**Лекція №1**

**«КЛАСИФІКАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ.»**

**ПЛАН**

1. Загальні положення.
2. Поняття про метали та сплави. Їх класифікація.
3. Основні властивості металів.
4. Конструкційна міцність. Надійність. Довговічність.Властивості металів.

**1.**

***Матеріалознавство*** - це прикладна наука, що вивчає будову (структуру) та властивості матеріалів, встановлює зв'язок між їхнім складом, будовою і властивостями, вивчає залежність будови і властивостей від методів виробництва та обробки матеріалів, а також зміну їх під впливом зовнішніх чинників: силових, теплових (термічних), радіаційних та інших.

Технологія - (від грецького techne - мистецтво, майстерність, уміння та logos - наука, вчення) - це сукупність методів обробки, виготовлення, зміну стану, властивостей, форми сировини, матеріалу або напівфабрикату, що здійснюються в процесі виробництва продукції (виробів). Завдання технології як науки - з'ясування фізичних, хімічних, механічних та інших закономірностей з метою визначення та практичного використання найефективніших і економічних виробничих процесів. Технологія пов'язана з відповідними галузями виробництва: технологія загального машинобудування, літакобудування, виготовлення будь- яких виробів, матеріалів тощо.

Ми ж будемо вивчати матеріалознавство (М) та технологію конструкційних матеріалів (ТКМ).

Конструкційними називають матеріали, з яких виготовляють деталі машин, приладів, елементи різних конструкцій, інструменти, тобто матеріали, здатні витримувати значні механічні навантаження. Отже ТКМ - наука про сучасні методи одержання та обробки конструкційних матеріалів з метою виготовлення конструкцій і деталей необхідних розмірів, конфігурації, стану (чистоти) поверхні та властивостей.

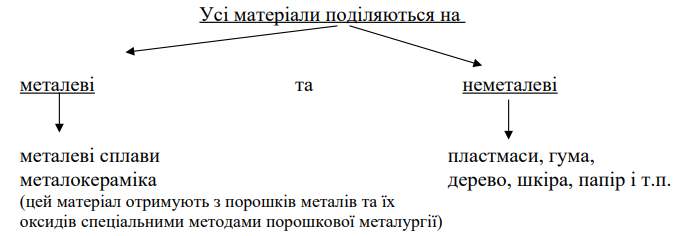
Рівень технічного розвитку суспільства залежить від того, якими матеріалами воно володіє. Навіть основні етапи розвитку людства визначаються матеріалами (кам'яний вік, бронзовий, вік заліза), що підкреслює важливе місце курсу матеріалознавства серед інших технічних наук.

Курси матеріалознавства і технології взаємопов'язані, оскільки технологія обробки залежить від властивостей оброблюва­них матеріалів, а властивості - значною мірою - від методів виробництва матеріалів та їх обробки. В прискоренні науково- технічного поступу важлива роль відводиться машинобудуванню. Сучасне машинобудування характеризується безперервним зростанням енергонапруженості, екстремальними параметрами (граничні механічні навантаження, високі та низькі температури, агресивні середовища, високий рівень радіації тощо), тому в багатьох випадках тільки надання специфічних властивостей матері­алам, що застосовуються, можна забезпечити надійність та дов­говічність машин. Нові технології, що пов'язані з використанням надвисоких температур і тиску, лазера, плазми, електропорошкової металургії, енергії вибуху, електро- і магнітоімгтульсної обробки тощо, дають змогу одержувати та синтезувати такі матеріали, яких раніше людство не лише не мало, але й не знало, або які взагалі в природному стані не зустрічаються (надтверді, надміцні, жаростійкі тощо).

Отже, завдання матеріалознавства взагалі - це *розробка нових і вдосконалення існуючих матеріалів.*

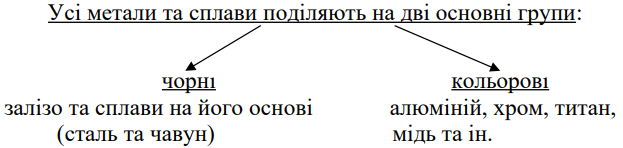
**2.**

Сучасна наука знає 105 хімічних елементів, з яких складаються різні матеріали. 83 хімічні елементи – метали, характерними ознаками яких є висока електропровідність, пластичність та особливий металевий блиск.



За рядом загальних ознак та властивостей чисті метали можна поділити на такі групи:

1. залізні (Fe, Ni, Co, Mn) – є основою при створенні сталей та спеціальних сплавів та мають властивість намагнічуватись у магнітних полях (феромагнетики);
2. тугоплавкі (W, Ta, Mo, Nb, V, Zr, Cr) – мають температуру плавлення вищу, ніж у заліза (1539 0С), та часто застосовуються як домішки до залізних металів при отриманні спеціальних сталей та сплавів;
3. легкоплавкі (Hg, Sn, Pb, Zn та ін.) - мають температуру плавлення нижче 500 0С;
4. легкі (Mg, Al, Ti та ін.) – мають щільність менше 5 г/см3 ;
5. лугоземельні (Li, K, Na, Rb та ін.);
6. благородні (Ru, Pd, Pt, Os, Au, Ag та ін.) – мають високу корозійну стійкість у атмосферних умовах;
7. рідкоземельні – лантан та лантаноїди;
8. уранові – уран та актиноїди.



Кількість металів у земній корі не однакова. Перше місце посідає алюміній (8,8 % від маси земної кори), потім залізо (5,1 %), магній (2,1 %), титан (0,6 %). Усі інші метали містяться у сотих і тисячних частках відсотка і є рідкісними.

Найбільш широко у машинобудуванні застосовуються чорні метали. На основі заліза виготовляються не менше 90-95 % усіх конструкційних та інструментальних матеріалів.

Таке широке розповсюдження заліза та його сплавів пов’язане з великим вмістом його у земний корі, невеликою вартістю, високими технологічними та механічними властивостями. Вартість кольорових металів у декілька разів вище вартості заліза.

Для сучасного машинобудування й транспорту характерні постійно зростаючі навантаження та ускладнення умов експлуатації конструкцій. Це потребує створення нових сплавів, які б задовольняли такі умови. Кількість нових сплавів постійно зростає за рахунок застосування тугоплавких та рідких металів.

**3.**

Властивості металів та сплавів визначають галузь їх раціонального застосування для виготовлення деталей машин, механізмів, інструментів та ін.

Можливо виділити такі основні групи властивостей: фізичні, хімічні, механічні, технологічні, експлуатаційні.

***До фізичних*** властивостей металів та сплавів відносять температуру плавлення, щільність, електричні, теплові та магнітні властивості.

***Хімічні*** властивості визначаються здатністю металів хімічно взаємодіяти з іншими елементами та сполуками (наприклад корозійна стійкість).

***Технологічними*** властивостями називаються властивості, які характеризують здатність матеріалу піддаватися різним засобам обробки (зварювання, лиття, різання). Тобто технологічні властивості необхідно знати при безпосередній переробці матеріалів у виріб.

***Експлуатаційними*** називають властивості матеріалу, які впливають на поведінку виробу в процесі його експлуатації. З певною мірою умовності ці властивості можуть бути поділені на загальні, що враховуються для будь-яких виробів, незалежно від умов експлуатації, і спеціальні, які враховуються в спеціальних умовах експлуатації.

До загальних належать стандартні механічні властивості, що визначаються у відповідності до стандартів.

***Спеціальні властивості*** – це властивості, головним чином обумовлені фізичними і хімічними властивостями.

* ***Зносостійкість*** – здатність матеріалу опиратися поверхневому руйнуванню під дією зовнішнього тертя.
* ***Корозійна стійкість*** – здатність матеріалу опиратися дії агресивних кислотних, лужних середовищ.
* ***Жаростійкість*** – це здатність матеріалу опиратися окислюванню в газовому середовищі при високій температурі.
* ***Жароміцність*** – це здатність матеріалу зберігати свої властивості при високих температурах.
* Холодостійкість – здатність матеріалу зберігати пластичні властивості при мінусових температурах.
* ***Антифрикційність*** – здатність матеріалу не втрачати свої лінійні та вагові розміри при низькому значенні коефіцієнта тертя та добре припрацьовуватися до іншого матеріалу.
* ***Фрикційність*** – здатність матеріалу не втрачати свої лінійні та вагові розміри при високому значенні коефіцієнта тертя.

