючі елементи входять в твердий розчин, зміцнюються деформаційним наклепом. Для підвищення пружних властивостей використовують низькотемпературне відпалювання (250 – 300 °C). Бронзи, що містять берилій, хром, цирконій та інші елементи, які мають змінну розчинність в α -твердому розчині, зміцнюються дисперсійним твердінням. До цього класу відноситься також бронза марки БрАЖА 10-4-4.

Високі ливарні властивості бронз визначаються виключно масовою усадкою, яку вони мають. Усадка олов'янистих бронз менше 1%, в той час, як усадка латуней і чавуну 1,5%, а сталей – більше 2%. Найбільш складні за конфігурацією відливки (в тому числі і високохудожні) виготовляють із бронзи.

Рідкотекучість бронз невисока внаслідок великої різниці в температурах між лініями ліквідус і солідус на діаграмі стану. З тієї ж причини бронзи не дають концентрованої усадочної раковини.

Подвійні олов'янисті бронзи зараз використовують рідко, внаслідок їх високої ціни. Для здешевлення бронз в них додають 10-15 % цинку. Цинк в таких кількостях розчиняється в міді і не впливає на структуру

бронзи. Для кращої оброблюваності в бронзи вводять 3 – 5 % свинцю (Pb). Великі кількості Zn і Pb підвищують рідкотекучість бронз, густину і міцність відливок, антифрикційні властивості і оброблюваність різанням. Структура бронз БрОЗЦ12С5, БрО4Ц4С17, БрО10Ц12 повністю задовольняє вимоги до антифрикційних сплавів. Висока корозійна стійкість в атмосферних умовах, питній і морській воді сприяє широкому використанню ливарних бронз для пароводяної арматури, яка працює під тиском. При високій технології лиття виготовляють відливки, що працюють при тисках до 30 МПа.

Деформівні бронзи мають високу електропровідність, корозійну стійкість, антифрикційність, високі пружні властивості і опір стомленню. Їх часто використовують для виготовлення круглих і плоских пружин в точній механіці (БрБ2), електротехніці, хімічному машинобудуванні тощо.

Механічні властивості і використання деяких бронз приведені в таблиці 10.

В машинобудуванні використовують плоский і круглий прокат з бронз, види прокату приведені в таблиці 11.

7.1.4 Міднонікелеві сплави

Особливістю цієї групи сплавів є їх висока корозійна стійкість і особливі електричні властивості, які залежать, як і міцність, від вмісту нікелю.

За призначенням мідно-нікелеві сплави можна розділити на конструкційні і електротехнічні. До конструкційних відносяться високоміцні і корозійностійкі сплави типу мельхіор, нейзильбер або куніаль. Як додаткові легуючі елементи використовують залізо, алюміній, марганець і цинк.

В групу електротехнічних входять сплави типу ТП і ТБ, а також копель, константан і манганін, що мають підвищений електроопір і специфічні термоелектричні властивості. З сплавів ТП і ТБ виготовляють компенсаційні дроти для термопар. Копель і константан використовують для термопар і реостатів. Константан, який має низький температурний коефіцієнт електроопору (ТКО) і підвищену тензочутливість, використовують для те-

нзорезисторів. Манганін, який має майже нульовий стабільний ТКО і малу термо-е.р.с. в парі з міддю, використовують для виготовлення прецизійних резисторів.

Властивості деяких міднонікелевих сплавів приведені в таблиці 12.

Таблиця 10 - Механічні властивості деяких бронз і їх використання

Марка	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	Область використання
Ливарні				
БрОЦСНЗ-7-51	210	70	5	Арматура, яка працює в морській і питній воді, маслах, водяній парі під тиском до 2,5 МПа.
БрОЦСЗ-12-5	210	70	5	Арматура, яка працює в морській і питній воді, маслах, водяній парі під тиском до 2,5 МПа, антифрикційні деталі
БрАЖ 9 - 4л	350-450	70	5	Арматура, яка працює в морській і питній воді, маслах, водяній парі під тиском до 2,5 МПа, антифрикційні деталі
БрС 30	≥ 60	≥ 10	≥ 4	Антифрикційні деталі, сальники, вкладні підшипників.
БрАМц 10 - 2	450-550	160	10-14	Арматура для морської і прісної води
Деформівні				
БрОЦ 4-3 м'яка тверда	300-400	65	35-45	Для струмоведучих пружин, контактів штепсельних з'єднань, деталей хімапаратів
	500-600	---	3-6	
БрОФ 4 - 0,25	340	50	52	Для трубок манометрів
БрА 7 м'яка тверда	440-550	100	65-75	Для пружин, мембран, сальфонів
	950-1030	200	2-4	
БрБ 2 м'яка тверда	400-600	120	40-50	Дроти для пружин, стрічка, прутки.
	600-950	---	2-4	
БрМц 5 м'яка тверда	300-360	70	35-45	Для топок котлів
	500-600	100	150-170	

Таблиця 11 - Плоский і круглий прокат з бронз

Напів- фабрикат	Стан	Марка	ГОСТ
Стрічки	Холоднокатані	БрОФ 6,5 - 1,5 БрОЦ 4 - 3	1761 - 70 -//-
Полоси	Холоднокатані	БрБ 2 БрОЦС 4 - 4 - 2,5 БрА 7 БрАМц 9 - 2	1879 - 70 15885 - 70 1048 - 70 1595 - 71
Полоси	Гарячекатані	БрКМц 3 - 1	4748 - 70
Труби	Пресовані	БрАЖМц 10-3-1,5 БрАЖН 10-4-4	1208 - 73 1208 - 73
Прутки	Тягнуті	БрАМц 9 - 2 БрАЖ 9 - 4 БрАЖМц 10-3-1,5 БрБ 2 БрОЦ 4 - 3 БрОФ 7 - 0,2	1628 - 72 1628 - 72 1628 - 72 15835 - 70 6511 - 60 10025 - 62
Дроти	Тягнуті	БрОЦ 4 - 3 БрКМц 3 - 1 БрБ 2	5221 - 72 5222 - 72 15834 - 70

Додатки марганцю і заліза в електротехнічні сплави суттєво змінюють їх електроопір і ТКО. Мідно-нікелеві сплави (крім тих, які містять алюміній) добре зварюються і паяються твердими і м'якими припоями.

7.1.5. Жароміцні сплави міді

Сплави цієї групи широко використовуються в якості електродів для контактного точкового, шовного і рельєфного зварювання, струмопровідних губок установок стикового зварювання, провідників електроструму, електроконтактів, колекторних частин, конструкційного матеріалу різного типу теплообмінників тощо.

Основні фізичні властивості таких сплавів і їх призначення приведені в таблицях 13 і 14.

