

Будова металів і сплавів. Маркування

Відомі на сьогодні конструкційні матеріали поділяють на чотири групи. До першої групи належать метали і сплави на їхній основі, до другої – пластмаси, до третьої – керамічні матеріали, до четвертої – композиційні. Важливе місце займають напівпровідники та інші матеріали, які широко використовують у промисловості.

Будова металів і сплавів

Основна продукція металургійної промисловості – метали і сплави на їхній основі. У техніці під металами розуміють як технічно чисті метали, так і сплави на їхній основі.

Застосування металів вимагає знання їхніх властивостей: фізичних, хімічних, механічних і технологічних. Властивості металів залежать не тільки від вмісту, а й від їхньої кристалічної будови та структури. Тому, змінюючи внутрішню будову і структуру металів і сплавів, можна значно поліпшити їхні властивості.

Метали

З 107 відомих не сьогодні хімічних елементів понад 85 – метали. Металами називають хімічні елементи, які мають загальні властивості: «металевий» блиск, пластичність, тепло- і електропровідність. Ці властивості більшою мірою залежать від чистоти металів. З підвищенням чистоти металів збільшуються їхні електропровідність і пластичність, але різко знижується міцність. Так, титан, хром, вольфрам і деякі інші метали тривалий час вважали крихкими. Після очищення від домішок до $10^{-6} \dots 10^{-5}\%$ ці метали легко обробляються тиском навіть при низьких температурах.

Метали в твердому стані можуть мати як кристалічну, так і аморфну будову. Кристалічна будова металів заснована на закономірному розміщенні атомів у просторі з утворенням елементарних осередків. В аморфних металах осередки відсутні. (Тут і далі будемо вживати слово атоми, хоча насправді там знаходяться позитивно заряджені іони, а між ними рухаються вільні електрони.)

Для металів характерні три типи кристалічних решіток: об'ємоцентрована кубічна (о.ц.к.), гранецентрована кубічна (г.ц.к) і гексагональна щільно упакована (г.щ.у.). Схеми цих решіток зображені на рис.1.

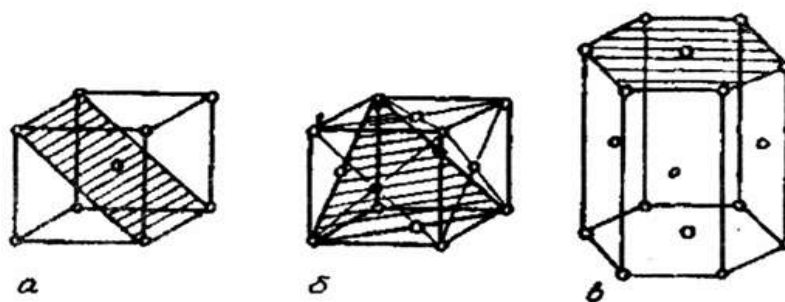


Рис. 1. Типи кристалічних решіток: а – о.ц.к.; б – г.ц.к.; в – г.щ.у.

Комірки кожного типу складаються з певної кількості атомів. Так, об'ємоцентрована кубічна комірка побудована з дев'яти атомів: вісім з них розміщені у вершинах куба, а дев'ятий – в центрі на однаковій відстані від шести граней. Таку решітку мають хром, молібден, вольфрам, ванадій і ін. Гранецентрована кубічна комірка побудована з 14 атомів, розташованих так: вісім – у вершинах куба, шість – в центрах граней. Саме таку решітку мають нікель, мідь, алюміній, свинець та ін. Гексагональна щільноупакована комірка побудована з 17 атомів: 12 з них розміщені у вершинах верхньої і нижньої основ шестигранної призми, 2 – в центрі цих основ і 3 – всередині призми. Така решітка характерна для берилію, кадмію, цинку та ін.

Відстань між найближчими паралельними атомними площинами, які утворюють елементарну комірку, називають параметром решітки, її вимірюють в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Параметр решітки (розмір сторони куба або шестигранника) хрому дорівнює 0,288 нм, алюмінію – 0,404 нм, міді – 0,36 нм.

Окремі комірки об'єднуються в кристали. Місце дотику кристалів одного до іншого називають границею кристалів. Метали – тіла полікристалічні.

Реальний кристал на відміну від ідеального, кристалічну будову якого описано раніше, має багато дефектів: точкових, лінійних і поверхневих.

До точкових дефектів (рис. 2,а) належать вакансії 1 (вільні від атомів вузли в кристалічній решітці); атоми 2, зміщені зі свого положення у міжвузля, і атоми домішок 3.

Основним видом лінійних дефектів є дислокації. Крайова дислокація 4 показана (рис. 2, б) у вигляді краю "зайвої" півплощини в решітці. Навколо дислокації решітка втрачає ідеальність. У разі іншого характеру зміщення атомів може утворитися гвинтова дислокація. Дислокації утворюються в процесі кристалізації. Цьому сприяють домішки, які є в розплаві. Існують також інші фактори. Експериментально встановлено, що межі кристалів мають велику щільність дислокацій. Сприяють утворенню дислокацій термічна обробка і особливо пластична деформація. Наявність лінійних дефектів впливає на механічні властивості металів.

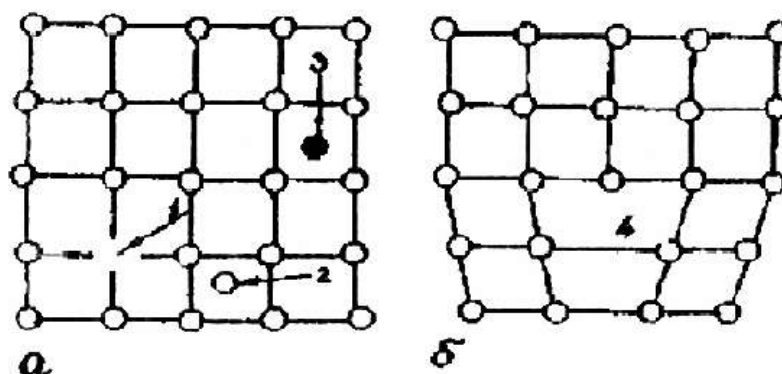


Рис. 2. Дефекти кристалічної решітки: а – точкові; б – лінійні.

Наглядним прикладом поверхневих дефектів є межі кристалів. Через недосконалість границь кристалів між кристалами збираються домішки. Межі кристалів істотно впливають на всі властивості металів.

Сплави

Чисті метали застосовують обмежено, в основному в електро- і радіотехніці. Основними конструкційними матеріалами є сплави. Порівняно з чистими металами сплави мають кращі властивості.

Сплавами називають складні конструкційні матеріали, які отримують сплавом або спіканням (можна і іншими способами) двох або більше металів або металів з неметалами. Наприклад, латунь – сплав міді та цинку, чавун – сплав заліза і вуглецю.

Сплави є складними системами. Вони складаються з елементів – компонентів і фаз. Компонентами можуть бути окремі хімічні елементи або їхні сполуки. За кількістю компонентів сплави поділяють на подвійні, потрійні і ін. Фаза може складатися з двох і більше компонентів і виступати як підсистема або окрема система. У рідкому стані більшість сплавів є однорідною фазою – рідкий розчин.

Фазою називають окрему однорідну складову частину сплаву, відмежовану від інших частин (фаз) поверхнею розділу, в разі переходу через який хімічний склад або структура змінюється. Наприклад, в процесі кристалізації сплаву існує дві фази: рідкий розчин і утворені кристали.

Після кристалізації в твердих сплавах може утворитися кілька фаз. Такими, фазами можуть бути кристали чистого металу, твердого розчину і хімічної сполуки. За характером взаємодії компонентів сплаву за умов кристалізації і охолодження розрізняють три види сплавів: тверді розчини, хімічні сполуки і механічні суміші.

Тверді розчини. Твердим розчином називають сплав, компоненти якого розчиняються в кристалічній решітці одного з них, змінюючи її розміри.