Ці властивості визначаються спеціальними випробуваннями залежно від умов роботи виробів.

***Механічні властивості*** характеризують здатність матеріалів чинити опір впливу різного роду навантажень.

Основними механічними властивостями є міцність, пластичність, в’язкість, твердість. Знаючи механічні властивості, конструктор обґрунтовано вибирає відповідний матеріал, що забезпечує надійність і довговічність конструкцій.

Залежно від умов навантаження механічні властивості можуть визначатися:

1. при статичному навантаженні - навантаження на зразок зростають повільно й плавно;
2. динамічному навантаженні - навантаження зростає з великою швидкістю, має ударний характер;
3. повторно - змінному або циклічному навантаженні - навантаження в процесі випробування багаторазово змінюються за величиною або за величиною та напрямком.

Для одержання результатів, які можна порівняти, зразки й методика проведення механічних випробувань регламентовані ГОСТами.

При статичному випробуванні на розтягання: одержують характеристики міцності й пластичності.

Ударна в’язкість визначається при динамічних випробуваннях зразків з концентратом напружень.

***Міцність*** характеризує опір матеріалу деформації i руйнуванню.

До показників міцності належать:

1. **σв** – тимчасовий опір – для пластичних матеріалів або межа міцності – для крихких матеріалів.

Це максимальне напруження, яке витримує матеріал без руйнування.

- *характеризує опір матеріалу руйнуванню, МПа, Н/м2* ,

, (1)

σв – чавуну 180 МПа;

σв – сталі 700 МПа;

1. - умовна межа текучості.

Це напруження, МПа, яке викликає залишкову деформацію, що дорівнює 0,2 %.

, (2)

Цей показник визначає опір матеріалу деформації.

***σТ – фізична межа текучості***. Це напруження, яке викликає пластичну деформацію без підвищення сили.

***σ0,05 – умовна межа пружності***. Це напруження, яке викликає залишкову деформацію 0,05 %.

Ці характеристики визначають при статичних випробуваннях на розтяг, *тобто навантаження змінюється рівномірно та повільно.*

З певним ступенем умовності до характеристик міцності можна віднести твердість.

***Твердість*** - це здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього більш твердого тіла (індентор).

Є формули, які зв’язують ***σв і НВ*** (твердість за Бринелем) тільки для пластичних матеріалів:

* для пластичних сталей σв =0,34НВ;
* для алюмінієвих сплавів σв =0,35НВ;
* для мідних сплавів σв =0,45НВ.

Підвищення міцності завжди супроводжується зниженням пластичності.

Пластичність характеризує властивість матеріалу пластично деформуватися без руйнування. Вона визначається при розтягуванні.

Є два показники пластичності:

δ - відносне подовження;

ψ - відносне поперечне звуження.

(3)

, (4)

де *l0* і *F0* – довжина і площа перерізу відповідно у вихідному стані;

*l* і *F* – довжина і площа перерізу після руйнування.

Спочатку деформація розвивається рівномірно, а потім зосереджується в одному місці, що називається “шийкою”. І тому *F* – площа перерізу в “шийці”.

З двох характеристик пластичності найбільш важливим показником є відносне звуження, так як характеризує здатність матеріалу до локальної пластичної деформації. Чим вище ***ψ***, тим більш імовірна релаксація високих локальних напружень, які можуть виникнути біля якого-небудь дефекту шляхом пластичної деформації без виникнення тріщини.

**Втомна міцність**

У процесі експлуатації деякі деталі підлягають циклічному навантаженню.

Процес поступового накопичення пошкоджень під дією циклічного навантаження, який призводить до появи тріщин, називається **втомністю**.

Циклічне напруження змінюється за синусоїдальним законом.

Здатність матеріалу чинити опір втомності називається ***витривалістю***.

**Ударна в’язкість**

*Ударна в’язкість* - це питома робота руйнування при динамічному навантаженні, тобто робота, яку треба виконати для руйнування зразка з площею перерізу 1 см2 .

Ця характеристика визначається КС i має розмірність джоуль на квадратний сантиметр [Дж/см2 ].

, (5)

де А – робота руйнування;

S – площа перерізу.

Для більшості матеріалів ударна в’язкість визначається на зразках з надрізом. У залежності від форми надрізу ударна в’язкість визначається відповідно КСU, КСV і КСТ (з тріщиною, рисунок 1).

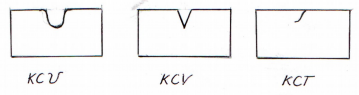


Рисунок 1 - Зразки з надрізом для визначення ударної в’язкості

Ударна в’язкість залежить значною мірою від температури і при певний температурі суттєво знижується. Ця температура одержала назву поріг холодноламкості Ткр.

Вона визначає перехід від в’язкого руйнування до крихкого.

У зв'язку з цим при виборі матеріалу необхідно враховувати температуру експлуатації Те. Вона завжди повинна бути вище Ткр, щоб забезпечити в’язке руйнування.

*В’язкість руйнування К1с* – здатність металу чинити опір розвитку тріщини. (Тріщиностійкість). Чим вище значення К1с , тим менша небезпека крихкого руйнування і вища надійність деталей, виготовлених з цього матеріалу.

**4.**

Для забезпечення працездатності матеріалу необхідне поєднання достатньо – високих показників міцності, пластичності, ударної в’язкості руйнування та низького значення порога холодноламкості.

Ці властивості пов’язані неоднозначно: з підвищенням тимчасового опору σв показники пластичності (δ і ψ) та ударна в’язкість знижуються, а поріг холодноламкості зростає (рисунок 2).

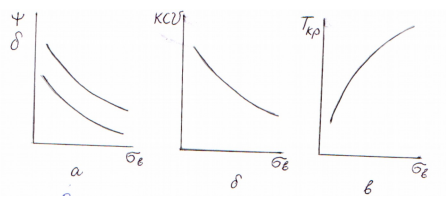


Рисунок 2 - Залежність пластичності (а), ударної в’язкості (б) і порогу холодноламкості (в) від тимчасового опора

У зв’язку з цим у сучасній техніці використовується таке поняття, як конструкційна міцність.

Конструкційна міцність – це комплекс показників, що визначають працездатність матеріалу в конкретній конструкції при певних умовах експлуатації. На конструкційну міцність впливають наступні фактори:

* конструкційні особливості деталі (форма й розміри);
* механізми різних видів руйнування деталі;
* стан матеріалу в поверхневому шарі деталі;
* процеси, що відбуваються в поверхневому шарі деталі, які призводять до відмов при роботі.

Необхідною умовою створення якісних конструкцій при економному використанні матеріалу є урахування додаткових критеріїв, що впливають на конструкційну міцність. Цими критеріями є надійність і довговічність.

*Критерії оцінки конструкційної міцності*

***Надійність*** – це здатність матеріалу працювати короткочасно поза розрахованою ситуацієюбез руйнування, тобто надійність характеризує здатність чинити опір крихкому руйнуванню.

До критеріїв надійності можна віднести в’язкість руйнування GIc, роботу розвитку тріщини КСр та поріг холодноламкості.

***Довговічність*** – це здатність виробу працювати протягом довгого часу без суттєвої зміни розмірів і властивостей.

Довговічність матеріалу визначається такими параметрами, як втомна міцність, корозійна стійкість і ін.

При циклічному навантаженні, крім умовної межі витривалості σ-1, слід ураховувати ще один параметр – так звану “живучість”.