Таблиця 12 - Фізичні властивості і призначення деяких мідно-нікелевих сплавів

Сплав	Марка	ТКО** °C ⁻¹	σв, МПа	δ, %	Призначення
Мельхіор	МНЖМц 30 - 0,8 - 1	0,0012	350-450М* 550-650 Т	40 - 50 3 - 5	Для конденсаторних труб і труб термостатів
Мельхіор	МН 19	0,0003	300-400М 500-600 Т	35 - 40 3 - 5	Для деталей машин, медінструмента, деталей точної механіки, посуду, хіміапаратури.
Нейзильбер	МНЦ 15 - 20	0,0002	400-450М 600-720 Т	40 - 50 2 - 3	Для деталей приладів, електромашин, медінструмента, арматури і посуду
Куніаль А	МНА 13 - 3	-----	380-470М 900-950 Т	10 - 15 2 - 4	Для деталей машин підвищеної міцності і пружин
ГП	МН 0,6	0,0031	240-300М 380-450 Т	40 - 50 3 - 6	Для компенсаційних дротів платиноводій-платинових термопар
ТБ	МН 16	0,0027	300-380М 500-600 Т	25 - 35 3 - 6	Для компенсаційних дротів термопар Pt-Au
Копель	МНМц 43 - 0,5	0,00014	380-460М 600-700 Т	35 - 42 3 - 4	Для термопар, компенсаційних дротів, точних електроопорів.
Константан	МНМц 40 - 1,5	0,00002	380-480М 620-720 Т	25 - 30 2 - 3	Для реостатів, термопар, нагрівників з робочою температурою до 500 °С, тензорезисторів
Манганін	МНМц 3 - 12	0,00003	400-550М 800-900 Т	25 - 30 2 - 4	Для електротехнічних вимірювальних приладів і опорів
Сплав	МНЖКТ 5 - 1 - 0,2 - 0,2	-----	-----	-----	Твердий припіп для зварювання, наплавки і паяння

*М - м'який сплав ; Т - твердий сплав.

** Температурний коефіцієнт опору (ТКО) при 20°С.

Таблиця 13 - Характеристики фізичних і механічних властивостей жароміцних сплавів на мідній основі

Характеристики	Cu (M0)	MK	Cu-Zn	БрХ	БрХ Цр	MKB	БрБНТ	БрНХК 2,5-0,7-0,6
Твердість НВ	100	120	115	115	110	140	150	150
Електропровідність, в % до міді М0 (20 °С)	100	75	90	80	85	50	45	50
Густина кг/м³	8940	8920	8930	8920	8920	8780	8830	8850
Теплопровідність Вт/м К	384	293,2	338,7	309,7	322	194	173,5	185,8
Межа міцності σ _в , МПа при температурі, °С								
20	250	420	400	450	500	780	850	800
300	150	310	320	370	390	630	690	650
400	110	220	300	330	350	550	660	580
500	80	140	250	280	300	420	500	470
600	50	80	100	180	250	230	250	270
Умовна межа текучості σ _т , МПа, при температурі, °С								
20	160	400	370	420	450	760	840	780
300	100	280	310	360	370	620	680	630
400	70	90	290	320	340	540	590	570
500	20	---	190	170	240	200	240	260
Відносне звуження Ψ, % При t=20 °С	90	81	69	69	84	22	10	52
Питомий електроопір Температурі 20 °С, Ом/м *10 ¹	1,72	2,31	1,93	2,13	2,04	3,46	3,92	3,5
Ударна в'язкість при температурі 20 °С, МПа	0,17	0,16	0,2	0,22	0,24	0,3	0,3	0,9

Таблиця 14 - Призначення жароміцних мідних сплавів

Сплав	Основне призначення
МК	Для електродів контактного точкового і шовного зварювання легких сплавів, колекторів електродвигунів
МЦр 0,3	Для колекторів високо навантажених і високошвидкісних двигунів радіотехнічних деталей
БрХ	Конструкційний матеріал для теплообмінників, електродів контактного зварювання вуглецевих сталей
БрХЦр	Для електродів контактного і шовного зварювання вуглецевих сталей
МКБ 2,5-0,5	Для електродів рельєфного зварювання і зварювання товстостієвих деталей з вуглецевих сталей
БрНБТ	Для електродів зварювання нержавіючої сталі і жароміцних сплавів
БрНХК 2,5-0,7-0,6	Для формувальних і електродних кілець трубозварювальних станків

7.2 Нікель і його сплави

Нікель - міцний високопластичний феромагнітний метал, що має високу корозійну стійкість, високу температуру плавлення, низьку пружність парів і високу каталітичну здатність. Чистий нікель, і його сплави широко використовують в техніці і як конструкційні матеріали, і для інших потреб, наприклад, для вимірювання і контролю температури.

Стандартні нікелеві сплави можна умовно розділити на чотири групи: низьколеговані-конструкційні і електротехнічні, термоелектродні (хромель, алюмель тощо), корозійностійкі (монельметал) і жаростійкі (ніхроми і фероніхроми).

Легуючі елементи в цих сплавах - алюміній, кремній, марганець, хром, мідь, залізо.

Нікелеві сплави обробляються тиском, різанням і добре зварюються. Відомості про фізико-механічні властивості і використання нікелю і його сплавів приведені в таблицях 15 і 16.

Слід мати на увазі, що нікелеві сплави нестійкі при високих температурах в атмосферах, які містять сірку. При їх нагріванні під час гарячої термообробки не можна користуватись мазутами і іншим паливом, яке містить більше як 0,5 % сірки. Найкраще термообробку нікелевих сплавів

проводити в електropечач, а нікелевих сплавів, що мають особливі фізичні властивості і виробі з яких працюють при температурах близьких до кімнатної, рекомендують термообробляти в вакуумних печах.

Таблиця 15 - Призначення і марки нікелевих сплавів

Назва	Марка	ГОСТ	Призначення
Нікель напівфабрикатний	НП - 1	492 - 73	Для виробів машинобудівної і приладобудівної промисловості, хімапаратури
	НП - 2	492 - 73	
Нікель анодний	НПА - 1	412 - 73	Для електrolітичних покриттів
	НПА - 2	412 - 73	
Нікель марганцевий	НМц 2,5	492 - 73	Для свічок двигунів, деталей, радіоламп тощо
Алюмель	НМцАК 2-21	492 - 73	Для термопар
Хромель Т	НХ 9,5	492 - 73	Для термопар
Хромель К	НХ 9,0	492 - 73	Для компенсаційних дровів
Монель	НМЖМц 28-2,5-1,5	492 - 73	Для деталей, що працюють в агресивних середовищах
Ніхром	X20H80	12760 - 67	Для електронагрівників і деталей з високим електроопором
	X20H80H	12760 - 67	
Фероніхром	X15H60	12760 - 67	Для електронагрівників
	X15H60H	12760 - 67	

7.3 Сплави з особливими електрофізичними властивостями

7.3.1 Сплави для термопар

Всі найважливіші характеристики термоелектричних термометрів: величина сигналу, чутливість, діапазон температур, що вимірюються, ресурс роботи, стабільність тощо залежать від властивостей матеріалів, що утворюють термопару. Для виготовлення металевих термопар, в принципі, можна користуватися парою будь-яких різних металів або сплавів, однак найдоцільніше використовувати тільки деякі, так звані термоелектродні сплави, які отримали поширення в теплотехніці для вимірювання температури.