В процесі утворення твердих розчинів атоми розчиненого компонента стають на місце (заміщають) атомів розчинника в його кристалічній решітці

або поміщаються у міжвузля. У першому випадку утворюються тверді розчини заміщення, а у другому – впровадження. Тверді розчини заміщення утворюють срібло і золото, нікель і мідь, молібден і вольфрам і т.п. Тверді розчини впровадження утворюються у разі взаємодії металів з неметалами, які мають маленькі атомні радіуси, наприклад залізо і вуглець. Тверді розчини не мають постійного складу, а відповідно і властивостей.

Тверді розчини в залежності від складу мають різні властивості. Вони менш пластичні, твердіші та міцніші ніж чисті метали. Тверді розчини не мають постійної температури плавлення і кристалізації: починають плавитися при нижчій температурі, а закінчують при вищій; в процесі кристалізації навпаки.

Хімічні сполуки. При кристалізації сплавів деякі компоненти взаємодіють між собою з утворенням сполук, які мають постійну температуру плавлення (дисоціації) і особливий (відмінний від компонентів) тип кристалічної решітки. Такі сполуки називають хімічними. Хімічні сполуки утворюються в разі взаємодії як металів з неметалами, так і самих металів. Прикладом взаємодії металів з неметалами є взаємодія заліза з вуглецем: $\text{Fe} + \text{C} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$, а металів з металами – міді з алюмінієм: $\text{Cu} + \text{Al} \rightarrow \text{Cu}_2\text{Al}_{11}$.

. З'єднання, утворені під час взаємодії металів, називають інтерметалідами. Хімічні сполуки мають певний хімічний склад, а також характерні фізико-механічні властивості: високу твердість і крихкість. У сплавах хімічні сполуки виділяються у вигляді включень, розміщених в тілі кристалів або по їхнім границям.

Механічні суміші. Механічною сумішшю називають сплав, який складається з суміші кристалів різних фаз: чистих компонентів, твердих розчинів, хімічних сполук, наприклад сплав свинцю і сурми. Після кристалізації цей сплав складається з кристалів чистих компонентів: сурми і свинцю, які зберігають свої кристалічні комірки.

Механічну суміш, яка складається з двох або декількох фаз, які одночасно кристалізуються з розплаву або розчину, називають евтектикою (від грецьк., що означає легкоплавкий). Евтектичний сплав порівняно з компонентами має найнижчу температуру плавлення. Наприклад, сплав свинцю (87%) і сурми (13%) плавиться при температурі 246 °С, тоді як компоненти свинець і сурма – при температурах відповідно 327 і 630 °С. Механічні суміші мають хороші ливарні властивості.

Структурну будову сплавів (кристали чистих металів, твердих розчинів і хімічних сполук) добре видно за допомогою металографічного мікроскопа при збільшенні від 50 до 2000 разів.

Поліморфізм

Деякі метали, а їх понад 30 (кобальт, залізо, олово, титан, цирконій та ін.) Змінюють свою кристалічну будову, тобто тип решітки, в залежності від температури. Це явище називають поліморфізмом (від грецьк., що означає різноманітний), а перехід металу з однієї модифікації в іншу – поліморфним перетворенням.

Поліморфні модифікації позначають буквами грецького алфавіту α (альфа), β (бета), γ (гама), δ (дельта), які додають до назв металів, наприклад α -залізо, β -олово, або до їхніх символів Fe_α , Sn_β . При цьому буквою α позначають модифікації, які існують до температури першого поліморфного перетворення; β – до температури другого і так далі. Наприклад, залізо має три модифікації: Fe_α , Fe_γ , Fe_δ (рис. 3). До температури 911 °С залізо має о.ц.к. решітку, його називають альфа-залізом (Fe_α). При температурі 911 °С решітка заліза змінюється з о.ц.к. на г.ц.к., і його називають гамма-залізом (Fe_γ). При температурі 1392 °С г.ц.к. решітка знову перетворюється в о.ц.к., що зберігається до температури плавлення – 1539 °С. Таке залізо називають дельта-залізом (Fe_δ).

Разом зі зміною кристалічної решітки металу змінюються його об'єм і властивості: пластичність, здатність розчиняти в собі різні елементи в різній кількості і т.п.

Перехід металу з однієї модифікації в іншу відбувається при постійній температурі, яку називають температурою поліморфного перетворення. Залізо має дві температури поліморфного перетворення: 911 і 1392 °С.

Поліморфізм має велике практичне значення. Він лежить в основі термічної і хіміко-термічної обробки металів і сплавів, використовується в процесі їхнього легування і під час обробки тиском.

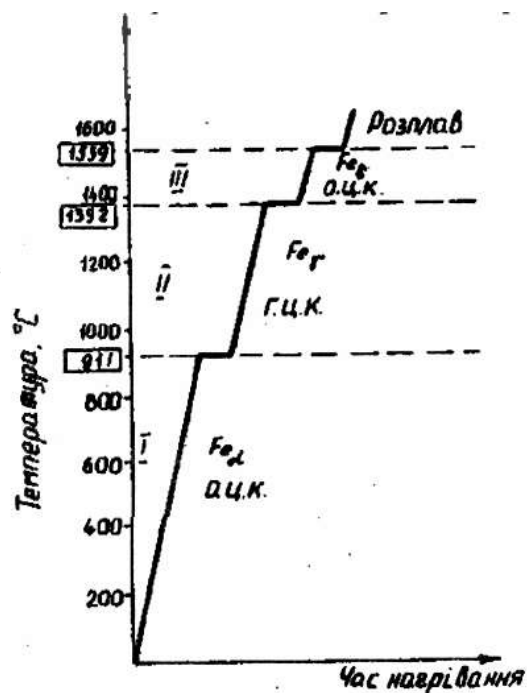


Рис.3. Графік нагрівання заліза.

Анізотропія

Анізотропією називають зміну властивостей металу в залежності від напрямку його дослідження. З рис.1 випливає, що в різних площинах кристалічної решітки число атомів і відстань між ними різне. Відповідно і властивості металів в цих напрямках також будуть відрізнятися. Якщо взяти

великий кристал, вирощений спеціальним способом, вирізати в нього кілька однакових за розмірами, але по-різному орієнтованих зразків і випробувати їхні властивості, то іноді спостерігається значна їхня відмінність. Наприклад, в процесі випробування зразків, виготовлених з монокристала міді, відносне подовження змінювалося від 10 до 50% для різних зразків. Метали, які затверділи при звичайних умовах, складаються з великої кількості кристалів, по-різному орієнтованих один до іншого. Тому властивості полікристалічних металів в різних напрямках приблизно однакові. Якщо полікристалічні метали обробляти тиском (вальцюванням, волочінням і т.п.), то кристали орієнтуються в напрямку дії сили, і тоді властивості металу вздовж і поперек утворених кристалів будуть різними.

Аморфні метали і сплави

Аморфні метали і сплави – це один з видів нових конструкційних матеріалів. На відміну від звичайних металів і сплавів вони не мають кристалічної будови, але ідеально хімічно однорідні. Ці конструкційні матеріали отримують в разі дуже швидкого охолодження розплавів, швидкість охолодження в основному становить $10^3 \dots 10^{10} \text{ }^\circ\text{C/с}$. Таких великих швидкостей охолодження досягають в розплавах, товщина шарів яких не перевищує десятки мікрометрів. У разі великої товщини розплавів отримати аморфні метали і сплави неможливо, оскільки відведення теплоти зсередини назовні зумовить нагрівання аморфних шарів, внаслідок чого вони стануть кристалічними. Тому аморфні метали і сплави виробляють у вигляді фольги, стрічки і тонкого дроту.

Аморфні метали і сплави – це метастабільні матеріали. У разі нагрівання вони легко перетворюються в кристалічні. Чим вище температура нагрівання аморфних металів, тим швидше вони перебудовуються в кристалічні. Проте, при кімнатній температурі навіть самі нестабільні аморфні матеріали по теоретичним розрахункам можуть пролежати до 200000 р. Оскільки аморфні метали і сплави не мають кристалічної будови, в них не має дефектів у кристалічних решітках, границі кристалів і т.п.