Руйнування від утомності, як і інші види руйнування, відбувається шляхом зародження і зростання втомної тріщини.

***Живучість*** – це здатність матеріалу працювати після виникнення втомної тріщини.

Живучість характеризується числом циклів, яке витримує метал до руйнування після виникнення тріщини Nр. Часто цю величину позначають Nж.

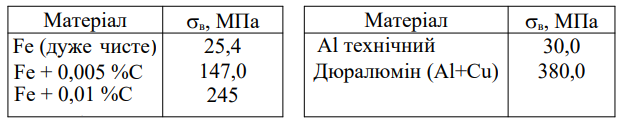
**Вимоги до матеріалу**

**σ0,2↑, σв↑, ψ↑, КС↑, KIc↑, Tкр↓**

*Фактори, що впливають на властивості металів і сплавів*

* хімічний склад;
* макроструктура;
* мікроструктура;
* атомно-кристалічна будова.

Вплив хімічного складу можна продемонструвати на прикладах заліза і алюмінію.



Таким чином, можна зробити висновок, що чисті метали як конструкційний матеріал використовується рідко, тому що мають недостатню міцність. Як конструкційні матеріали використовують сплави, так як домішки підвищують міцність.

Чим більше вуглецю, тим гірше метал кується, зварюється, обробляється різанням.

При виборі матеріалу для створення конструкції необхідно повністю враховувати механічні, технологічні й експлуатаційні властивості.

**Контрольні запитання**

1. Що вивчають у курсі матеріалознавства?
2. Що таке технологія?
3. Які матеріали називають конструкційними?
4. На які види поділяються метали? Які метали називаються чорними?
5. Що таке метали, як їх класифікують?
6. Які основні властивості матеріалів вам відомі?
7. Які основні фактори впливають на властивості металів?
8. Що відносять до механічних властивостей металів? Дайте їм визначення.
9. Які з механічних властивостей найбільш важливі?
10. Назвіть критерії оцінки конструкційної міцності металів та дайте коротке пояснення їм.
11. Які властивості відносять до спеціальних? Дайте їм визначення.
12. Які основні теплові властивості мають метали?

**Список літератури**

1. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів. – Київ: Кондор, 2006. – 528 с.
2. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. – Київ: «Либідь», 2002. – 326 с.

**Лекція №2а**

**«ОСОБЛИВОСТІ АТОМНО-КРИСТАЛІЧНОЇ БУДОВИ МЕТАЛІВ. КРИСТАЛІЗАЦІЯ МЕТАЛІВ.»**

**ПЛАН**

1. Особливості атомно – кристалічної будови.
2. Поняття про ізотропію та анізотропію.
3. Алотропія або поліморфні перетворення.
4. Магнітні перетворення.
5. Механізм і закономірності кристалізації.
6. Будова металевого злитка.

**1.**

Усі метали, які тверднуть у нормальних умовах, являють собою кристалічні речовини, тобто розташування атомів у них характеризується певним порядком – періодичністю, як у різних напрямках, так і в різних площинах. Цей порядок визначається поняттям *кристалічні гратки*.

Іншими словами, кристалічна решітка - це уявна просторова решітка, у вузлах якої розташовуються атоми, що утворюють тверде тіло.

**Елементарна комірка** – елемент об’єму з мінімального числа атомів, багаторазовим переносом якого в просторі можна побудувати весь кристал.

Класифікація можливих видів кристалічних решіток була проведена французьким ученим О. Браве, відповідно вони одержали назву «решітки Браве».

Основними типами кристалічних решіток є:

1. об’ємно центрована кубічна (ОЦК) (рисунок 1,а), атоми розташовуються у вершинах куба і у його центрі (V, W, Ti, Feα);
2. гранецентрована кубічна (ГЦК) (рисунок 1,б), атоми розташовуються у вершинах куба і в центрі кожної з 6 граней (Ag, Au, Feλ);
3. гексагональна, в основі якої лежить шестикутник:

проста - атоми розташовуються у вершинах комірки і в центрі 2 основ (вуглець у вигляді графіту);

щільноупакована (ГЩУ) - є 3 додаткових атоми в середній площині (цинк).

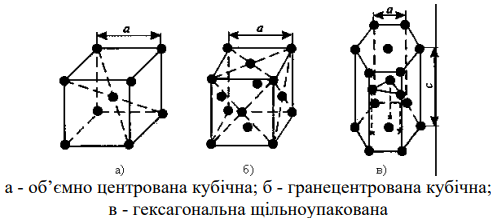


Рисунок 1 – Основні типи кристалічних решіток

**2.**

Властивості тіла залежать від природи атомів, з яких воно складається, і від сили взаємодії між цими атомами. Сили взаємодії між атомами значною мірою визначаються відстанями між ними. В аморфних тілах з хаотичним розташуванням атомів у просторі відстані між атомами в різних напрямках рівні, отже, властивості будуть однакові, тобто аморфні тіла - ***ізотропні***.

У кристалічних тілах атоми правильно розташовуються в просторі, причому в різних напрямках відстані між атомами неоднакові, що визначає істотні розходження в силах взаємодії між ними та різні властивості. Тобто властивості вздовж і впоперек зовнішніх деформаційних сил неоднакові - ця залежність властивостей від напрямку називається ***анізотропією.***

**3.**

Здатність деяких металів існувати в різних кристалічних формах залежно від зовнішніх умов (тиск, температура) називається **алотропією або поліморфізмом**.

Кожний вид граток являє собою *алотропічну видозміну* або модифікацію.

Прикладом алотропічної видозміни залежно від температури є залізо *(Fe).*

*Fe:*

- ОЦК - ;

- ГЦК - ;

- ОЦК - ; (високотемпературне Feα )

Перетворення однієї модифікації в іншу протікає при постійній температурі і супроводжується тепловим ефектом. Видозміни елемента позначаються буквами грецького алфавіту у вигляді індексу в основному позначенні металу.

Прикладом алотропічної видозміни, обумовленої зміною тиску, є вуглець: при низьких тисках утвориться графіт, а при високих - алмаз.

Використовуючи явище поліморфізму, можна зміцнювати і знеміцнювати сплави за допомогою термічної обробки.

**4**

Деякі метали намагнічуються під дією магнітного поля. Після видалення магнітного поля вони мають залишковий магнетизм. Це явище вперше виявлене на залізі й одержало назву феромагнетизму. До феромагнетиків належать залізо, кобальт, нікель і деякі інші метали.

При нагріванні феромагнітні властивості металу зменшуються поступово: спочатку слабко, потім різко і при певній температурі (т. Кюрі) зникають (т. Кюрі для заліза - 768ºC). Вище цієї температури метали стають парамагнетиками. Магнітні перетворення не пов'язані зі зміною кристалічних решіток або мікроструктури, вони обумовлені змінами в характері міжелектронної взаємодії.

**5**

При відповідному зниженні температури в рідкому металі починають утворюватися кристали – *центри кристалізації* або *зародки*. Для початку їх росту необхідне зменшення вільної енергії металу, в іншому випадку зародок розчиняється.

Мінімальний розмір здатного до росту зародка називається *критичним розміром*, а зародок – стійким.

Перехід з рідкого стану в кристалічний потребує витрати енергії на утворення поверхні розділу рідина - кристал. Процес кристалізації буде здійснюватися, коли виграш від переходу у твердий стан більше втрати енергії на утворення поверхні розділу.

Зародки з розмірами, рівними і більшими критичного, ростуть зі зменшенням енергії і тому здатні до існування.

Механізм кристалізації поданий на рисунку 2.