Таблиця 16 - Фізико-механічні властивості нікелю і його сплавів

Марка	Електроопір Ом·мм ² /м	Теплопровідність Вт/м·К	Св, МПа	δ, %
НП-2	0,09	58,2	450	35
НК 0.2	0,09	57,8	450 М 800 Т	45 М 4 Т
НМц 2,5	0,14	52,4	450 М 100 Т	35-50 М 2-4 Т
НМцАК2-2-1	0,32	24,8	500-600 М 1000 Т	35-50 М 3-5 Т
НХ 9,5	0,65	---	700 М 1100 Т	50 М 5 Т
НМЖМц 28-2,5-1,5	0,43	24,8	500-600 М 700-850 Т	30-50 М 3-5 Т
X20Н80	1,08	12,2	600-700 М 1100-1250 Т	40-50 М 2-3 Т
X15Н60	1,1	11,6	600-700 М 1150-1250 Т	26-32 М 0,5-1,0 Т

Головною причиною того, що для термопар використовуються тільки деякі певні сплави, є складність вимог, які до них пред'являються:

- термоелектрорушійна сила термоелектродних сплавів, що утворюють термопару, повинна бути достатньо великою для вимірювання з необхідною точністю. Вона повинна бути неперервною і однозначною функцією температури, без екстремумів в робочому інтервалі температур. Бажано, щоб ця функція була близька до лінійної;
- температура плавлення термоелектродних сплавів повинна бути вище максимальної температури їх використання на 50-150°C;
- термоелектродні сплави повинні бути максимально корозійностійкими в тих середовищах і при тих температурах, при яких повинна працювати термопара;
- термоелектродні сплави повинні мати добру повторюваність і однорідність властивостей при їх виробництві в промислових масштабах;
- сплави для термопар при експлуатації і градуванні повинні зберігати свої термоелектричні характеристики незмінними. Бажано, щоб нестабільність термо-е.р.с. промислових високотемпературних термопар не перевищувала 1% від своєї величини при експлуатації протягом 1000 годин.

- сплави для термопар повинні бути достатньо пластичними, щоб із них можна було виготовляти дроти і разом з тим достатньо міцними.

Вище перераховані вимоги призвели до того, що хоча кількість сплавів і їх комбінації, які досліджувались і використовувались для виготовлення термопар, перевищує 300, практичне значення і широке використання для вимірювання температури мають лише декілька з них.

Міжнародною електротехнічною комісією рекомендовано таблиці для 6 термопар (в дужках позначення рекомендовані Національним інститутом стандартів США): мідь-константан (Т); залізо-константан (J); хромель-константан (E); хромель-амомель (K); вольфрам-вольфрамрений (G; C); платина-платинародій (R,S,B). В країнах СНГ, крім того, досить поширені термопари мідь-копель і хромель-копель.

Мідь-константан (Т)

Константан - сплав міді з нікелем, складу $Cu_{57}Ni_{43}$, марка МНМц 43-0,5; механічні властивості якого описані в розділі 7.1.4. Термопарний сплав константан містить невелику кількість домішок марганцю і заліза для узгодження калібрування із стандартними таблицями. Чиста мідь М0 з низьким вмістом кисню дуже однорідна і, за винятком дуже низьких температур, дає добру повторюваність термо-е.р.с. Термопара мідь-константан (МКн) недорога, точна і дозволяє надійно вимірювати температуру від -260 до +400°C, причому верхня границя обмежується можливістю окислення міді.

Залізо-константан(J)

Термопара залізо-константан широко використовується до 750°C. Вона дозволяє вимірювати вдвічі більшу температуру ніж термопара МКн. Її перевага також в можливості використання як в окислювальних, так і в відновлювальних середовищах, причому в останньому випадку робочі температури можуть бути більшими. Однак, оскільки Fe менш однорідний ніж Cu, в цій термопарі спостерігаються паразитні термо-е.р.с. вздовж

обох віток, і її точність приблизно вдвоє нижча (як і ціна) в порівнянні з термопарою мідь-константан.

Хромель-константан (Е)

Хромель — сплав складу $Ni_{90}Cr_{10}$ (НХ9,5), який деколи позначають як хромель-Р. Термопара ХК має найвищу термо-е.р.с з шести стандартизованих термопар. Як і пара ЖКн вона може використовуватись приблизно від -250 до $750^{\circ}C$, в тому числі і в слабоокислювальній або в відновлювальній атмосфері. Висока термо-е.р.с. робить цю термопару придатною для диференційного вимірювання температури.

Хромель-алюмель (К)

Алюмель досить складний нікелевий сплав складу $Ni_{94}Mn_3Al_2Si_1$ (НМцАК 2-2-1), розроблений в якості термопарного матеріалу з термо-е.р.с. протилежного знаку по відношенню до хромелю. Хоча з цією метою може використовуватись і чистий нікель, але магнітний перехід близько $350^{\circ}C$ (T_c 631К) робить чистий метал значно менш придатним, ніж сплав. Пара хромель-алюмель має постійну термо-е.р.с. ≈ 40 мкВ/К в інтервалі температур $250-1000^{\circ}C$. Хромель-алюмель може використовуватись до температури $1300^{\circ}C$. Вона більш стійка до окислення ніж інші пари і може працювати при $1200^{\circ}C$ без швидкого окислення. В відновлювальній атмосфері термопару ХА використовувати не можна. При низьких температурах її характеристики приблизно такі ж як мідь-константан, хоча для вимірювань при температурах не нижче кімнатної рекомендується інший склад хромелю $Ni_{64}Fe_{25}Cr_{11}$ (хромель — Х).

Вольфрам-вольфрамений (G і C)

Ці термопари, що складаються з тугоплавких металів, використовують для вимірювання температур вище $2000^{\circ}C$. Комбінація чистих W і Re задовільно працює до $1650^{\circ}C$. Вище цієї температури чутливість її знижується і вище $2200^{\circ}C$ така термопара малопродатна. Крім того реній дуже дорогий. Тому краще використовувати вольфрам-ренієві сплави, оскільки при пев-

них складах сплавів термо-е.р.с. сплаву вище ніж в чистого Re. Сплави значно краще обробляються і значно дешевші. Найбільшого поширення набули термопари ВР 5/20 ($W_{95}+Re_5-W_{80}+Re_{20}$, типу С) і ВР 10/20 ($W_{90}+Re_{10}-W_{80}+Re_{20}$). Їх можна використовувати до температур 2700-3000°C. Потрібно пам'ятати, що термопари типу ВД нестабільні в окислювальному середовищі і повинні використовуватися в вакуумі або в атмосфері водню чи інертного газу. Не дивлячись на відносну крихкість чистого вольфраму, за кордоном широко використовуються термопари ($W-W+Re_{26}$ -типу G).

Платина-платинородій (R, S, B).

Це базисні термопари, які відіграють велику роль в термометрії внаслідок прекрасних механічних і хімічних властивостей і високого ступеня гомогенності. Термопари мають такий склад: ПР 10/0 - ($Pt-Pt_{90}+Rh_{10}$ тип S), ПР 13/0- ($Pt-Pt_{87}Rh_{13}$, тип R), ПР 30/6 ($Pt_{70}+Rh_{30}-Pt_{94}+Rh_6$, тип B). Термопари S, R і B, які поставляються, мають або високоякісну калібрувальну, або нормальну стандартну шкалу. Їх можна тривалий час використовувати на повітрі і в інертній атмосфері. В вакуумі термопари цих типів використовувати не можна.

Порівняльні характеристики всіх термопар приведені в таблиці 17.

Крім стандартних термопар використовуються також різноманітні сплави (сильх, силян, жеміноль, тофель -2, ніаль, фенікс, СК, тощо), які не набули широкого поширення.

7.3.2 Сплави для електронагрівників

Такі сплави тривалий час надійно працюють при високих температурах і повинні задовольняти такі вимоги:

- сплав повинен мати високий питомий електроопір;
- сплав повинен мати малий температурний коефіцієнт електроопору (електроопір повинен мало змінюватися при підвищенні температури);
- сплав повинен мати високу окислостійкість у тому середовищі, в якому працює;

- оксиди сплавів повинні мати коефіцієнт температурного розширення (ТКР) однаковий з ТКР сплаву:

- матеріали для нагрівників, що працюють у вакуумі, повинні при робочих температурах мати малу пружність парів.