Саме тому вони мають вищу корозійну стійкість, ніж однакові за хімічним складом кристалічні сплави. Так, аморфний сплав, який складається із заліза, нікелю, і хрому, не руйнується в розчині соляної кислоти, тоді як нержавіюча сталь такого ж складу в такому ж розчині руйнується зі швидкістю 10 мкм на рік. З аморфних металів і сплавів можна виготовляти фільтри, деталі кабелів, які працюють в морській воді. Їх можна використовувати для виготовлення медичної апаратури.

Аморфні метали і сплави мають високі механічні властивості. Висока міцність обумовлює їхнє використання для армування шин, виготовлення трубок для перетікання речовин під високим тиском і т.д.

Оскільки аморфні матеріали мають високі твердість, зносостійкість і корозійну стійкість, з них виготовляють леза різальних інструментів.

На відміну від кристалічних аморфні метали практично не наклепуються в разі деформації в процесі вальцювання, штампування,

волочіння і т.п. при температурі 20 °С, а тому вироби після виготовлення не вимагають відпалу.

В середині 70-х років отримали аморфні напівпровідники у вигляді стрічки товщиною до 50 мкм. Останнім часом почали виробляти магнітом'які аморфні сплави на основі перехідних металів (заліза і кобальту), до яких додають 15-25% неметалу. Так, сплави $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$ і $\text{Co}_{74}\text{Fe}_6\text{B}_{20}$ успішно використовують для виготовлення сердечників трансформаторів. Магнітом'які матеріали об'єднують магнітні та електричні властивості. Високий опір цих матеріалів сприяє зменшенню витрат електроенергії. Так, заміна електротехнічної трансформаторної сталі ЕЗ (3% кремнію, залишок – залізо) в силових трансформаторах на аморфний сплав $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$ за рахунок різкого (в 4 рази) зменшення витрат дала значний економічний ефект.

Ведуться пошуки промислових способів виробництва аморфних сплавів, перетворення їх у вироби і отримання на їхній основі композиційних матеріалів з унікальними властивостями.

Вже запроваджено в промислове виробництво спосіб захисту від корозії великогабаритних виробів аморфізацією їхніх приповерхневих шарів. Для цього приповерхневі шари виробів нагрівають потужними електронними та іонними пучками і швидко охолоджують. Внаслідок такої обробки приповерхневі шари виробів стають аморфними.

Класифікація металів і сплавів

Класифікація металів

Метали класифікують за такими ознаками, як колір, фізичні та хімічні властивості, характер залягання в земній корі, ступінь чистоти і т.п.

За кольором метали поділяють на чорні і кольорові. Чорні метали мають темно-сірий колір, схильні до поліморфних перетворень. До чорних металів належить залізо. На сьогодні його широко використовують. Кольорові метали найчастіше мають червоний, жовтий і білий кольори. Вони дуже пластичні, деякі з них мають відносно низькі температури плавлення.

За фізичними і хімічними властивостями, а також характером залягання в земній корі кольорові метали поділяють на легкі (алюміній, берилій, магній, титан, літій, натрій, калій, рубідій, цезій, стронцій, барій, кальцій), важкі (мідь, кобальт, нікель, свинець, олово, цинк, кадмій, сурма, вісмут, ртуть); благородні (золото, срібло, платина і платиноїди), тугоплавкі (вольфрам, молібден, ніобій, тантал, реній, ванадій, хром, цирконій), розсіяні (гелій, індій, талій), рідкоземельні (ітрій, скандій, лантан і всі лантаноїди), радіоактивні (технецій, францій, радій, полоній, актиній, торій, уран і всі трансуранові елементи).

За ступенем чистоти метали поділяють на технічно чисті (містять до 0,1-0,5% домішок), хімічно чисті (містять до 0,01-0,1% домішок) і надчисті. Метали високої чистоти використовують в ракетній техніці, надзвуковій авіації, а також у хімічній промисловості та медицині. Проте, чисті метали не завжди задовольняли вимоги техніки, а тому людство здавна використовує сплави.

Класифікація сплавів

У техніці використовують дуже велику кількість сплавів. Найголовнішими з них є сплави на основі заліза, алюмінію, міді. Сплави на основі цинку, титану, ніобію, цирконію, магнію та інших металів використовують рідше. Всіх сплавів налічується кілька тисяч, їхня кількість постійно збільшується, оскільки різні галузі промисловості ставлять перед конструкційними матеріалами все нові вимоги щодо властивостей.

1. За кольором сплави, як і метали, розділені на чорні і кольорові. До першої групи належать сплави на основі заліза, до другої – на основі кольорових металів. На основі заліза виробляють сплави, які називають чавунами і сталями. Сплави на основі кольорових металів поділяють на сплави на основі алюмінію, міді, цинку, магнію, нікелю і т.п. На практиці ширше використовують алюмінієві і мідні сплави.

2. За властивостями сплави поділяють на легкі, важкі, легкоплавкі, тугоплавкі, жаростійкі, жароміцні, магнітні, немагнітні та ін. Легкі сплави мають малу щільність (це сплави на основі алюмінію, берилію, магнію тощо), важкі – велику (сплави на основі вісмуту, свинцю, олова і т.п.). Легкоплавкі сплави мають низьку температуру плавлення. Їх отримують на основі натрію, калію та інших металів, які мають низькі температури плавлення. Тугоплавкі сплави отримують на основі металів, які мають високу температуру плавлення (вольфрам, молібден, ніобій, тантал). Жаростійкі сплави витримують високі температури без навантаження, жароміцні – з навантаженням. Магнітні сплави мають магнітні властивості, немагнітні їх не мають.

Залізовуглецеві сплави

Залізовуглецеві сплави є найпоширенішими конструкційними матеріалами. Немає жодної галузі промисловості, де не використовували б сплави на основі заліза. Саме тому вивчення залізовуглецевих сплавів приділяють таку велику увагу.

Чавуни

Чавунами називають сплави заліза з вуглецем, в яких міститься теоретично 2,14-6,67% вуглецю і домішки (фосфор, сірка, марганець, кремній і ін.). У легованих чавунах додатково міститься хром, нікель та інші елементи.

За призначенням чавуни поділяють на переробні, ливарні і спеціальні.

Переробні чавуни є основною сировиною для виробництва сталі, їх переробляють в сталь. Вони мають низьку пластичність, тому з них не допускається виготовлення виробів із застосуванням тиску (куванням, штампуванням, вальцюванням і т.п.). У доменних печах виплавляють три види переробних чавунів: 1 – коксовий, 2 – фосфористий, 3 – високоякісний. Найбільше виробляють коксових чавунів. Вони містять 3,8-4,4% С, 0,5-1,4% Si, 0,5-1,5% Mn, 0,15-0,3% P, 0,02-0,06% S. З них варять сталь в

мартенівських печах і кисневих конвертерах. З фосфористих чавунів, які містять 1-2% фосфору, варять сталь в мартенівських рухомих печах. Високоякісні чавуни мають мінімальну кількість шкідливих домішок (). З них варять високоякісні сталі в дугових електропечах.

Ливарні чавуни мають хороші ливарні властивості, їх використовують для виготовлення виробів литтям. Звичайні ливарні чавуни містять 0,1-0,3% Р. Чавуни, з яких виготовляють художні вироби, містять до 1,2% Р. Сірка погіршує ливарні властивості розплаву і механічні властивості злитків, тому чавун, з якого виготовляють злитки, очищають від сірки. З чавуну виготовляють корпусні деталі, станини верстатів і т.д.

До спеціальних чавунів належать леговані чавуни і феросплави. Чавуни легують хромом, нікелем, кремнієм та іншими елементами. Вироби, виготовлені з легованих чавунів, придатні для роботи в агресивних середовищах і при високих температурах. Високу корозійну стійкість мають чавуни, леговані кремнієм (ЧС13, ЧС15) і хромом (ЧХ28, ЧХ32). Леговані чавуни маркують так: перша буква "Ч" означає чавун, друга – легувальний елемент, наприклад С – кремній, Х – хром. Цифри після букв означають вміст легувального елемента у відсотках. Ці чавуни мають високу термостійкість на повітрі – 700...800 °С. Вони стійкі в середовищі сірчаної та азотної кислот. Леговані чавуни дешевші, ніж нержавіючі сталі, мають хороші ливарні властивості. Вироби з них отримують литтям.