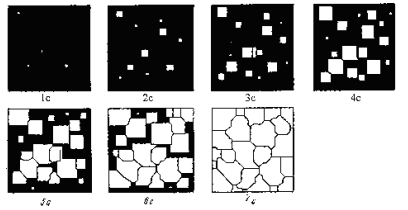


Рисунок 2 - Модель процесу кристалізації

Центри кристалізації утворюються у вихідній фазі незалежно один від одного у випадкових місцях. Спочатку кристали мають правильну форму, але по мірі зіткнення і зрощення з іншими кристалами форма порушується. Ріст триває в напрямках, де є вільний доступ живильного середовища. Процес спочатку прискорюється, доки зіткнення кристалів не починає перешкоджати їх росту. Об’єм рідкої фази, у якій утворюються кристали, зменшується. Після кристалізації 50 % об’єму металу швидкість кристалізації буде сповільнюватися.

Після закінчення кристалізації маємо полікристалічне тіло.

Таким чином, процес кристалізації складається з утворення центрів кристалізації і росту кристалів із цих центрів.

У свою чергу число центрів кристалізації (ч.ц.) і швидкість росту кристалів (ш.р.) залежать від ступеня переохолодження (рисунок 3

Розміри кристалів, що утворилися, залежать від співвідношення числа центрів, що утворилися, кристалізації і швидкості росту кристалів при температурі кристалізації.

При рівновісній температурі кристалізації ТS число утворених центрів кристалізації й швидкість їх росту дорівнюють нулю, тому процес кристалізації не відбувається.



Рисунок 3 - Залежність числа центрів кристалізації (а) і швидкості росту кристалів (б) від ступеня переохолодження

Якщо рідину переохолодити до температури, що відповідає т. а, то утворяться крупні зерна (число центрів, що утворилися, невелике, а швидкість росту - велика).

При переохолодженні до температури, відповідної т. в, утвориться дрібне зерно (утвориться велика кількість центрів кристалізації, а швидкість їх росту невелика).

Якщо метал дуже сильно переохолодити, то число центрів і швидкість росту кристалів дорівнюють нулю, рідина не кристалізується, утвориться аморфне тіло. Для металів, що мають малу схильність до переохолодження, експериментально виявляються тільки гілки кривих, що зростають.

**6**

Схема сталевого злитка, дана Черновим Д.К., подана на рисунку 4.

Злиток складається із трьох зон:

1. дрібнокристалічна коркова зона;
2. зона стовпчастих кристалів;
3. внутрішня зона великих рівновісних кристалів.

Кристалізація коркової зони йде в умовах максимального переохолодження. Швидкість кристалізації визначається більшим числом центрів кристалізації. Утворюється дрібнозерниста структура.

Рідкий метал під корковою зоною знаходиться в умовах меншого переохолодження. Число центрів обмежене і процес кристалізації реалізується за рахунок їх інтенсивного росту до великого розміру.

Ріст кристалів у другій зоні має спрямований характер. Вони ростуть перпендикулярно стінкам виливниці, утворюються деревоподібні кристали - дендрити (рисунок 5). Ростуть дендрити в напрямку, близькому до напрямку тепловідведення.

Так як тепловідведення від незакристалізованого металу усередині злитка в різні сторони вирівнюється, то в центральній зоні утворюються великі дендрити з випадковою орієнтацією.

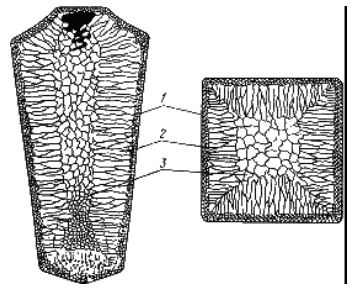


Рисунок 4 - Схема сталевого злитка

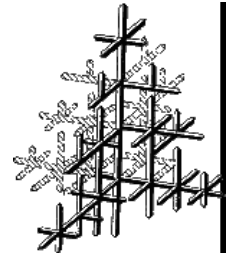


Рисунок 5 - Схема дендриту за Черновим Д.К.

Зони стовпчастих кристалів у процесі кристалізації стикуються, це явище називається *транскристалізацією*.

Для малопластичних металів і для сталей це явище небажане, тому що при наступній прокатці, куванні можуть утворюватися тріщини в зоні стикання.

У верхній частині злитка утворюється усадочна раковина, що підлягає відрізанню і переплавленню, тому що метал більш пористий (близько 15...20 % від довжини злитка).

**Контрольні запитання**

1. Яка різниця між кристалічним і аморфним тілом?
2. Які типи кристалічних граток характерні для металів?
3. Які параметри характеризують кристалічну гратку?
4. Що таке поліморфізм металів?
5. Які основні дефекти кристалічної будови металів?
6. В чому полягає механізм кристалізації металів?
7. Від яких чинників залежить розмір зерна при кристалізації?
8. Опишіть будову сталевого злитка за Черновим Д.К.
9. Яке явище називають транскристалізацією?

**Список літератури**

1. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів. – Київ: Кондор, 2006. – 528 с.
2. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. – Київ: «Либідь», 2002. – 326 с.

**Лекція №3**

**«НАВАНТАЖЕННЯ, НАПРУГИ Й ДЕФОРМАЦІЇ. ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ ТІЛ. НАКЛЕП, ПОВЕРНЕННЯ І РЕКРИСТАЛІЗАЦІЯ.»**

**ПЛАН**

1. Фізична природа деформації металів.
2. Природа пластичної деформації.
3. Руйнування металів.
4. Особливості деформації полікристалічних тіл.
5. Вплив пластичної деформації на структуру і властивості металу. Наклеп.
6. Вплив нагріву на структуру і властивості деформованого металу: повернення і рекристалізація.

**1.**

**Деформацією** називається зміна форми і розмірів тіла під дією напружень.

**Напруження** – сила, що діє на одиницю площі перерізу деталі

Напруження і викликані ними деформації можуть виникати при дії на тіло зовнішніх сил розтягнення, стискання й т. ін., а також у результаті фазових (структурних) перетворень, усадки й інших фізико-хімічних процесів, що протікають у металах і пов'язаних зі зміною об’єму.

Метал, що знаходиться в напруженому стані, при будь-якому виді навантаження завжди випробовує напруження нормальні й дотичні (рисунок 3.1).

Зростання нормальних і дотичних напружень приводить до різних наслідків. Зростання нормальних напружень призводить до крихкого руйнування. Пластичну деформацію викликають дотичні напруження.

Деформація металу під дією напружень може бути пружною і пластичною.

**Пружною** називається деформація, що повністю зникає після зняття напружень, що її викликає.

При пружному деформуванні змінюються відстані між атомами металу в кристалічних решітках. Зняття навантаження усуває причину, що викликала зміну міжатомної відстані, атоми стають на колишні місця, і деформація зникає.

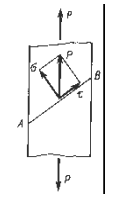


Рисунок 3.1 - Схема виникнення нормальних і дотичних напружень у металі при його навантаженні

Пружна деформація на діаграмі деформації характеризується лінією ОА (рисунок 3.2).

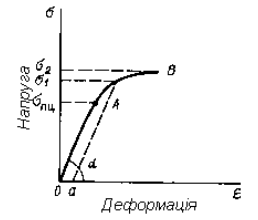


Рисунок 3.2 - Діаграма залежності деформації металу ε від діючих напружень σ

Якщо нормальні напруги досягають значення сил міжатомних зв'язків, то спостерігається крихке руйнування шляхом відриву (рисунок 3.3).

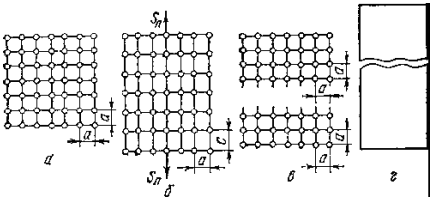


Рисунок 3.3 - Схема пружної деформації та крихке руйнування під дією пружних напружень

Залежність між пружною деформацією ε і напруженням σ виражається законом Гука:

σ =Е·ε , (3.1)

де Е - модуль пружності.

Модуль пружності є найважливішою характеристикою пружних властивостей металу. За фізичною природою величина модуля пружності розглядається як міра міцності зв'язків між атомами у твердому тілі.