Таблиця 17 - Термо-е.р.с. промислових термопар

Тер- мо- па ра t, °C	Термо – е. р. с., мВ								
	МКн (Т)	ЖКн (J)	ХК (E)	ХА (K)	ВР 5/20 (C)	ВР 10/ 20	ПР 10/0 (S)	ПР 13/0 (R)	ПР 30/6 (B)
	100	4,28	5,27	6,898	4,095	1,33	1,00	0,645	0,647
200	9,28	10,77	14,57	8,137	2,87	2,10	1,440	1,468	0,178
300	14,86	16,32	22,88	12,207	4,52	3,20	2,323	2,400	0,431
400	20,87	21,84	31,48	16,395	6,21	4,30	3,260	3,407	0,786
500		27,39	40,27	20,640	7,91	5,40	4,234	4,471	0,241
600		33,09	49,09	24,902	9,6	6,50	5,237	5,582	1,791
700		39,13	57,82	29,128	11,27	7,60	6,274	6,741	2,430
800		45,50	66,42	33,277	12,93	8,65	7,345	7,949	3,154
900		51,87		37,325	14,56	9,70	8,448	9,203	3,957
1000		57,94		41,269	16,14	10,70	9,585	10,503	4,833
1100		63,78		45,108	17,67	11,70	10,754	11,846	5,777
1200		69,54		48,828	19,15	12,65	11,947	13,224	6,783
1300				52,398	20,58	13,60	13,155	14,624	7,845
1400					21,96	14,50	14,368	16,035	8,952
1500					23,30	15,35	15,576	17,445	10,094
1600					24,59	16,15	16,771	18,842	11,257
1700					25,82	16,90	17,942	20,215	12,426
1800					27,0	17,60			13,585
2000					29,18	18,90			
2200					31,14	20,15			
2400					32,86	21,30			
2500					33,64	21,85			

Температура холодних спавів при 0°C

Найбільш широко для нагрівників використовують сплави на основі систем Fe-Cr-Al і Ni-Cr. Основні властивості таких сплавів показані в таблиці 18.

Сплави найбільш високої якості позначають індексами А та Н, вони відрізняються прецизійною технологією виготовлення, а також добавками рідкісноземельних елементів, що значно підвищує жаростійкість сплавів. Сплави системи Fe-Cr-Al схильні до 475- градусної крихкості. При повільному охолодженні нижче 500°C вони стають крихкими. Для зменшення цього ефекту використовують гартування в воді з температурою 750-860°C.

Таблиця 18 - Фізико-механічні властивості сплавів для електронагрівників

Сплав	Робоча температура		ρ , Ом/ (м·К)	$R_{1000^{\circ}\text{C}}$ $R_{20^{\circ}\text{C}}$	σ в, МПа			Б, % при 20 °С	А·10 ⁶ при 20-1200 °С
	оптимальна	гранична			20	800	1000		
					°С	°С	°С		
X13104	900	1000	1,18-1,34	1,112	-	-	-	20	-
OX23104	1150	1200	1,29-1,45	1,033	66	12	1,7	14	17,4
OX27105A	1175	1200	1,3-1,4	1,033	66	12	1,7	15	17,4
X15H60	950	1000	1,06-1,17	1,139	66	17	6	22	16,3
X15H60H	1000	1100	1,06-1,17	1,138	66	17	6	22	16,3
X20H60	1050	1100	1,04-1,16	1,078	67	21	7,3	20	16,5
X20H80H	1150	1200	1,04-1,16	1,076	67	21	7,3	20	16,5

7.4 Тверді сплави

Тверді сплави використовуються в основному для виготовлення високоякісного інструмента. Вони значно перевищують швидкоріжучі сталі за твердістю (HRC 73–75 проти 65–69), зносостійкістю, теплостійкістю (900 – 1000, проти 620 – 720 °С), але уступають за ударною міцністю (крихкі).

Структура твердих сплавів: тверді частинки карбідів вольфраму і титану в м'якій основі з кобальту.

Позначаються: перша буква В – присутність карбіду вольфраму; Т – присутність карбіду титану; ТТ – карбідів титану і танталу; К – кобальт, а

цифра за буквою показує його вміст у відсотках.

За використанням тверді сплави діляться на два класи:

- різальні: (BK6, BK8, BK15, T5K10, TT7K12);
- штампові: (BK20, BK25, BK25B).

Стійкість твердосплавного інструмента може бути в 30-50 раз вища, за стійкість сталюого.

7.5 Легкі сплави

Використання легких сплавів дає можливість знизити масу апаратів при одночасному підвищенні їх експлуатаційних характеристик, міцності і жорсткості. Їх виготовляють на основі алюмінію, магнію, титану.

7.5.1 Алюміній і його сплави

Алюміній має невелику густину, добрі теплопровідність і електропровідність, високу пластичність і корозійну стійкість. Оскільки він має невисоку міцність і відносно низьку температуру плавлення його використовують для ненавантажених деталей і елементів конструкцій, коли від матеріалу вимагається легкість, зварюваність, пластичність.

З нього виготовляють рами, двері, трубопроводи, фольгу, цистерни для нафтопродуктів, посуд тощо. Завдяки високій теплопровідності алюміній використовується в різних теплообмінниках і машинах, зокрема в промислових і побутових холодильниках. Висока електропровідність дозволяє використовувати цей метал для електродротів, кабелів, шин. Висока теплоємність алюмінію і його сплавів сприяє повільному твердінню відливок, що дає змогу проводити рафінування, модифікування, покращення відливок тощо. Алюміній і його сплави добре зварюються газовим зварюванням в захисному середовищі (аргон).

В техніці широко використовується і чистий алюміній, і його сплави, які класифікують: за технологією виготовлення деталей - деформівні, ливарні, спечені; за здатністю до термічної обробки - ті, що приймають термообробку і ті, що ні; за властивостями.

7.5.1.1 Деформівні сплави алюмінію

До сплавів, що не зміцнюються термообробкою відносять сплави АМц і АМг. Вони відрізняються високою пластичністю, корозійною стійкістю і доброю зварюваністю. Використовують такі сплави для виробів, що отримують глибокою витяжкою, зварюванням, від яких вимагається висока корозійна стійкість (трубопроводи для бензину і масел, зварні баки, заклепки, переборки, корпуси і щогли суден, ліфтів, вузлів підйомних кранів тощо). До сплавів, що зміцнюються термообробкою, відносять: сплави нормальної міцності, високоміцні та ін. Типові представники таких сплавів—дуралюміні, які історично є першими сплавами на основі алюмінію. Назву їх можна розшифрувати як “твердий алюміній” (від французького “Dur”-- твердий). Маркуються дуралюміні буквою Д. Містять 4% Cu і 0,5% Mg, а також марганець, залізо і кремній. Термообробка дуралюмінів вимагає гартування з 500 С в воду з подальшим старінням, тобто деталь з дуралюмініу набуває відповідних механічних властивостей через 5-7 днів після гартування.

Корозійні властивості дуралюмінів невисокі, тому для роботи в агресивних середовищах використовують плакування: покриття дуралюмінової деталі тонким алюмінієвим шаром 4-8% від товщини листа.

Дуралюміні широко використовуються в машинобудуванні. З сплаву Д1 виготовляють лопаті осєових та відцентрових вентиляторів, з Д16 – будівельні конструкції, обсадні труби тощо. Сплав Д18 – один з основних заклепочних алюмінієвих сплавів. Заклепки з Д18 ставлять в конструкцію після гартування і природного старіння.