Феросплавами називають сплави заліза, які мають підвищений вміст марганцю, кремнію, хрому та інших елементів. До них належать дзеркальні чавуни (10-25% Mn), феромарганець (70-75% Mn), феросиліцій (9-13% Si і до 3% Mn). Ці сплави використовують для легування і розкислення сталей, в процесі хіміко-термічної обробки металів і сплавів і т.п.

За станом виділень вуглецю (вільний або пов'язаний) чавуни поділяють на білий і сірий.

Білим називають чавун, в якому місце зламу має білий колір з металевим блиском. У білому чавуні при нормальній температурі весь вуглець знаходиться в зв'язаному стані у вигляді цементиту Fe_3C . Структура білого чавуну складається з перліту, ледебуристу і цементиту.

Сірим називають чавун, в якого місце зламу має сірий колір внаслідок великої кількості графіту. У сірому чавуні майже весь вуглець знаходиться у вільному стані у вигляді графітових включень. Частина вуглецю ($\leq 0,8\%$) може перебувати у зв'язаному стані у вигляді цементиту Fe_3C . Сірий чавун отримують повільним охолодженням розплаву, який сприяє розпаду цементиту. Цей вид чавунів використовують в машинобудуванні. Вони мають хороші ливарні властивості. З них виготовляють станини верстатів, корпуси редукторів, pomp, шестерні колеса та ін. Ширше використовують чавуни, які містять 2,4-3,8% С. Сірі чавуни маркують літерами "СЧ", де "С" – сірий, "Ч" – чавун. Після букв йдуть цифри, які означають межу міцності (10-1 МПа), наприклад СЧ 10, СЧ 15. Ці чавуни мають межу міцності відповідно 100 і 150 Мпа.

За формою графіту чавуни поділяють на пластинчасті, кульові і пластівчасті. Пластинчасту форму графіту має сірий чавун, кульову – високоміцний, а пластівчасту – ковкий.

Високоміцний чавун отримують з сірого чавуну, додаючи до нього перед розливанням невелику кількість магнію або церію. При цьому утворюється графіт кульової форми, внаслідок чого міцність, пластичність і в'язкість чавуну значно підвищуються. Високоміцний чавун маркують літерами "ВЧ", де "В" – високоміцний, "Ч" – чавун. Після букв йдуть цифри: перші означають межу міцності (10-1 МПа), другі – відносне подовження (%). Наприклад, ВЧ 50-2; ВЧ 60-2; ВЧ 42-12.

Ковкий чавун отримують з білого внаслідок тривалого нагрівання при температурі 950 °С. У разі нагрівання цементит, який міститься в білому чавуні, розпадається з утворенням графіту у формі пластівців. Ковкі чавуни маркують літерами "КЧ", які означають "К" – ковкий, "Ч" – чавун. Перші цифри, які йдуть після букв, означають межу міцності (10-1 МПа) чавуну, а другі – відносне подовження (%). Наприклад, КЧ 37-12; КЧ 35-10.

Сталі

Сталями називають сплави, які мають понад 50% заліза. Крім заліза в сталях міститься також вуглець, домішки і легувальні елементи. Сталі є основними конструкційними матеріалами, їх широко використовують в різних галузях промисловості.

Класифікація сталей

Щоб полегшити пошук потрібної сталі з урахуванням її властивостей, всі сталі класифікують за способом виробництва, хімічним складом, якістю, призначенням і т.п.

За способом виробництва сталі поділяють на мартенівські (виплавають в мартенівських печах), киснево-конверторні (виплавають в кисневих конвертерах) і електросталі (виплавають в електричних дугових і індукційних печах).

За хімічним складом сталі поділяють на вуглецеві і леговані.

За якістю. В основі цієї класифікації лежить вміст шкідливих домішок (сірки, фосфору, азоту, кисню, водню та ін.) в сталях, які значно погіршують їхні властивості. Металургійна промисловість виробляє вуглецеві якісні і високоякісні сталі, а леговані – якісні, високоякісні і надвисокоякісні. Чим менше домішок в сталі, тим вище її якість.

За призначенням сталі поділяють на конструкційні, інструментальні і спеціальні.

Вуглецеві сталі

Це основні конструкційні матеріали, які широко використовують в машино- і приладобудуванні, будівництві та на інструментальному виробництві, їх виробляють близько 80% загального обсягу. Це обумовлено

тим, що вони дешевші, ніж леговані, і мають задовільні механічні властивості, крім того, добре обробляються тиском і різанням.

Вуглецевими сталями називають залізовуглецеві сплави, які містять теоретично 0,02-2,14% вуглецю і домішки (фосфор, сірка, кремній, марганець та ін.).

Вуглець є другим після заліза компонентом в сталі і в залежності від його вмісту змінюються механічні та технологічні властивості сталі.

Домішками в сталі є фосфор, сірка, кремній, марганець та ін. Фосфор і сірка належать до шкідливих домішок, оскільки погіршують властивості сталі. Вони потрапляють в сталь разом з сировиною. Сірка викликає червоноламкість (крихкість сталі, нагрітої вище 988 °C) сталі під час гарячої обробки тиском (куванням, вальцюванням і т.п.). Крім того, сірка знижує пластичність, міцність і корозійну стійкість сталі. Вміст сірки в сталі не повинен перевищувати 0,035-0,06%.

Фосфор надає сталі холодноламкість (крихкість сталі при звичайній і зниженій температурах). Особливо шкідливим є вплив фосфору при підвищеному вмісті вуглецю. Чим більше вуглецю в сталі, тим сильніше фосфор впливає на її крихкість. Допустимий вміст фосфору в сталі – 0,025-0,045%. Вміст сірки і фосфору в сталі залежить від складу шихти і способу виплавки сталі. Кремній і марганець потрапляють в сталь під час її розкислення (для виведення FeO). У допустимих межах (кремнію – не більше 0,35-0,4%, а марганцю – 0,5-0,8%) вони істотно не впливають на властивості сталі. Зі збільшенням їхнього вмісту понад норми підвищуються твердість і міцність сталі. Проте, така сталь вже вважається легованою.

За вмістом вуглецю сталі поділяють на низьковуглецеву (до 0,25% вуглецю), середньовуглецеву (0,3-0,5% вуглецю) і високовуглецеву (0,6-0,85% вуглецю).

Леговані сталі

Вуглецеві сталі дуже часто не задовольняють вимогам відповідального машинобудування і інструментального виробництва. У таких випадках застосовують леговані сталі.

У легованих сталях крім вуглецю і домішок містяться спеціально додані перед виправкою або під час неї легувальні елементи. У період кристалізації легувальні елементи взаємодіють із залізом і вуглецем, а також між собою, створюючи нові фази, які і призводять до зміни хімічного складу, структури і разом з тим властивостей сталі.

Легованими називають такі сталі, в яких містяться спеціально додані (легувальні) елементи для зміни їхніх властивостей.

До легувальних елементів належать хром, нікель, молібден, ванадій, титан тощо.

Маркують леговані сталі за допомогою великих літер і цифр. Літерою позначають назву легувального елемента, який міститься в сталі, цифра після літери означає його середній вміст у відсотках. Якщо в сталі міститься менше ніж 1% даного елемента, то пишуть лише літеру.

Кожен легувальний елемент позначають великою літерою, наприклад: Н – нікель, Г – марганець, С – кремній, П – фосфор, Ю – алюміній, Б – ніобій, Ц – цирконій, Х – хром, М – молібден, К – кобальт, Т – титан, Ф – ванадій та ін.

Середній вміст вуглецю в сталі позначають цифрами, які ставлять на початку марки. Якщо вміст вуглецю в сталі близько 1%, то цифри не ставлять, якщо десяті або соті частки відсотка, то відповідно ставлять одну або дві цифри. Наприклад, сталь марки 12ХНЗ містить близько 0,12% вуглецю, 1% хрому і 3% нікелю.