Ця механічна характеристика структурно нечутлива, тобто термічна обробка або інші способи зміни структури не змінюють модуль пружності, а підвищення температури, що змінює міжатомні відстані, знижує модуль пружності.

**Пластичною або залишковою** називається деформація після припинення дії викликаних нею напружень.

При пластичному деформуванні одна частина кристала переміщається відносно іншої під дією дотичних напружень. При знятті навантажень зсув залишається, тобто відбувається пластична деформація (рисунок 3.4).

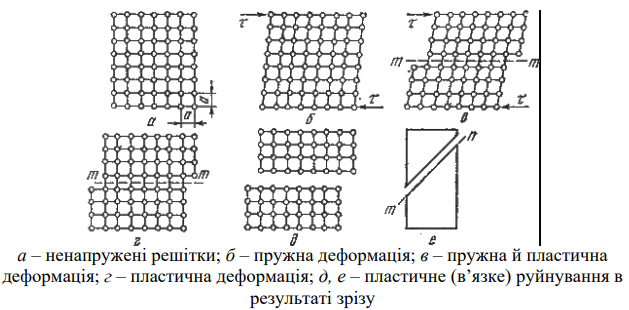


Рисунок 3.4 - Схема пластичної деформації і в’язкого руйнування під дією дотичних напружень

У результаті розвитку пластичної деформації може відбутися в’язке руйнування шляхом зсуву.

**2.**

Метали і сплави у твердому стані мають кристалічну будову, і характер їх деформації залежить від типу кристалічної структури і від наявності недосконалостей у цій структурі.

Розглянемо пластичну деформацію в монокристалі.

Пластична деформація може протікати під дією дотичних напружень і може здійснюватися двома способами.

1 Трансляційне ковзання по площинах (рисунок 3.5,а). Одні шари атомів кристала сковзають по інших шарах, причому вони переміщаються на дискретну величину, рівну цілому числу міжатомних відстаней.

У проміжках між смугами ковзання деформація не відбувається. Тверде тіло не змінює своєї кристалічної будови під час пластичної деформації й розташування атомів в елементарних комірках зберігається.

Площинами ковзання є кристалографічні площини з найбільш щільним упакуванням атомів.

Це найбільш характерний вид деформації при обробці тиском.

2 Двійникування - поворот однієї частини кристала в положення, симетричне іншій його частині. Площиною симетрії є площина двійникування (рисунок 3.5,б).

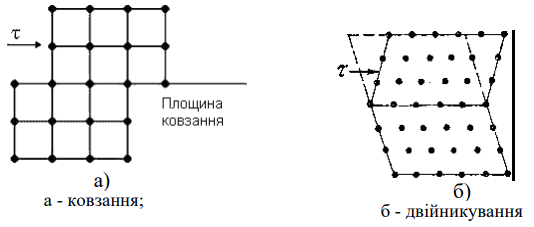


Рисунок 3.5 - Схеми пластичної деформації різними способами

Двійникування найчастіше виникає при пластичній деформації кристалів з об’ємно центрованими і гексагональними решітками, причому з підвищенням швидкості деформації й зниженням температури схильність до двійникування зростає.

Двійникування може виникати не тільки в результаті дії зовнішніх сил, але й у результаті відпалу пластично деформованого тіла. Це характерно для металів із гранецентрованими кубічними решітками (мідь, латунь). Двійникуванням можна досягти незначного ступеня деформації.

**3.**

Процес деформації при досягненні високих напружень завершується руйнуванням. Тіла руйнуються по перерізу не одночасно, а внаслідок розвитку тріщин. Руйнування включає три стадії: зародження тріщини, її поширення через переріз, остаточне руйнування.

Розрізняють крихке руйнування - відрив одних шарів атомів від інших під дією нормальних розтягуючих напружень. Відрив не супроводжується попередньою деформацією. Механізм зародження тріщини однаковий - завдяки скупченню дислокацій, що рухаються, перед перешкодою (межі субзерен, фазові межі), що приводить до концентрації напружень, достатньої для утворення тріщини. Коли напруження досягають певного значення, розмір тріщини стає критичним і подальше зростання здійснюється довільно.

Для руйнування характерна гостра, часто розгалужена тріщина. Величина зони пластичної деформації в гирлі тріщини мала. Швидкість поширення крихкої тріщини велика - близька до швидкості звуку (раптове, катастрофічне руйнування). Енергоємність крихкого руйнування мала, а робота поширення тріщини близька до нуля.

Розрізняють **транскристалітне руйнування** - тріщина поширюється по тілу зерна, інтеркристалітне - по межах зерен (завжди *крихке*).

Результатом крихкого руйнування є блискучий світлий кристалічний злам зі струмковою будовою. Крихка тріщина поширюється по декількох паралельних площинах. Площина зламу перпендикулярна нормальним напруженням.

**В’язке руйнування** – руйнування шляхом зрізу під дією дотичних напружень. Йому завжди передує значна пластична деформація.

Тріщина, яка розкривається, тупа. Величина пластичної зони перед тріщиною велика. Мала швидкість поширення тріщини. Енергоємність значна, енергія витрачається на утворення поверхонь розділу й на пластичну деформацію. Більша робота затрачується на поширення тріщини. Поверхня зламу негладка, розсіює світлові промені, матова (*волокнистий* злам). Площина зламу розташовується під кутом.

За зламом можна визначити характер руйнування.

**4**

Розглянемо холодну пластичну деформацію полікристала. Пластична деформація металів і сплавів як тіл полікристалічних має деякі особливості в порівнянні із пластичною деформацією монокристала.

Деформація полікристалічного тіла складається з деформації окремих зерен і деформації в прикордонних об’ємах. Окремі зерна деформуються ковзанням і двійникуванням, однак взаємний зв'язок зерен та їх множинність у полікристалі вносять свої особливості в механізм деформації.

Площини ковзання зерен довільно орієнтовані в просторі, тому під впливом зовнішніх сил напруження в площинах ковзання окремих зерен будуть різні. Деформація починається в окремих зернах, у площинах ковзання яких виникають максимальні дотичні напруження. Сусідні зерна будуть розвертатися й поступово втягуватися в процес деформації. Деформація приводить до зміни форми зерен, зерна одержують форму, витягнуту в напрямку найбільш інтенсивної течії металу - текстура (повертаються осями найбільшої міцності уздовж напрямку деформації). Зміна структури при деформації показана на рисунку 3.6.

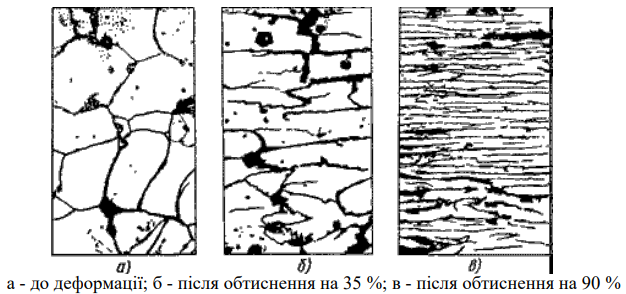


Рисунок 3.6 - Зміна структури при деформації

Метал набуває волокнистої будови. Волокна з витягнутими уздовж них неметалевими включеннями є причиною неоднаковості властивостей уздовж і впоперек волокон - ***анізотропія***. Одночасно зі зміною форми зерен у процесі пластичної деформації відбувається зміна орієнтування в просторі їх кристалічних решіток.

Коли кристалічні решітки більшості зерен одержують однакове орієнтування, виникає *текстура деформації*.

**5**

Текстура деформації створює кристалічну анізотропію, при якій найбільша різниця властивостей проявляється для напрямків, розташованих під кутом 45° один від одного. Зі збільшенням ступеня деформації характеристики пластичності (відносне подовження, відносне звуження) і в'язкості (ударна в'язкість) зменшуються, а характеристики міцності (межа пружності, межа текучості, межа міцності) і твердість збільшуються (рисунок 3.7). Також підвищується електроопір, знижуються опір корозії, теплопровідність, магнітна проникність.