Кувальні алюмінієві сплави маркують буквами АК. Вони мають високу пластичність і стійкі до утворення тріщин при гарячій пластичній деформації.

Високоміцні алюмінієві сплави маркують буквою В. Характеристики деяких найпоширеніших алюмінієвих сплавів показані в таблиці 19.

Таблиця 19 - Хімічний склад (ГОСТ 4784) і механічні властивості

деформівних алюмінієвих сплавів

Сплав	Склад елементів (решта Al)%				Вид напівфа- брикату	Механічні властивості				
	Cu	Mg	Mn	Інші		σ_b	$\sigma_{0,2}$	σ^{-1}	$\delta, \%$	НВ
АМц *	-	-	1-1,6	-	Листи	130	50	55	20	300
АМг2 *	-	1,8- 2,6	0,2- 0,6	-	-//-	190	100	125	23	450
АМг6 *	-	5,8- 6,8	-	0,02-0,1Ti 0,002- 0,005Be	-//-	340	170	-	20	700
Д1 **	3,8 4,8	0,4- 0,8	0,4- 0,8	-	-//-	400	240	105	20	950
Д16 **	3,8 4,9	1,2- 1,8	0,3- 0,9	-	Листи, плити пресовані, прути	440 530	330 400	115 140	18 11	1050
Д18 **	2,2 -3	0,2- 0,5	-	-	Дріт	300	170	95	24	700
В95 ***	1,4 -2	1,8- 2,8	0,2- 0,6	0,01- 0,025Сг	Листи, плити пресовані, прути	540 600	470 560	150 150	10 8	1500
АК6 ***	1,8 - 2,6 3,4	0,4- 0,8	0,4- 0,8	0,7-1,2Si	Поковки	400	299	125	12	1000
АК8 ***	- 4,8	0,4- 0,8	0,4-1	0,6-1,2Si	Поковки	480	380	130	9	1350

σ^{-1} визначається на базі 10 циклів
* механічні властивості після відпалювання
** механічні властивості після гартування і природного старіння
*** механічні властивості після гартування і штучного старіння

7.5.1.2 Ливарні алюмінієві сплави

Ливарні алюмінієві сплави маркуються буквами АЛ. Для них найбільш поширеною є класифікація за хімічним складом. Найкращі ливарні властивості мають силуміни (Al - Si); високу рідкотекучість, малу усадку, добру герметичність. Сплави системи Al - Cu (АЛ7, АЛ19) характеризуються високою міцністю при звичайних і підвищених температурах, добре обробляються різанням і зварюються. Водночас сплави мають погані ливарні властивості і невисоку герметичність. Властивості алюмінієвих ливарних сплавів показані в таблиці 20.

Сплави Al – Mg (Al18 – Al27) мають високу корозійну стійкість, міцність, в'язкість і добре обробляються різанням. Разом з тим вони мають невисокі ливарні властивості і підвищену чутливість до домішок Fe і Si, які знижують пластичність цих сплавів.

Використовують ливарні сплави для виготовлення посуду, корпусів компресорів, картерів, головок циліндрів (Al - Si) і деталей, що працюють при підвищених температурах до 300°C (Al – Cu); в умовах високої вологості, корабле- літакобудуванні і для деталей тепломеханічного обладнання (Al- Mg).

7.5.2 Сплави на основі магнію

Перевагою магнієвих сплавів є їх висока питома міцність при малій вазі. Часовий опір деяких магнієвих сплавів сягає 250-400 МПа при густині менше $2 \cdot 10^3$ кг/м³. Магнієві сплави в гарячому стані добре пресуються, куються, прокатуються і обробляються різанням. Деякі магнієві сплави мають добрі демпфуючі властивості. Магнієві сплави доцільно використовувати в деталях, що працюють на згин. Вони немагнітні і не іскрять при ударах і терті. Ці сплави легко зварюються, особливо аргонодуговим зварюванням. Міцність зварювальних швів деформівних сплавів складає 90% від міцності основного металу.

До недоліків магнієвих сплавів, разом з низькою корозійною стійкістю і малим модулем пружності, потрібно віднести погані ливарні властивості, здатність до газонасичення, окислення і загоряння при їх виробництві.

За технологією виготовлення магнієві сплави ділять на ливарні (МЛ) і деформівні (МА), за механічними властивостями – на сплави невисокої і середньої міцності, високоміцні і жароміцні.

В марці сплавів з пониженим вмістом небажаних домішок (Fe, Ni, Cu) додають букви "П4" (підвищеної чистоти, наприклад МА14П4).

Характеристики деяких магнієвих сплавів приведені в таблиці 21.

Таблиця 20 - Хімічний склад (ГОСТ 2685 - 75) і механічні властивості ливарних алюмінієвих сплавів

Сплав	Склад елементів (решта Al).%					Механічні властивості				Примітка
	Si	Mg	Cu	Mn	Інші	$\sigma_{0,2}$	δ , %	НВ		
						МПа				
АЛ2	10-13	-	-	-	-	130	20	2	500	Ливарний в піщану форму
АЛ4	8-10,5	0,17-0,3	-	0,2-0,5	-	260	200	4	750	Ливарний в піщану форму, модифікований
АЛ9	6-8	0,2-0,4	-	-	-	220	120	2	500	Ливарний в піщану форму, модифікований, загартований і старіючий
АЛ9	6-8	0,2-0,4	-	-	-	220	160	3	750	Ливарний під тиском
АЛ32	7,5-8,5	0,3-0,5	1-1,5	0,3-0,5	0,1-0,3 Ti	270	160	3	800	Ливарний в піщану (металічну форму, загартований і старіючий
АЛ7	-	-	4-5	-	-	260	200	3	700	Ливарний під тиском
АЛ19	-	-	4,5-5,3	0,6-1	0,15-0,35 Ti	360	250	3	1000	Загартований і зістарений
АЛ8	-	9,5-11,5	-	-	-	320	-	12	-	Теж саме
АЛ27	-	9,5-11,5	-	-	0,05-0,15 Ti 0,05-0,2 Zr	360	180	18	990	Загартований

Таблиця 21 - Хімічний склад і механічні властивості магнієвих сплавів

Сплав	Склад елементів (решта Mg).%				Механічні властивості		
	Mn	Zn	Al	Інші	σ_B	$\sigma_{0,2}$	Δ, %
					МПа		
Деформівні сплави (ГОСТ 14957- 76)							
MA5*	0,15-0,5	0,2-0,8	7,8-9,2	-	320	220	14
MA11*	1,5- 2,5	-	-	2,5- 4 Nb 0,1-0,25 Ni	280	140	10
MA14*	-	5-6	-	0,3- 0,9Zr	350	300	9
MA19*	-	5,5-7	-	0,5- 1 Zr 0,2- 1 Cd 1,4- 2 Nd	380	330	5
Ливарні сплави (ГОСТ 2856 - 79)							
ML5*	0,15-0,5	0,2-0,8	7,5-9	-	255	120	6
ML8*	-	5,5- 6,6	-	0,7-1,1Zr 0,2-0,8Cd	255	155	5
ML12*	-	4 - 5	-	0,6-1,1 Zr	270	160	6
ML19	-	-	-	0,4- 1 Zr 0,2- 0,8 Y 1,2- 2,6 Nb	200	95	8
ML110	-	0,1-0,7	-	0,4- 1 Zr 2,2- 2,8 Nb	200	95	6
ML15	-	4-5	-	0,7- 1,1 Zr 0,6- 1,2 La	210	130	3

* Властивості наведені після загартування і старіння

8 НЕМЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ

8.1 Пластмаси

Пластмасами називають матеріали на основі природних або синтетичних високомолекулярних сполук, які можна під дією температури і тиску переробляти у виробі, причому останні зберігають свою форму.