За назвою основного легувального елемента сталі поділяють на хромисті, марганцеві, хромонікелеві та ін. Основними легувальними елементами в цих сталях є хром, марганець, нікель.

За кількістю легувальних елементів сталі поділяють на низьколеговані (вміст легувальних елементів не перевищує 2,5%), середньолеговані (2,5-10%) і високолеговані (понад 10%).

Конструкційні сталі

Конструкційними називають сталі, з яких виготовляють деталі машин (машинобудівні сталі), конструкції і споруди (будівельні сталі).

Основним критерієм вибору потрібної сталі для виготовлення деталей машин, конструкцій і споруд є механічні властивості сталі та їхня стабільність в умовах експлуатації виробів. Крім того, конструкційні сталі повинні мати добрі технологічні властивості: легко оброблятися тиском (куванням, штампуванням, вальцюванням і т.п.), різанням і добре зварюватися.

Вуглецеві конструкційні сталі поділяють на сталі звичайної якості і якісні. Сталі звичайного якості містять підвищену кількість сірки (до 0,05%), фосфору (до 0,04%) і азоту (до 0,008%). Їх варять у великих мартенівських печах скрап-рудним процесом або в кисневих конвертерах. Цих сталей виробляють найбільше – близько 80% загальної кількості вуглецевих сталей.

Сталі звичайної якості маркують Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6. Літери "Ст" в марці сталі означають "сталь", цифри – умовний номер марки. Зі збільшенням умовного номера марки в сталі збільшується вміст вуглецю (табл. 1).

Таблиця 4 –

Марка сталі	Ст0	Ст1	Ст2	Ст3	Ст4	Ст5	Ст6
Вміст С, %	0,23	0,06...0,12	0,09...0,15	0,14...0,22	0,15...0,27	0,28...0,37	0,28...0,49

В залежності від ступеня розкислення сталі поділяють на спокійні (сп) – Ст1сп, Ст2сп, Ст3сп, Ст4сп, Ст5сп, Ст6сп; напівспокійні (пс) – Ст1пс, Ст2пс, Ст3пс, Ст4пс, Ст5пс, Ст6пс і киплячі (кп) – Ст1кп, Ст2кп, Ст3кп, Ст4кп. У цих сталях міститься різна кількість кремнію і кисню: в спокійних –

0,15-0,3 % Si і $\sim 0,002$ % O₂; в напівспокійних – 0,05-0,15 % Si і $\sim 0,01$ % O₂ і в киплячих – $\leq 0,05$ % Si і $\sim 0,02$ % O₂.

Киплячі сталі гірше очищені від шкідливих домішок, мають найменшу собівартість.

Якісні сталі містять меншу кількість домішок, ніж сталі звичайної якості: сірки – $\leq 0,04$ %, фосфору – $\leq 0,035-0,04$ %. Крім того, вони менше забруднені неметалічними включеннями. Якісні вуглецеві сталі маркують цифрами 08, 10, 15, 20, ..., 85, які означають середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка.

Низьковуглецеві сталі 05кп, 08, 07кп, 10, 10кп, 15, 15кп, 20, 25 використовують для виготовлення відповідальних зварних конструкцій.

Середньовуглецеві сталі 30, 35, 40, 45, 50, 55 використовують для виготовлення різних деталей у всіх областях машинобудування.

Високовуглецеві сталі 60, 65, 70, 80, 85 мають підвищені міцність, зносостійкість і пружність. З них виготовляють деталі, які працюють за умов тертя – це пружини, ресори і т.п.

Леговані конструкційні сталі виплавляють в основному якісними ($\leq 0,035$ % P і $\leq 0,035$ % S).

Високоякісні сталі містять менше шкідливих домішок, ніж якісні ($\leq 0,025$ % P і $\leq 0,025$ % S). Їх позначають літерою "А", яку ставлять в кінці марки (наприклад, 12Х2Н4А).

Надвисокоякісні сталі позначають літерою "Ш" (наприклад, 30ХГСА-Ш).

Будівельні сталі

Для виготовлення конструкцій і споруд використовують вуглецеві і леговані сталі. Оскільки деталі будівельних конструкцій з'єднують зварюванням, то для їхнього виготовлення використовують низьковуглецеві сталі звичайної якості марок Ст3, Ст5.

Міцність будівельних сталей підвищується внаслідок їхнього легування невеликою кількістю недефіцитних легувальних елементів.

Низьколеговані будівельні сталі містять $\sim 0,22$ % С і легувальні елементи до 1,8 % Mn; 1,2 % Si; 0,8 % Cr; 0,8 % Ni; 0,5 % Cu, 0,15 % V; 0,03 % Ti; 0,15 % N та інші окремо або разом узяті хімічні елементи (наприклад, 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1, 14Г2, 17ГС і т.д.).

Будівельні сталі використовують для армування бетонних конструкцій (Ст3сп, Ст3пс, Ст3кп, 18Г2С, 35ГС, 20ХГ2Ц та ін.), під час виготовлення залізобетону, мостів для автотранспорту (15ХСНД, 10ХСНД, 10Г2С1Д та ін.), труб (14Г2САФ, 1412СФБ тощо) та інших споруд.

Інструментальні сталі

Інструментальними називають сталі, з яких виготовляють інструменти для обробки конструкційних матеріалів різанням, штампи для виготовлення заготовок тиском, вимірювальні інструменти і т.п.

Інструментальні сталі повинні мати високі твердість (60...65 HRC), міцність, зносостійкість, теплостійкість (тобто здатність зберігати високу твердість в процесі нагрівання під час роботи) тощо.

За теплостійкістю інструментальні сталі поділяють на три групи: 1 – сталі нетеплостійкі; 2 – напівтеплостійкі (витримують нагрівання до 400...500 °С), 3 – теплостійкі (витримують нагрівання до 550...650 °С).

До першої групи належать вуглецеві і леговані сталі, які містять 3-4 % легувальних елементів; до другої – сталі, які містять понад 0,6-0,7 % С і 4-18 % Cr; до третьої – високолеговані сталі, які містять Cr, W, V, Mo, Co. Їх називають швидкорізальними.

Вуглецеві сталі маркують літерою "В", після якої йдуть цифри, які показують середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка (наприклад, У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13). В кінці марки ставлять літеру "А" – наприклад, У10А, що означає, що сталь високоякісна.

Леговані інструментальні сталі 11Х4, 13Х, ХВСГ, 9ХС, Х, В2Ф та ін. маркують за принципом маркування легованих сталей.

Швидкорізальні сталі маркують літерою "Р", після якої йдуть цифри, що показують середній вміст основного легувального елемента в даній сталі – вольфраму (у відсотках). Далі позначені літерами інші легувальні елементи, після яких цифри означають їхній вміст (наприклад, Р9, Р6М5, Р18К5, Ф2, Р9К5, Р9М4К8 і т.д.).

Для виготовлення різальних інструментів використовують сталі, які мають високі твердість, міцність і теплостійкість.

З вуглецевих інструментальних сталей виготовляють інструменти (фрези, свердла тощо), які працюють лише при невеликих швидкостях різання, оскільки під час нагрівання понад 200 °С твердість вуглецевої сталі зменшується.

З легованих інструментальних сталей виготовляють різальні інструменти, які працюють при швидкостях різання 5...8 м/хв (ручні свердла та ін.). Вони витримують нагрівання до 200...250 °С.

На відміну від вуглецевих і легованих сталей швидкорізальні мають високі теплостійкість, твердість і зносостійкість при високих температурах. Вони не змінюють своїх різальних властивостей до температури 600...650 °С. У разі використання інструментів, виготовлених з цих сталей, швидкість різання збільшується в 2-4 рази в порівнянні з інструментами, виготовленими з легованих сталей.

Для виготовлення вимірювальних інструментів (лінійки, шаблони, шкали і т.д.), що протягом тривалого часу повинні зберігати форму і розміри, використовують сталі високої твердості і зносостійкості з мінімальним коефіцієнтом лінійного розширення. Це високовуглецеві хромисті сталі марок Х (0,95-1,1 % С і 1,3-1,65 % Cr) і 12Х1 (1,15-1,25 % С і 1,3-1,65 % Cr).