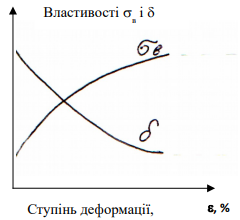


Рисунок 3.7 - Вплив холодної пластичної деформації на механічні властивості металу

Сукупність явищ, пов'язаних зі зміною механічних, фізичних та інших властивостей металів у процесі пластичної деформації, називають деформаційним **зміцненням** або **наклепом**.

Зміцнення при наклепі пояснюється зростанням на кілька порядків щільності дислокацій:

ρ = 106…108→1011-1012 .

Їх вільне переміщення ускладнюється взаємним впливом, також гальмуванням дислокацій у зв'язку із здрібнюванням блоків і зерен, скривлення решіток металів, виникненням напруг.

**6**

Деформований метал знаходиться в незрівноваженому стані. Перехід до зрівноваженого стану пов'язаний зі зменшенням скривлення у кристалічних решітках, зняттям напруг, що визначається можливістю переміщення атомів.

При низьких температурах рухомість атомів мала, тому стан наклепу може зберігатися необмежено довго.

При підвищенні температури металу в процесі нагрівання після пластичної деформації дифузія атомів збільшується й починають діяти процеси знеміцнення, що приводять метал у більш зрівноважений стан – **повернення** й **рекристалізація**.

Подану на рисунку 3.8 діаграму можна поділити на три частини:

* 1-ша стадія – повернення;
* 2-га стадія – первинна рекристалізація;
* 3-тя стадія – збиральна рекристалізація.

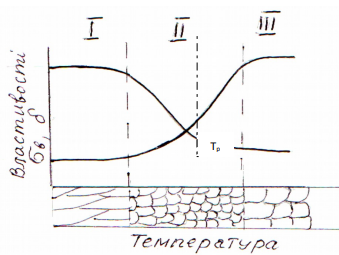


Рисунок 3.8 - Вплив нагрівання деформованого металу на механічні властивості

1-ша стадія - *повернення*. Невелике нагрівання викликає прискорення руху атомів, зниження щільності дислокацій, усунення внутрішніх напружень і відновлення кристалічних решіток (рисунок 3.9,а).

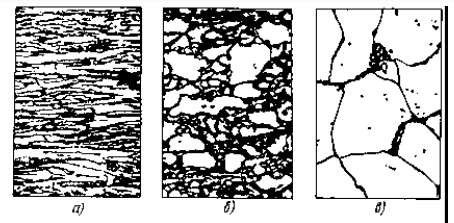


Рисунок 3.9 - Зміна структури деформованого металу при нагріванні

Процес часткового знеміцнення й відновлення властивостей називається *відпочинком* (перша стадія повернення). Проходить при температурі

T = (0,25…0,3)Tпл.

Повернення зменшує скривлення кристалічних решіток, але не впливає на розміри й форму зерен і не перешкоджає утворенню текстури деформації.

При нагріванні до досить високих температур рухомість атомів зростає і відбувається *рекристалізація*.

**Рекристалізація** – процес зародження та росту нових недеформованих зерен при нагріванні наклепаного металу до певної температури.

Нагрівання металу до температур рекристалізації супроводжується різкою зміною мікроструктури і властивостей. Нагрівання приводить до різкого зниження міцності при одночасному зростанні пластичності. Також знижується електроопір і підвищується теплопровідність.

2-га стадія - первинна рекристалізація (обробки) полягає в утворенні центрів кристалізації й росту нових зрівноважених зерен з нескривленими кристалічними решітками. Нові зерна виникають біля меж старих зерен і блоків, де решітки були найбільш скривлені. Кількість нових зерен поступово збільшується і у структурі не залишається старих деформованих зерен (рисунок 3.9,б).

Рушійною силою первинної рекристалізації є енергія, акумульована в наклепаному металі. Система прагне перейти в стійкий стан з нескривленими кристалічними решітками.

3-тя стадія - збірна рекристалізація полягає в зростанні нових зерен, що утворилися (рисунок 3.9,в).

Рушійною силою є поверхнева енергія зерен. При дрібних зернах поверхня розділу більша, тому є великий запас поверхневої енергії. При збільшенні зерен загальна довжина меж зменшується, і система переходить у більш зрівноважений стан.

Температура початку рекристалізації пов'язана з температурою плавлення

Трек = *а* Тпл , (3.2)

* для металів *а* = 0,4;
* для твердих розчинів *а* = 0,5…0,8;
* для металів високої чистоти *а* = 0,1…0,2.

На властивості металу великий вплив має розмір зерен, що утворилися при рекристалізації. У результаті утворення великих зерен при нагріванні до температури ***t1*** починає знижуватися міцність й, особливо значно, пластичність металу.

Основними факторами, що визначають величину зерен металу при рекристалізації, є температура, тривалість витримки при нагріванні й ступінь попередньої деформації (рисунок 3.10).

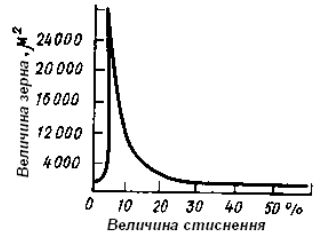


Рисунок 3.10 - Вплив попереднього ступеня деформації металу на величину зерна після рекристалізації

З підвищенням температури відбувається збільшення зерен, зі збільшенням часу витримки зерна також збільшуються. Найбільш великі зерна утворюються після незначної попередньої деформації 3...10 %. Таку деформацію називають ***критичною***. І така деформація небажана перед проведенням рекристалізаційного відпалу.

Існує спеціальна термічна обробка, яка називається рекристалізаційним відпалом.

**Рекристалізаційний відпал** – це термічна обробка, що проводиться з метою усунення наклепу і полягає в нагріванні до температури, що забезпечує завершення в деформованому металі рекристалізаційних процесів.

Деформація, що проводиться при температурі нижче температури рекристалізації Тр, називається **холодною пластичною деформацією**.

Деформація, що проводиться при температурі вище температури рекристалізації, називається **гарячою пластичною деформацією**.

При гарячій пластичній деформації наклепу, як правило, немає, тому що в процесі гарячої пластичної деформації поряд зі зміцненням проходять процеси зменшення за рахунок рекристалізації.

Однак якщо швидко відбувається охолодження після гарячої пластичної деформації, то наклеп можна зберегти.

Після гарячої пластичної деформації спостерігається анізотропія властивостей за рахунок того, що витягуються неметалеві включення і дендрити при деформації. Утворюються волокна, які можна побачити при макроструктурному аналізі. При виготовленні деталей цей фактор необхідно враховувати. Треба, щоб волокна були розташовані вздовж дії основних напружень.

Практично рекристалізаційний відпал проводять для маловуглецевих сталей при температурі 600…700 0С, для латуней і бронз – 560…700 0С, для алюмінієвих сплавів – 350…450 0С, для титанових сплавів – 550…750 0С.

**Контрольні запитання**

1. Що називають деформацією?
2. Дайте визначення напруженням. Які напруження випробовує метал, що знаходиться в напруженому стані?
3. Що називають пружною деформацією? Що виражає закон Гука?
4. Коли настає крихке руйнування металу?
5. Що називають пластичною деформацією? Опишіть схему і природу цієї деформації.
6. Які ви знаєте види руйнування металів? Опишіть схеми в’язкого і крихкого руйнувань.
7. Опишіть особливості деформації полікристалічних тіл.
8. Який вплив мають пластичні деформації на структуру і властивості металу?
9. Що таке рекристалізація?

**Список літератури**

1. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів. – Київ: Кондор, 2006. – 528 с.
2. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. – Київ: «Либідь», 2002. – 326 с.