Переваги пластмас: мала густина і вага (940 – 1500 – 2300 кг/м³), високі діелектричні властивості, стійкість проти корозії, зменшений коефіцієнт теплопровідності в порівнянні з металами і сплавами, антифрикційні властивості, механічна міцність, цінні декоративні властивості, підвищені

технологічні властивості, які дозволяють виготовляти вироби з пластмас за безвідходними технологіями.

До недоліків пластмас можна віднести розм'якнення і деформування при нагріванні до температур вище 100–120 °С, при низьких температурах пластмаси стають крихкими. Деякі пластмаси інтенсивно набухають у воді. Багато з них старіють (підвищується крихкість і зменшується еластичність, зменшується механічна міцність і збільшується жорсткість).

Пластмаси діляться на:

- **термопластичні**: вони при багаторазовому нагріванні і охолодженні зберігають здатність розм'якати, плавитись і знову тверднути.
- **термореактивні**: при нагріванні розплавляються і при певній температурі тверднуть внаслідок утворення великих тривимірних молекул. Повторне нагрівання їх не розплавляє, а при досягненні температури загоряння вони горять або обвуглюються.

Переважаюча більшість усіх видів пластмас має такі компоненти:

- **смоли** (полімери в аморфному стані), які є основою пластмас. Прості пластмаси - це полімери без добавок;
- **наповнювачі**: як правило порошкові (тальк, крейда, дерев'яна мука тощо), або волокнисті (папір, тканина та інші), займають 40–70% від маси і використовуються для підвищення механічних властивостей, зниження вартості та зміни інших параметрів.
- **пластифікатори**: (гліцерин, парафін, стеарин) для надання пластичності і еластичності;
- **стабілізатори**, які гальмують старіння пластмас. Їх вводять в кількості кількох відсотків для стабілізації і збереження структури молекул: (сажа, сполуки олова і свинцю);
- **каталізатори**, що прискорюють тверднення пластмас;
- **мастильні речовини** полегшують пресування (віск, стеарин);
- **барвники** (вохра, крон, сурик).

Найпоширенішими термопластичними пластмасами є:

Поліетилен – має теплостійкість 60–80 °С, стійкий проти дії лугів, розчинів солей і сильних кислот низької концентрації. Виготовляють з поліетилену: деталі арматури і сантехнічні труби, стержні, листи, плівку. Поліетилен часто використовують для ізоляції кабелів.

Поліпропілен – має теплостійкість до 100 °С. Є добрим діелектриком. Водостійкий і хімічностійкий. Виготовляють: плівки, труби для гарячої води, місткості для агресивних рідин, волокна для різних галузей промисловості.

Вініласти або полівінілхлориди (ПВХ) – теплостійкі до 60–85°С. Стійкі проти мінеральних кислот і лугів, у воді набухають. Виготовляють з ПВХ труби і листові матеріали. З листових ПВХ зварюють деталі устаткування для роботи в агресивних середовищах, замінюючи деталі з свинцю, міді, бронз, латуней, корозійностійких сталей.

Полістирол має високі діелектричні властивості. Стійкий проти лугів, спиртів, не руйнується азотною кислотою. Недоліки: горючість, знижена теплостійкість (до 70 °С). Полістирол інтенсивно старіє.

Фторопласт – 3 має підвищену хімічну стійкість і високу, в порівнянні з іншими пластмасами, температуру плавлення: 210 °С. Виготовляють з нього деталі насосів, лічильників, фітінгу, різні клапани, мембрани та діафрагми.

Фторопласт – 4 є пухким порошком, що обробляють холодним пресуванням. Не розчиняється в жодному розчині. Стійкий проти дії концентрованих кислот та лугів. За хімічною стійкістю в температурному інтервалі –190+250°С не поступається перед золотом і платиною. Негорючий, негігроскопічний, має зменшений коефіцієнт тертя. Виготовляють: ушільнювальні прокладки, хімічностійкі труби, крани, електрорадіотехнічні вироби, фільтри, плівки, волокна.

В таблиці 22 приведені механічні властивості деяких найбільш поширених термопластичних пластмас.

Таблиця 22 - Властивості термопластичних пластмас

Матеріал	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	Максимальна температура експлуатації, °С	
Поліетилен	високого тиску	10-18	300-1000	60-75
	низького тиску	18-32	100-600	70-80
Поліпропілен	26-38	700-800	100	
Полістирол	40-60	3-4	50-70	
Полівінілхлорид (ПВХ)	50-65	20-50	65-85	
Фторопласт-3	37	160-190	150	
Фторопласт-4	20-40	250-500	250	
Органічне скло	80	5-6	65-90	
Капрон	сухий	75-85	50-130	80-100
	насичений водою	35-50	160-250	
	сухий + 30% волокна	180	3	100-130

Поліамідні смоли при підвищенні температури мають добру рідкотекучість, в холодному стані мають підвищену стійкість до стирання, високу міцність волокон. Їх є досить багато різновидів: капрон, нейлон, енант, перлон тощо. Виготовляють із поліамідів деталі підшипників, труби, волокна, наприклад, риболовну жилку.

Терморезистивні пластмаси (реактопласти) отримують на основі епоксидних, поліефірних, фенолформальдегідних та інших полімерів. Такі пластмаси мають сітчасту структуру і не плавляться при нагріванні, стійкі проти старіння і не взаємодіють з паливом і змащувальними матеріалами. Вони водостійкі і набухають лише в окремих розчинниках.

Волокніти - це терморезистивні пластмаси в яких наповнювачем є волокна. Вони характеризуються підвищеною міцністю і ударною в'язкістю. Вироби з волокнітів пресують при підвищених температурах.

Пластмаси з шаруватими наповнювачами виготовляють шляхом гарячого пресування просочених смолами шарів склополотен (склотекстоліт);

паперу (гетинакс), тканини (текстоліт). Властивості термореактивних пластмас приведені в таблиці 23.

Таблиця 23 - Властивості термореактивних пластмас

Матеріали	σ_b , МПа	δ , %	Максимальна температура експлуатації, °С
Порошкові пластмаси	30-60	1-3	100-200
Волокніти	30-90	1-3	120-140
Гетинакси	60-70	---	125
Текстоліти	65-100	1-3	90-105
Склотекстоліти	200-600	1-3	200-400
Фенолформальдегідні чисті	15-35	1-5	200

8.2 Гумові матеріали

Це продукт переробки каучуків разом із сіркою. Каучуки бувають натуральні і синтетичні. Натуральні каучуки виробляють з дерев каучуконосних порід, а синтетичні є продуктами переробки вуглеводнів (нафти, вугілля). Для виготовлення гуми каучук разом із іншими компонентами вулканізують, тобто нагрівають до певної температури і витримують певний час.

Крім каучуків у виготовленні гуми використовують такі компоненти:

- вулканізатори: сірка (для натуральних) і натрій (для синтетичних каучуків);
- прискорювачі вулканізації: окис магнію і цинку, гашене вапно;
- наповнювачі: активні: (сажа, MgO, каолін – для підвищення механічних властивостей), неактивні: (крейда, тальк – для здешевлення гуми);
- барвники: білила, кіновар, вохра, окис хрому;
- регенерат – масу з гуми, що була у користуванні;
- пом'якшувачі, пластифікатори, речовини проти старіння.