Для виготовлення інструментів, за допомогою яких обробляють конструкційні матеріали тиском (штампи, пуансони, матриці, валки і ін.), використовують так звані штампувальні сталі. Оскільки названі інструменти

працюють за умов низьких і високих температур і механічних навантажень, то вибір сталі обумовлений саме цими факторами.

Штампи для холодної деформації виготовляють з хромистих сталей Х12Ф1, Х12М. Дуже часто для виготовлення штампів використовують швидкорізальні сталі.

Штампи для гарячої деформації виготовляють з напівтеплостійких сталей 5ХНМ, 5ХГМ тощо.

Спеціальні сталі

Спеціальні сталі називають також сталями з особливими властивостями. Сучасні області промисловості (хімічна, ракетна техніка, атомне і космічне машинобудування) ставлять дуже високі вимоги до конструкційних матеріалів: вони повинні мати високу корозійну стійкість в агресивних середовищах (твердих, рідких, парових і газових), жаростійкість, жароміцність і ін. Цим вимогам задовольняють нержавіючі, корозійно-, кислото-, жаростійкі, жароміцні та інші сталі і сплави.

Жаростійкі сталі не руйнуються в газовому середовищі при температурах понад 550 °С. На поверхні виробів, виготовлених з цих сталей, утворюються оксидні плівки, товщина яких з плином часу збільшується. На інтенсивність окиснення впливають склад і будова оксидних плівок. Якщо вони пористі, вироби окиснюються дуже швидко; якщо щільні, то з плином часу окиснення сповільнюється і навіть припиняється. Для отримання щільної захисної плівки сталі легують хромом, кремнієм, алюмінієм окремо або разом узятими. В процесі нагрівання на поверхні сталевих виробів утворюються захисні плівки з оксидів $(Cr,Fe)_2O_3$, $(Al,Fe)_2O_3$. Додавання до сталі 5-8% Cr підвищує її жаростійкість до 700...750 °С, збільшення вмісту хрому до 15-17% робить сталь жаростійкою до 950...1000 °С. Подальше збільшення вмісту хрому до 25% підвищує жаростійкість сталі до 1100 °С. Якщо до 25% Cr додати 5% Al то сталь витримає температуру 1300 °С. З жаростійких сталей (12Х17, 15Х25Т, 20Х23Н13 і т.д.) виготовляють деталі печей, газових турбін та іншого обладнання, які працюють при високих температурах.

Жароміцні сталі витримують одночасно високі температури і навантаження. З них виготовляють деталі газових турбін, реактивних двигунів, ракет і т.п., які працюють за умов високих температур і навантажень. Вироби, виготовлені з жаростійких сталей, витримують температуру 500...750 °С. Такі умови витримують сталі 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 15Х11МФ, 18Х12ВМБФР тощо.

Корозійностійкі сталі належать до конструкційних матеріалів, здатних чинити опір корозійним середовищам. Це хромисті і хромонікелеві сталі. Вміст хрому в сталях не може бути меншим як 12,5 %. Прикладом корозійностійких сталей є хромисті сталі марок 12Х13, 40Х13, 12Х17, з яких виготовляють предмети домашнього вжитку, хірургічні інструменти, обладнання для харчової промисловості тощо. Хромонікелеві сталі (наприклад, 12Х18Н9, 12Х18Н9Т) мають вищу корозійну стійкість, ніж

хромисті. З них виготовляють обладнання для хімічної, нафтохімічної та харчової промисловості. Хромонікелеві сталі дорогі, оскільки дорогий нікель. Саме тому нікель в цих сталях частково замінюють на марганець. Наприклад, сталь 10X14Г14НЗ рекомендується для заміни сталі 12X18Н9.

СПЛАВИ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

У сучасному машинобудуванні роль кольорових металів і сплавів на їхній основі надзвичайно велика, а в електро-, радіотехніці, радіоелектроніці, авіації, космічній техніці вони є основними матеріалами.

Сплави на основі міді

Найпоширенішими сплавами на основі міді є латуні і бронзи.

Латуні

Латунню називають сплав міді з цинком та іншими легувальними елементами.

За кількістю легувальних елементів латуні поділяють на прості і складні. Прості латуні – це двокомпонентні сплави, які складаються лише з міді і цинку. Максимальний вміст цинку в латуні становить 45 %. Чим більше цинку входить до складу латуні, тим вона має вищу міцність і нижчу пластичність. Найпластичнішими є латуні, які містять 30 % цинку. З підвищенням вмісту цинку до 42-45 % зростає міцність латуні, але підвищується крихкість. Саме тому латуні, які містять понад 45 % цинку, на практиці не використовуються. Складні латуні – це багатокомпонентні сплави, до складу яких крім міді і цинку входять легувальні елементи (нікель, олово, залізо, свинець, алюміній та ін.). Легування впливає на механічні властивості латуні: підвищує міцність і знижує пластичність. Свинець полегшує обробку латуні різанням, алюміній, цинк, кремній, марганець і нікель підвищують її корозійну стійкість.

За способом виготовлення виробів латуні поділяють на деформаційні і ливарні. Деформаційні латуні високопластичні, а тому вироби з них виготовляють обробкою тиском (вальцюванням, волочінням і т.д.). Це труби, провoda і т.п. Ливарні латуні мають хороші ливарні властивості (високу вологотекучість, малу ліквацию та ін.). Саме тому вироби з них отримують литтям в спеціальні форми.

Маркування латуні. Марка сплаву починається з літери "Л", що означає латунь, після неї йдуть цифри або літери і цифри. У марках деформаційних латуней перші дві цифри після літери "Л" або всіх літер показують середній вміст міді в сплаві (у відсотках). Наприклад, Л70 – латунь, яка містить 70% міді, залишок – цинк. Якщо латунь легована, то в марці містяться також літери, якими позначено назву легувальних елементів, і цифри, які показують їхній середній вміст в сплаві. Наприклад, ЛАЖ60-1-1: "Л" – латунь, яка містить 60% міді, "А" – алюміній, "Ж" – залізо, вміст яких в сплаві по 1%, залишок – цинк. У марках ливарних латуней середній вміст компонентів ставлять відразу після літер, якими позначають назви компонентів.

Наприклад, ЛЦ40Мц1,5: "Л" – латунь, яка містить цинку (Ц) 40 %, марганцю (Мц) – 1,5 %, залишок – мідь.

Бронзи

Бронзами називають сплави міді з оловом, алюмінієм, берилієм, кремнієм, марганцем, свинцем і т.п. Бронзи мають хороші ливарні властивості, серед яких є пластичні і корозійностійкі. З бронз ще в давнину виготовляли зброю, знаряддя праці тощо. Оскільки вони мають хороші ливарні властивості, з них виготовляли дзвони, гармати, побутові речі тощо. У наш час бронзи використовують у машино- і приладобудуванні. Малий коефіцієнт тертя і стійкість до зносу роблять бронзи поки що незамінними в процесі виготовлення деталей відповідальних і точних приладів. Вироби з бронзи отримують литтям, тиском і різанням. Відповідно бронзи поділяють на ливарні і деформаційні. Ширше використовують олов'яні бронзи ливарні, які містять 6 % олова, і деформаційні, вміст олова в яких більший. З них виготовляють пружини та інші деталі, які працюють в складних умовах: великі навантаження і агресивні середовища.

Олово – дорогий і дефіцитний метал. Останнім часом все ширше застосовують безолов'яні бронзи. До них належать сплави міді з алюмінієм, свинцем, нікелем, берилієм та іншими хімічними елементами. Ці бронзи в порівнянні з олов'яними мають кращі механічні властивості і вищу корозійну стійкість в агресивних середовищах. Так, алюмінієві бронзи корозійностійкі в морській воді і тропічній атмосфері, мають високі механічні властивості, але гірші ливарні властивості, ніж олов'яні. Берилієві бронзи мають найвищу міцність, пружність, повільно окиснюються на повітрі порівняно з іншими бронзами, саме тому з них виготовляють деталі для точних приладів, мембрани, пружини та інші пружні елементи. Це дорогі бронзи. Свинцеві бронзи мають добрі антифрикційні (фрикційний – від лат. frictio – тертя) властивості і високу теплопровідність. З них виробляють елементи вальниць ковзання.