**Лекція №4**

**«ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ СПЛАВІВ. БУДОВА, КРИСТАЛІЗАЦІЯ І ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ. ДІАГРАМИ СТАНУ»**

**ПЛАН**

1. Поняття про сплави і їх методи отримання.
2. Основні поняття в теорії сплавів.
3. Особливості будови, кристалізації і властивостей сплавів: механічних сумішей, твердих розчинів, хімічних сполук.
4. Діаграми стану. Побудова діаграм стану.
5. Діаграми Курнакова. Зв'язок структури та властивостей сплавів з діаграмою стану.

**1.**

Під сплавом розуміють речовину, отриману сплавленням двох або більше елементів. Можливі інші способи приготування сплавів: спікання, електроліз, сублімація. У цьому випадку речовини називаються псевдосплавами.

Сплав, приготований переважно з металевих елементів і який має металеві властивості, називається металевим сплавом. Сплави мають більш різноманітний комплекс властивостей, які змінюються залежно від складу й методу обробки.

**2.**

**Система** – група тіл, виділених для спостереження й вивчення

У металознавстві системами є метали й металеві сплави. Чистий метал є простою однокомпонентною системою, сплав - складною системою, що складається із двох і більше компонентів.

**Компоненти** – речовини, що утворюють систему. Як компоненти виступають чисті речовини й хімічні сполуки, якщо вони не дисоціюють на складові частини в досліджуваному інтервалі температур.

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

**Варіантність C** (число степенів вільності) – це число внутрішніх і зовнішніх факторів (температура, тиск, концентрація), які можна змінювати без зміни кількості фаз у системі.

Якщо варіантність C = 1 (моноваріантна система), то можлива зміна одного з факторів у деяких межах, без зміни числа фаз.

Якщо варіантність C = 0 (нонваріантна система), то зовнішні фактори змінювати не можна без зміни числа фаз у системі.

Існує математичний зв'язок між числом компонентів К, числом фаз Ф і варіантністю системи С. Це *правило* *фаз* або *закон* Гіббса

. (4.1)

Якщо прийняти, що всі перетворення відбуваються при постійному тиску, то число змінних зменшиться

. (4.2)

де С - число степенів вільності

К - число компонентів,

Ф - число фаз,

1 - ураховує можливість зміни температури.

**3.**

Будова металевого сплаву залежить від того, у які взаємодії вступають компоненти, що становлять сплав. Майже всі метали в рідкому стані розчиняються один в одному у будь-яких співвідношеннях. При утворенні сплавів у процесі їх затвердіння можлива різна взаємодія компонентів.

**Залежно від характеру взаємодії компонентів розрізняють сплави:**

1. механічні суміші;
2. хімічні сполуки;
3. тверді розчини.

Механічні суміші утворюються, коли компоненти не здатні до взаємного розчинення у твердому стані й не вступають у хімічну реакцію з утворенням сполук. Вони утворюються між елементами, які значно відрізняються будовою і властивостями, коли сила взаємодії між однорідними атомами більша, ніж між різнорідними. Сплав складається із кристалів, що входять у його компоненти (рисунок 4.1). У сплавах зберігаються кристалічні решітки компонентів.

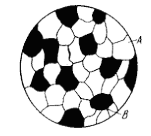


Рисунок 4.1 - Схема мікроструктури механічної суміші

**Хімічні сполуки** утворюються між елементами, що значно розрізняються будовою і властивостями, якщо сила взаємодії між різнорідними атомами більша, ніж між однорідними.

**Особливості цих сплавів:**

1. сталість складу, тобто сплав утворюється при певному співвідношенні компонентів, хімічна сполука позначається Аn Вm;
2. утворюється специфічна, яка відрізняється від решіток елементів, що складають хімічну сполуку, кристалічна решітка із правильним упорядкованим розташуванням атомів (рисунок 4.2);
3. яскраво виражені індивідуальні властивості;
4. сталість температури кристалізації як у чистих компонентів.

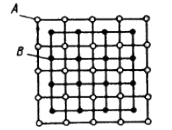


Рисунок 4.2 - Кристалічні решітки хімічної сполуки

Хімічній сполуці завжди можна приписати певну хімічну формулу. Наприклад, Fe3C - цементит.

Особливістю хімічної сполуці є те, що вона має завжди твердість більш високу, ніж твердість компонентів, з яких вона утворюється.

Наприклад, Fe ~ 80 HB

Fe3C ~ 800 HV

**Тверді розчини** – це тверді фази, у яких співвідношення між компонентами можуть змінюватися. Вони є кристалічними речовинами.

Характерною рисою твердих розчинів є наявність у їх кристалічних решітках різнорідних атомів при збереженні типу решітки розчинника.

Твердий розчин складається з однорідних зерен (рисунок 4.3).

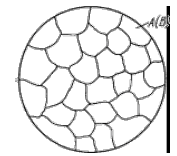


Рисунок 4.3- Схема мікроструктури твердого розчину

У реальних сплавах можуть існувати всі розглянуті види взаємодії між компонентами. Для того, щоб усе систематизувати, користуються діаграмами стану.

**4**

Діаграма стану показує зміну стану сплавів залежно від температури (P = const) і концентрації.

Якщо в системі є два компоненти, то діаграма буде мати два виміри: перший - температурна шкала, другий - концентрація сплаву (рисунок 4.4).

Кожна точка на осі абсцис відповідає певному вмісту кожного компонента. Загальний вміст компонентів у сплаві – 100 %.

Крайні ординати на діаграмі відповідають чистим компонентам, а ординати між ними - подвійним сплавам.

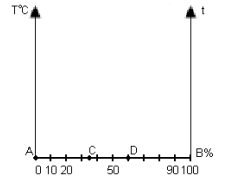


Рисунок 4.4 – Осі координат діаграми стану

Звичайно діаграми стану будують, експериментально використовуючи термічний аналіз, тобто будують криві охолодження й по зупинках і перегинам на цих кривих, викликаних тепловим ефектом перетворень, визначають температури перетворень. Ці температури називають **критичними точками** (рисунок 4.5).

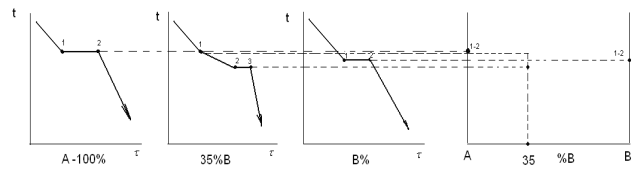


Рисунок 4.5 - Побудова кривих охолодження

Температуру металів вимірюють звичайно за допомогою термопари.

Через т. 1-3 проходить сплав який має 35 % компонента В і відповідно 65 % компонента А.

Таким чином з кривих охолодження ми визначаємо набір температур, що відповідають початку і закінченню кристалізації для кожного з розглянутих сплавів. Переносимо ці критичні точки на діаграму, яка будується в координатах «температура – концентрація компонентів» і з'єднуємо однією лінією всі точки, що відповідають початку кристалізації, і другою лінією всі точки, що відповідають закінченню кристалізації.

Маючи достатню кількість сплавів, і визначивши в кожному сплаві температури перетворень, можна побудувати діаграму стану (рисунок 4.6).

Діаграми стану показують стійкі стани, тобто стани, які за даних умов мають мінімум вільної енергії, і тому їх також називають діаграмами рівноваги, так як вони показують, які за даних умов існують зрівноважені фази.

Деякі критичні точки мають назви, наприклад, точки кристалізації, що відповідають початку, називають **точками ліквідус**, а кінцю кристалізації - **точками солідус**.

Шкала концентрацій показує вміст компонента В. Основними лініями є лінії ліквідус (1) і солідус (2), а також лінії, що відповідають фазовим перетворенням у твердому стані (3, 4).

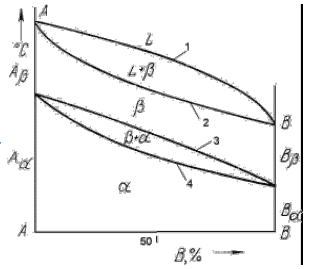


Рисунок 4.6 - Діаграма стану

За діаграмою стану можна визначити температури фазових перетворень, зміну фазового складу, приблизно, властивості сплаву, види обробки, які можна застосовувати для сплаву.