Якщо в гумі до 5 % сірки, то таку гуму називають м'якою, до 20 % - напівтвердою, при додаванні в каучукову масу більше 25 % сірки отримують твердий матеріал - ебоніт.

В процесі експлуатації гумові вироби внаслідок впливу різних факторів старіють, що знижує їх роботоздатність. Стійкість гуми при старінні залежить від ступеня ненасиченості каучуку, гнучкості макромолекул тощо. Зміну властивостей оцінюють за зміною міцнісних та пружних характеристик, за відновлюваністю гуми, стійкістю до розривання. На ці властивості впливає температура, іонізуюче випромінювання, тиск та інші фактори.

За стійкістю в різних середовищах гуму ділять на кислотостійку, маслостійку, вакуумну тощо. Фізичні параметри гуми наведені в таблиці 24.

Таблиця 24 Властивості гуми

Призначення	Тип каучуку	Густина каучуку, кг/м ³	Межа міцності	Видовження, %		Температура, °С	
				відносне	залишкове	робоча	крижкості
Загального призначення							
	НК	910-920	24-34	600-800	25-40	80-130	-40-62
	СКБ	900-920	13-16	500-600	10-45	80-150	-42-68
	СКС	919-944	19-32	500-800	12-20	80-130	-47-77
Спеціального призначення							
бензомаслостійкі	Наїрп	1225	20-26,5	450-550	10-20	100-130	-34
	СКН	943-986	22-33	450-700	15-30	100-177	-48
Хімічно стійкі	Бутилкаучук	920	16-24	650-800	30-45	До 130	-30-70
Теплостійкі	СКТ	1700-2000	35-80	360	4	250-235	-74
теплохіметійкі	СКФ	1800-1900	7-20	200-400	2-10	250-325	-40
Зносостійкі	СКУ	---	21-60	350-550	2-28	130	-21-50

В теплотехнічних пристроях гума часто використовується в якості прокладного матеріалу фланцевих з'єднань. Найбільш використовуваною є гума середньої твердості, від 0,75 до 1,1 МПа, яка використовується для гладких фланцевих з'єднань, що стикаються з холодною і гарячою живильною водою, водними розчинами і повітрям від -30 до +60 °С і тисках до 0,3 МПа, а з тканинною прокладкою до 0,5 МПа. Теплостійка гума середньої твердості використовується до температур 150°С і тиску 1МПа. Маслостійка гума використовується для масел і палива при температурах до 60°С. Пластична гума без шкідливих домішок використовується для побутових пристроїв і апаратів, призначених для приготування їжі і води.

8.3 Теплоізоляційні матеріали

8.3.1 Вплив основних параметрів на характеристики теплоізоляції

Теплоізоляційними називають матеріали для теплової ізоляції захисних конструкцій будівель, промислового та енергетичного обладнання і трубопроводів. Як правило, такі матеріали мають коефіцієнт теплопровідності до $0,18 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ та середню густину до $600 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Головним показником якості теплоізоляційних матеріалів є коефіцієнт теплопровідності λ , за значенням якого їх розділяють на 3 класи:

A- малотеплопровідні ($\lambda < 0,058 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$): поропласти, мінеральна вата, будівельна повсть тощо;

B- середньотеплопровідні ($\lambda < 0,058 - 0,116 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$): піноскло, случені перліт і вермикуліт, совеліт тощо;

B- підвищеної теплопровідності ($\lambda < 0,18 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$): арболіт, азбестомісткі матеріали та інші.

Значення коефіцієнта теплопровідності залежить від ступеня пористості, характеру пор, вологості, температури, структурних особливостей матеріалу. Матеріали однакового походження, але різного структурного складу можуть мати різні коефіцієнти теплопровідності, так, для волокнистих матеріалів (наприклад деревини), значення коефіцієнта теплопровідності в залежності від напрямку теплового потоку може відрізнятись в 3-4 рази.

Коефіцієнт теплопровідності вологих матеріалів визначають за формулою:

$$\lambda_M = \lambda_c + \Delta\lambda \cdot W,$$

де λ_M і λ_c - коефіцієнти теплопровідності мокрого і сухого матеріалів відповідно, $\Delta\lambda$ - приріст коефіцієнта теплопровідності, % на кожний відсоток збільшення вологості $W, \%$.

Залежність коефіцієнта теплопровідності від температури визначають за формулою:

$$\lambda_T = \lambda_0 + \alpha T \cdot (T - 273),$$

де λ_T і λ_0 - коефіцієнти теплопровідності при відповідній температурі і при 0°C , α - зміна коефіцієнта теплопровідності при $\Delta T = 1^\circ\text{C}$, T - температура

тура матеріалу, К.

Органічні матеріали мають коефіцієнт теплопровідності менший ніж неорганічні при однаковій середній густині. Значення коефіцієнтів теплопровідності деяких будівельних і теплоізоляційних матеріалів наведені в таблиці 25.

Таблиця 25 - Теплофізичні властивості будівельних матеріалів

Матеріал	λ , Вт/(м·К)	$C_{ср}$, кДж/(кг·К)	ρ , кг/м ³
Граніт	2,8-3,0	---	1840
Бетон	важкий ніздрюватий	1,1-1,5 0,15-0,4	2300 ---
Цегла керамічна	0,23-0,3	0,8	800-1500
Сталь	45-60	0,462	7900
Арболіт	0,098-0,83	---	220
Деревоволокнисті плити	0,05-0,09	---	250-300
Пробкові плити	0,04-0,05	1,88	190
Поропласти	0,03-0,05	---	170-190
Перліт случений	0,046-0,070	---	250-600
Піноскло	0,05-0,12	---	200-600
Вата мінеральна	0,04-0,046	0,92	250
Сов еліт	<0,093	---	75-150
Азбест листовий	0,1105	0,818	470
Повітря	0,023	1,005	1,293

Для захисних конструкцій виробів, в яких необхідно зберегти максимальну частку тепла, вибирають матеріали з невеликим коефіцієнтом теплопровідності, але з як найвищою питомою теплоємністю.

Теплоізоляційні матеріали класифікують також за середньою густиною, за якою можна наближено судити і про теплопровідність матеріалу.

За густиною матеріал ділять на такі марки, кг/м³:

ОЛ (особливо легкі) – 15, 25, 35, 50, 75, 100;

Л (легкі) – 125, 150, 175, 200, 250, 300;

Т (важкі) – 400, 450, 500, 600.

З матеріалів однакової загальної пористості вищий термічний опір мають ті матеріали, в яких пори закриті і мають сферичну форму, діаметром 0,1-2мм. Великі, особливо сполучені між собою пори, дають можли-

вість повітря вільно циркулювати по матеріалу, наслідком чого є передача тепла конвекцією, тобто повітря в таких порах перетворюється з теплоізолятора на теплоносій.

8.3.2 Неорганічні теплоізоляційні матеріали

Вони характеризуються низькою теплопровідністю, достатньою вогнестійкістю, низькою гігроскопічністю, стійкістю проти загнивання. Застосовуються для утеплення будівельних конструкцій, теплової ізоляції гарячих і холодних поверхонь промислового обладнання та трубопроводів.