Маркування бронз. Марка сплаву починається з літер "Бр", які означають "бронза"; після них йдуть літери, якими позначають легувальні елементи, і цифри, які означають середній вміст кожного елемента в сплаві. У марках деформаційних бронз вміст основного компонента – міді – не відзначається. Літерами позначають назви легувальних елементів. Цифри, які йдуть після літер, відокремлені одна від одної тире; вони означають середній вміст кожного легувального елемента в сплаві. Наприклад, бронза марки БрОЦ4-3 має такий склад: олова "О" – 4 %, цинку "Ц" – 3 %, залишок – мідь. Ливарні бронзи маркують так, як і ливарні латуні: середній вміст компонентів сплаву (у відсотках) ставлять відразу після літер, якими позначають їхні назви. Наприклад, сплав БрА10ЖЗМц2 містить: алюмінію "А" – 10 %, заліза "Ж" – 3 %, марганцю "Мц" – 2 %, залишок – мідь.

Сплави на основі алюмінію

Сплави, основним компонентом яких є алюміній, називають алюмінієвими. Щоб поліпшити властивості алюмінію, до нього додають мідь, магній, марганець, цинк, кремній, берилій, титан та ін.

Для алюмінієвих сплавів характерні мала щільність і висока питома міцність, яка для деяких марок сплавів наближається до питомої міцності високоміцних сталей. Алюмінієві сплави використовують майже у всіх областях промисловості, а ширше – в літако-, судно- і автомобілебудуванні, а також в будівництві. Широко використовують сплави алюмінію з міддю, кремнієм, магнієм, міддю і магнієм, міддю, магнієм і кремнієм, магнієм і кремнієм, цинком, магнієм і міддю.

За способом виготовлення виробів алюмінієві сплави поділяють на деформаційні, ливарні і спечені.

Деформаційні алюмінієві сплави мають високу пластичність, добре зварюються, стійкі проти дії агресивних середовищ. Вироби з цих сплавів отримують штампуванням, пресуванням, волочінням, рідше – різанням і литтям. Деформаційні алюмінієві сплави поділяють на дві групи. До першої групи належать сплави, що не зміцнюються термічною обробкою, їхня структура складається з кристалів однорідного твердого розчину. До другої групи належать сплави, міцність яких зростає після термічної обробки: загартування з подальшим старінням.

Старінням називають процес підвищення міцності сплавів після або під час нагрівання. Відповідно старіння поділяють на природне і штучне. У процесі природного старіння міцність сплавів зростає після нагрівання і тривалого витримування на повітрі. В процесі штучного старіння міцність сплавів підвищується під час їхнього витримування при нагріванні.

Алюмінієві сплави, що не зміцнюються термічною обробкою. Міцність алюмінію можна підвищити легуванням. Щоб отримати сплави, що не зміцнюються термічною обробкою, алюміній легують марганцем або марганцем і магнієм. Отримані сплави мають вищу міцність, але нижчу пластичність, ніж алюміній. Сплав алюмінію з марганцем позначають АМц, а сплави алюмінію з марганцем і магнієм – АМг (табл. 2). Далі йдуть цифри, які означають середній вміст магнію в сплаві (у відсотках). Наприклад, АМг2, АМг6. Магній підвищує міцність сплавів, а марганець – ще і корозійну стійкість.

Таблиця 2 –

Сплав	Вміст елементів у сплаві, %	
	Mn	Mg
АМц	1,0-1,16	-
АМг2	0,2-0,6	1,8-2,8
АМг3	0,3-0,6	3,2-3,8
АМг5	0,3-0,6	4,8-5,8
АМг6	0,5-0,8	5,8-6,8

Міцність цих сплавів підвищують лише холодною пластичною деформацією: чим вище ступінь деформації, тим вище міцність, але нижче пластичність. З цих сплавів виготовляють баки для бензину, азотної та інших кислот, трубопроводи, їх використовують в літако- і суднобудуванні.

Алюмінієві сплави, які зміцнюються термічною обробкою. До них належать дюралюміні, високоміцні, жароміцні, ковкі та інші сплави (табл. 3).

Дюралюміні (від лат. *durus* – твердий і алюміній). Дюралюмінами називають сплави алюмінію з міддю, магнієм і марганцем. Типовим дюралюміном є сплав Д1. В основі маркування дюралюміна лежить перша літера назви сплаву "Д", після якої йдуть цифри, які означають умовний номер сплаву. Для з'ясування хімічного складу сплаву необхідно звертатися в довідкову літературу. Найкращі механічні властивості має сплав Д16, виробництво якого постійно збільшується.

Високоміцні алюмінієві сплави. Ці сплави мають вищу міцність, але нижчу пластичність, ніж дюралюміні. Їх використовують в літакобудуванні. Сплав В95 (літера "В" на початку марки означає високоміцний) добре обробляється різанням і зварюванням (точковим способом)

Таблиця 3 –

Сплав	Вміст елементів, %				
	Cu	Mg	Mn	Si	інших
Дюралюміні					
Д1	3,8-4,8	0,4-0,8	0,4-0,8	-	-
Д16	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	-	-
Високоміцні алюмінієві сплави					
В95	1,4-2,0	1,8-2,8	0,2-0,6	-	5-7 Zn 0,1-0,25 Cr
Жароміцні алюмінієві сплави					
АК4-1	1,9-2,5	1,4-1,8	-	0,35	0,8-1,4 Fe 0,8-1,4 Ni 0,02-0,1 Ti
Д20	6-7	-	0,4-0,8	-	0,1-0,2 Ti
Ковкі алюмінієві сплави					
АК6	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	0,7-1,2	-
АК8	3,9-4,8	0,4-0,8	0,4-1,0	0,6-1,2	-

Жароміцні алюмінієві сплави. Їх використовують для виготовлення деталей, які працюють при температурі 300 °С. Це поршні, головки циліндрів, лопати і диски компресорів турбореактивних двигунів і т.п. Жароміцні сплави мають більш складний порівняно з попередніми хімічний

склад. Сплав Д20 досягає високої жароміцності за рахунок високого вмісту міді, марганцю та титану.

Ковкі алюмінієві сплави, їх маркують літерами "АК", які означають алюміній ковкий, і цифрами, які відповідають вмісту сплаву. Вони мають високу пластичність. З них виготовляють деталі складної форми і середньої міцності для літаків і вертольотів. Ці сплави можна обробляти різанням. Вироби з цих сплавів зварюють контактним і аргонно-дуговим способами.

Вироби з ливарних алюмінієвих сплавів отримують литтям, оскільки вони мають ливарні властивості (високу вологотекучість, малу усадку). Хороші ливарні властивості мають сплави, в структурі яких міститься евтектика. Саме тому кількість легувальних елементів в ливарних сплавах вище, ніж в деформаційних. До ливарних сплавів належать силуміни.

Силумінами називають сплави алюмінію з кремнієм та іншими легувальними елементами. Найчастіше використовують силуміни, які містять 5-14 % кремнію. Структура силумінів складається з твердого розчину і евтектики, яка містить 11,6 % Si. Чим більше евтектики в сплаві, тим він має кращі ливарні властивості. Силуміни маркують літерами "АЛ" (перша літера означає алюміній, друга – ливарний) і цифрою, яка показує порядковий номер сплаву. Для з'ясування хімічного складу сплаву необхідно скористатися довідковою літературою. Наприклад, сплав марки – АЛ4 складається з кремнію (8,5-10,5 %), магнію (0,17-0,3 %) і марганцю (0,2-0,5 %).

Крім силумінів ливарні властивості мають сплави алюмінію з міддю (М7, АЛ19), магнієм (АЛ8, АЛ27) та іншими легувальними елементами (наприклад, жароміцні ливарні сплави АЛ1, АЛ21, АЛ33 та ін.).

Спечені алюмінієві сплави отримують спіканням алюмінієвого порошку з порошками оксиду алюмінію або з порошками легувальних елементів (залізо, хром, нікель та ін.). На сьогодні виробляють два види сплавів: САП (спечені алюмінієві порошки) і САС (спечені алюмінієві сплави).

Спечені алюмінієві порошки одержують спіканням порошків алюмінію та оксиду алюмінію. Зі збільшенням вмісту оксиду алюмінію виростають міцність і жароміцність сплавів. Вироби, отримані зі сплавів САП, добре зварюються, мають вищу жаростійкість, ніж звичайні алюмінієві сплави. Вони можуть тривалий час працювати при температурах 350...500 °С.

Сплави САП широко застосовують в літако- і суднобудуванні, електротехніці, хімічній промисловості. З них виготовляють лопати компресорів, теплообмінники і т.д.

Спечені алюмінієві сплави леговані, їх виробляють з порошків алюмінію або з алюмінієвого сплаву (наприклад, порошок сплаву Д16) і порошків легувальних елементів (залізо, хром, нікель та ін.).

Оскільки САС легкі, їх застосовують для виготовлення деталей в конструкціях, маса яких має велике значення.

При кімнатній температурі САС мають вищу міцність, ніж САП. З підвищенням температури навпаки. Вироби зі сплавів САС витримують нагрівання до температур 350...400 °С.

Сплави на основі магнію

Магній – найлегший серед конструкційних матеріалів. Його щільність дорівнює 1700 кг/м³. Він має низькі механічні властивості. Саме тому з чистого магнію не виготовляють конструкції. Для виготовлення конструкцій використовують сплави. На практиці широко використовують сплави магнію з алюмінієм, цинком, марганцем та іншими елементами. Вони легко обробляються різанням, добре зварюються, мають порівняно високі пластичність і міцність, а також задовільні ливарні властивості. Важливий недолік магнієвих сплавів – низька корозійна стійкість.

Залежно від способу виготовлення виробів магнієві сплави поділяють на ливарні і деформаційні (табл. 4).

Таблиця 4 –

Сплав	Вміст елементів, %			
	Al	Zn	Mn	інших
Ливарні сплави				
МЛ5	7,5-9,0	0,2-0,8	0,15-0,5	-
МЛ6	9,0-10,2	0,6-1,2	0,1-0,15	-
МЛ10	-	0,1-0,7	-	0,4-1,0 Zr 2,2-2,8 Nd
МЛ12	-	4-5	-	0,6-1,1 Zr
Деформаційні сплави				
МА1	-	-	1,3-2,5	-
МА2-1	3,8-5,0	0,8-1,5	0,3-0,7	-
МА14	-	5-6	-	0,2-0,9 Zr

Згідно зі стандартами ливарні сплави маркують літерами "МЛ", які означають магній ливарний, і цифрами, які показують порядковий номер сплаву. Для з'ясування хімічного складу сплаву необхідно скористатися довідковою літературою.

Для підвищення механічних властивостей вироби, отримані литтям, нагрівають до температури 420 °С, витримують при цій температурі 12...16 год., а потім охолоджують на повітрі. Після зазначеної термічної обробки підвищуються пластичність і міцність виробів. Магнієві сплави мають властивість самозайматися на повітрі. Щоб запобігти цьому, їх розплавляють під шаром флюсів, а під час розливання потік розплаву посипають сіркою. При цьому утворюється сірчистий газ, який захищає метал від загоряння.

Деформаційні сплави. Назва сплавів походить від способу виготовлення з них виробів. З деформаційних сплавів вироби виготовляють вальцюванням, штампуванням, пресуванням і т.п. Оскільки магнієві сплави мають гексагональну решітку і при низьких температурах малопластичні, то для підвищення пластичності їх нагрівають до температур 200...480 °С. Вибір температури нагрівання залежить від виду сплаву і температури обробки тиском. Так, пресування в залежності від вмісту сплаву виконують при температурах 300...400 °С. Вальцювання починають при температурах 340...440 °С, а закінчують при температурах 225...250 °С.

З магнієвих сплавів виготовляють корпуси приладів, фотоапаратів, деталі літаків, двигунів і т.п.

Щоб підвищити корозійну стійкість, вироби з магнієвих сплавів оксидують. На оксидовану поверхню наносять лакофарбові покриття.

Сплави на основі нікелю

Нікель має високі міцність, пластичність і хімічну стійкість. Відповідно ці властивості мають також сплави на основі нікелю. Сплави, які містять понад 55% Ni, мають вищу жаростійкість, ніж кращі жароміцні сталі. Вироби, виготовлені з них, витримують температури 800...1000 °С.

За структурою нікелю сплави поділяють на гомо- та гетерогенні. Прикладом гомогенних сплавів є ніхроми, а гетерогенних – німоніки.

Ніхромами називають нікелеві сплави, основним легувальним елементом яких є хром (ХН60Ю, ХН78Т). Вони не мають високої жароміцності, але дуже жаростійкі. Тому з них виготовляють вироби (деталі), які працюють без навантаження в окиснювальному середовищі. З цих сплавів виготовляють нагрівальні елементи.

До складу німоніків крім хрому входять титан, алюміній, молібден, вольфрам і ін. З цих сплавів виробляють деталі газових турбін, які працюють при температурах 650...850 °С.

Сплави нікелю з міддю, залізом, марганцем називають монель-металами. З них виготовляють монети, хірургічні інструменти і т.п. З сплаву марки НМЗМц28-2,5-1,5, що складається з 68% нікелю і кобальту, 28% міді, 2,5% заліза, 1,5% марганцю, виготовляють вироби, які успішно працюють в агресивних середовищах.

Сплави, з ефектом пам'яті форми. Першим металом, який "запам'ятав" свою форму, є нітинол. Нітинол складається з 50% нікелю і 50% титану.

Суть ефекту "пам'яті форми" полягає у відновленні початкової форми виробу після нагрівання. Отже, якщо заготовці, виготовленій з такого сплаву, задати потрібну форму, а потім при нижчій температурі змінити цю форму на іншу, то в процесі нагрівання виріб придбає початкову форму. Пам'ять – дуже цінна властивість сплавів.

З нітинолу виготовляють саморозгортаючі пристрої для космічних апаратів та інші вироби.

Щоб знизити температуру, при якій відновлюється пам'ять, нітинол легують 3-4% заліза.

Якщо з легованого нітинолу, який складається з 50% титану, 46-47% нікелю, 3-4% заліза, при кімнатній температурі виготовити деталі, наприклад з'єднувальні муфти, заклепки і т.п., і деформувати їх в рідкому азоті, то, нагрівшись, вони "згадають" свою попередню форму і муфта охопить труби, герметично з'єднавши їх. Як бачимо, легко можна уникнути трудомістких операцій, таких як зварювання або паяння. Крім того, отримане з'єднання надійніше.

За допомогою ефекту "пам'яті форми" встановлюють заклепки в важкодоступних місцях. Для цього заклепку з одного боку розрізають уздовж осі на певну глибину, кінці розводять і заклепку нагрівають. Потім при кімнатній температурі кінці заклепки вирівнюють і встановлюють в отвір. Повторне нагрівання призводить до розведення кінців заклепки, внаслідок чого деталі щільно з'єднуються.

Сплав нітинол широко застосовують також в медицині, оскільки він має високу корозійну стійкість, хорошу пам'ять і високу сумісність з живими тканинами організму. Його використовують в хірургії, при переломах кісток.

Науковці та інженери шукають нові сфери використання сплавів з ефектом «пам'яті форми». Це і двигуни прямого перетворення теплоти в механічну енергію, і терморегулятори, і виконавчі механізми, наприклад, силова деталь приводу, виготовлена з нітинолу, випрямляючись в процесі нагрівання, може перемістити вантаж, замкнути електричні контакти, включити автоматичний пристрій для гасіння пожежі тощо. А як зручно буде автомобілебудівникам або ремонтникам: пошкоджену деталь (наприклад, двері, кузов) досить трохи нагріти, щоб повернути їй втрачену форму.

Тим не менше, широкому впровадженню сплавів з «пам'яттю форми» перешкоджає недосконалість технології отримання сплавів точного хімічного складу і структури.