- **мінеральну вату** виробляють видуванням розплаву гірських порід. Робочий температурний діапазон мінеральної вати: $-200\div+600^{\circ}\text{C}$;
- **мінеральну повсть, мати, плити, фасонні вироби** з мінеральної вати виготовляють додаючи в мінеральну вату в'язучі (бітумну емульсію, синтетичні смоли тощо);
- **скловату** виготовляють тим способом, що і мінеральну, але з склобою, або залишків від варіння віконного скла. Робочий діапазон скловати $150\div+350^{\circ}\text{C}$;
- **піноскло** виготовляють спіканням скломаси з газоутворювачами. Максимальна робоча температура піноскла до 400°C , а безлужного до 1000°C ;
- **спучені перліт і вермикуліт** виготовляють подрібненням і прискореним випалюванням гірських порід. Застосовують як теплоізоляційну засипку при робочих температурах до 1100°C і як основу для виготовлення теплоізоляційних фасонних виробів на різних зв'язках;
- **азбестомісткі матеріали** є матеріалами на основі волокон азбесту. Це такі матеріали як **азбокартон, азбестовий папір**, з робочою температурою до 500°C , **азбозурит** – суміш азбесту з діатомітом чи трепелом, з робочою температурою до 600°C , **ньовель** – суміш азбесту з водним розчином вуглекислого магнію, **совеліт** – суміш азбесту з водним розчином подвійної вуглекислої солі. Ньюель і совеліт застосовуються у вигляді порошків чи мастикової ізоляції до температур 500°C .

7.3.3 Органічні теплоізоляційні матеріали

Їх виготовляють з відходів деревообробки та іншої рослинної сировини волокнистої будови. Серед органічних теплоізоляційних матеріалів найбільш поширеними є:

- *деревоволокнисті та дерево-стружкові плити*, що виготовляються гарячим пресуванням деревних відходів, подрібненої неділової деревини, стебел соломи, кукурудзи, бавовнику в суміші із в'язучими, антисептиками та антипіренами. Використовуються для теплової, звукової ізоляції і для декоративних робіт в середовищах з відносною вологістю 60-90% і температурою 0-35°C.
- *арболітові плити та фасонні вироби*, виготовлені з суміші тирси, січки, костриці, соняшникового лушпиння, портландцементу, води і мінералізаторів;
- *комишитові плити*, основою яких є болотні рослини;
- *торф'яні плити та вироби*, основою яких є нерозкладений торф, які використовуються, наприклад, як теплоізоляційний матеріал для холодної техніки і трубопроводів з температурою -60÷+100°C.
- *будівельна вовна* – низькі сорти шерсті тварин в суміші з рослинними волокнами і антисептиками.

ЛІТЕРАТУРА

1. Справочник металлиста.//Под ред. А.Г. Рахштадта и В.А. Брострема.-М.: Машиностроение, т.2,- 1976.-717с.
2. Краткий справочник металлиста.//Под ред. А.Н. Малова.-М.: Машиностроение, 1972.-767с.
3. А.П. Гуляев. Металловедение.-М.: Metallургия, 1986.-541с.
4. Материаловедение.//Под ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1986.-383с.
5. Технология металлов и других конструкционных материалов.//Под ред. П.И. Полухина.-М.: Высшая школа, 1970.-704с.
6. Технология металлов.//Под ред. А.М. Кучера.-Л.: Машиностроение, 1980.-150с.
7. А.Е. Эгус. Материаловедение в санитарной технике.-М.: Стройиздат, 1978.-263с.
8. Геллер А.Ю., Рахштадт А.Т. Материаловедение.-М.: Metallургия, 1975.-447с.
9. В.М. Зуев. Термическая обработка металлов.-М.: Высшая школа, 1981.-296с.
10. А.П. Гуляев. Термическая обработка стали.-М.: Машгиз, 1953.-384с.
11. И.И. Новиков. Теория термической обработки металлов.-М.: Metallургия, 1986.-479с.
12. Самохоцкий А.И. и др. Металловедение.-М.: Metallургия, 1990.-416с.
13. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение.-М.: Машиностроение, 1990.-528с.
14. Ф.Ф. Химушин. Жаропрочные стали и сплавы.-М.: Metallургия, 1969.-749с.
15. Структура і фізичні властивості твердого тіла.//Під ред. Л.С. Палатника.-К.: Вища школа, 1992.-311с.
16. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи.-М.: Энергия, 1977.-343с.
17. Л. Й. Дворкін. Теоретичні основи будівельного матеріалознавства.-К.: НМК ВО, 1992.-154с.
18. Л.Н. Попов. Общая технология строительных материалов.-М.: Высшая школа, 1989.-352с.
19. Свердлов Д.В., Жарко Л.О. Металеві конструкції.-К.: Вища школа, частина 1, 1994.-190с.

ЗМІСТ

Передмова.....	3
1 СТРУКТУРА МЕТАЛІВ.....	4
1.1 Кристалічна будова металів.....	4
1.2 Дефекти кристалічної будови металів.....	7
1.3 Будова сплавів.....	10
1.4 Діаграми стану подвійних сплавів.....	12
1.5 Зв'язок між діаграмою стану і властивостями сплавів.....	16
2 ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ І ЇХ СПЛАВІВ.....	17
2.1 Фізичні властивості.....	18
2.2 Механічні властивості металів і сплавів.....	19
2.3 Хімічні властивості металів і їх сплавів.....	20
2.4 Технологічні властивості.....	20
2.5 Спеціальні властивості металів і сплавів.....	21
3 ДІАГРАМА СТАНУ СИСТЕМИ ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЬ.....	21
4 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ.....	24
4.1 Класифікація видів термообробки.....	24
4.2 Відпалювання.....	28
4.3 Гартування.....	29
4.4 Відпуск.....	30
4.5 Термомеханічна обробка сталі.....	30
4.6 Хіміко-термічна обробка сталі.....	31
4.7 Практика термообробки.....	33
4.8 Дефекти термообробки.....	34
5 СТАЛІ І СПЛАВИ НА ОСНОВІ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ.....	36
5.1 Вплив легуючих елементів на властивості сталі.....	36
5.2 Маркування сталей.....	37
5.3 Способи класифікації сталей.....	38
5.4 Будівельні сталі.....	41

5.5 Сталі машинобудівні (конструкційні).....	42
5.6 Сталі і сплави машинобудівні спеціального призначення.....	45
5.7 Інструментальні сталі.....	55
5.8 Сталі та сплави з особливими хімічними властивостями (корозійностійкі).....	56
5.9 Сталі та сплави з особливими фізичними властивостями.....	61
6 ЧАВУНИ.....	62
7 КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ ТА ЇХ СПЛАВИ.....	64
7.1 Мідь і сплави на основі міді.....	64
7.2 Нікель і його сплави.....	75
7.3 Сплави з особливими електрофізичними властивостями.....	76
7.4 Тверді сплави.....	82
7.5 Легкі сплави.....	83
8 НЕМЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ.....	88
8.1 Пластмаси.....	88
8.2 Гумові матеріали.....	92
8.3 Теплоізоляційні матеріали.....	94
ЛІТЕРАТУРА.....	98

Навчальне видання

Власенко Анатолій Миколайович

Співак Олександр Юрійович

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ
СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ**

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено авторами

Редактор В.О. Дружиніна

Коректор З.В. Поліщук

Підписано до друку *22.02.2004р.*

Формат 29,7x42 ¹/₄ Гарнітура Times New Roman

Друк різнографічний Ум. друк. арк. *43*

Тираж 75 прим.

Зам. № *2002-060*

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ, ГНК, 9-й поверх
Тел. (0432) 44-01-59