*Кожна точка на діаграмі стану показує стан сплаву даної концентрації при даній температурі*. Кожна вертикаль відповідає зміні температури певного сплаву. Зміна фазового стану сплаву позначається на діаграмі точкою.

Лінії, що з'єднують точки аналогічних перетворень, розмежовують на діаграмі області аналогічних фазових станів.

Розглянемо більш докладно процес кристалізації сплаву, що містить 60 % компонента В. При температурі t1 сплав знаходиться в рідкому стані. У ньому є рівноважний набір фазових і концентраційних флуктуацій (відхилення від середнього хімічного складу). При охолодженні в інтервалі температур t1 до t2 - кількість флуктуацій при охолодженні збільшується стосовно α-фази. Нижче т. 2 (тобто приймемо т. 3) починається процес кристалізації, критичний розмір зародка досягає максимальної величини. Нижче t2 сплав є двофазним (Ж і α - кристали). Двофазний стан існує в інтервалі температур t2 - t5 (рисунок 4.7).

У процесі кристалізації (при кожній Т0 С) змінюється й концентрація фаз, і кількість кожної фази (при кристалізації кількість твердої фази збільшується, а рідкої зменшується). У будьякій точці діаграми, коли існує дві фази, можна визначити кількість обох фаз і їх концентрацію.

Вид діаграми стану залежить від того, як реагують обидва компоненти один з одним у твердому й рідкому стані, тобто, чи розчинні вони в рідкому й твердому стані, чи утворюють хімічні сполуки і так далі.

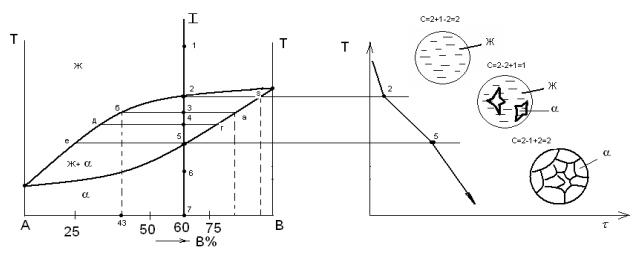


Рисунок 4.7 - Діаграма стану з необмеженою розчинністю компонентів

**5**

Залежно від складу й температури сплави можуть мати різні структури та властивості, тобто існує певний зв'язок між структурою й діаграмою стану.

1. *Діаграма стану для сплавів з необмеженою розчинністю у твердому стані*

*У системі із необмеженою розчинністю компонентів у твердому стані* в процесі кристалізації утворюється тільки одна фаза - необмежений твердий розчин заміщення.

Кінцева структура кожного сплаву такої системи у зрівноваженому стані - це кристали α - твердого розчину (рисунок 4.8), які мають поліедричну або дендритну форму.

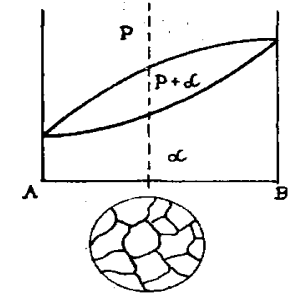


Рисунок 4.8 - Кристали α - твердого розчину

2. *Діаграма стану для сплавів з обмеженою розчинністю у твердому стані*

Таку ж мікроструктуру мають сплави системи з *обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані*, які знаходяться в однофазних областях твердих розчинів (рисунок 4.9), а також чисті метали, хімічні сполуки та проміжні фази. Мікроструктурно всі ці фази одна від одної майже не відрізняються.

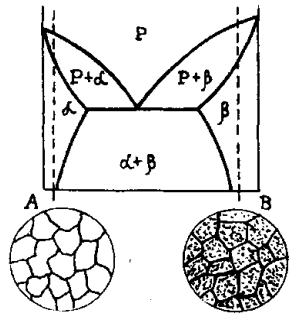


Рисунок 4.9 – Однофазні області твердих розчинів

Обидва компоненти необмежено розчинні в рідкому стані, але обмежено розчинні у твердому та не утворюють хімічних сполук.

При формуванні сплавів у *системі з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані* можливе виділення кристалів іншої фази із пересиченого твердого розчину. Такі кристали отримали назву вторинних, а процес їх утворення - вторинної кристалізації.

Приклад утворення вторинних фаз наведено на рисунку 4.10.

Надлишкова фаза може виділитись по межах зерен або у кристалі пересиченого твердого розчину.

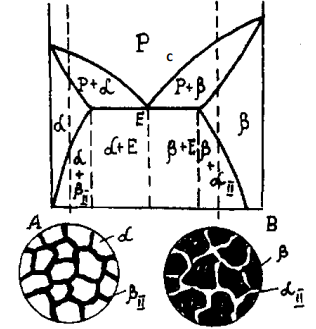


Рисунок 4.10 – Утворення вторинних фаз

3. *Діаграма стану евтектичного типу*

Обидва компоненти в рідкому стані необмежено розчинні, а у твердому стані не розчинні та не утворюють хімічних сполук.

Коли компоненти не взаємодіють один з одним, то вони утворюють евтектику.

***Евтектика*** являє собою однорідну механічну суміш двох або більше фаз, що утворюються при їх одночасній кристалізації з рідкого розчину при строго визначеній температурі.

Сплави, які утворюються в результаті кристалізації евтектики або ***евтектоїда***, як правило, - це дисперсна суміш двох фаз у вигляді пластин, сот або дрібних зерен. Ця обставина дозволяє легко відрізнити більш великі первинні кристали даної фази від евтектичної складової.

Як приклад розглядається формування сплаву з евтектикою. При охолодженні рідини вище т. 1 (рисунок 4.11) фазові перетворення в сплаві відсутні. В інтервалі температур 1-2 із рідини виділяються кристали (первинні) чистого компонента А. Рідина, яка залишилась, має склад т. C та кристалізується із одночасним виділенням суміші кристалів А та В: Е =(А+В). Кінцева мікроструктура доевтектичного сплаву наведена на рисунку 4.11.

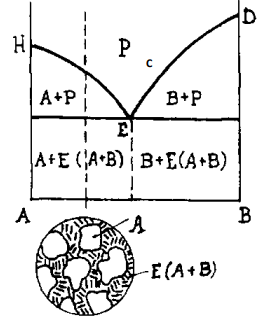


Рисунок 4.11 – Мікроструктура доевтектичного сплаву

Принципової різниці у формуванні структур доевтектичних та заевтектичних сплавів немає. Але первинні кристали компонентів можуть мати різну форму, а під час травлення отримати різне забарвлення.

***Зв'язок між властивостями сплавів та типом діаграми стану***

М.С. Курнаков установив залежності між видом діаграми стану та властивостями сплавів, відомі як правила Курнакова (рисунок 4.12).

1 Якщо при сплавленні компонентів утворюється суміш двох фаз, то властивості сплавів із зміною складу змінюються за лінійною закономірністю, тобто адитивно (рисунок 4.12,а).

2 Якщо компоненти при сплавленні утворюють необмежені тверді розчини, то властивості змінюються за параболічною закономірністю із максимумом або мінімумом (рисунок 4.12,б).

3 Якщо при сплавленні компонентів утворюються обмежені тверді розчини, то у тих частинах діаграми, де розташовані однофазні області твердих розчинів, властивості змінюються за закономірністю ціпової лінії. У двофазних областях, де є евтектика, властивості змінюються адитивно (рисунок 4.12,в).

4 Якщо компоненти утворюють стійку хімічну сполуку (або проміжну фазу), то їй відповідає точка перегину на кривій зміни властивостей. Ця точка максимуму або мінімуму, яка відповідає складу хімічної сполуки, називається сингулярною (рисунок 4.12,г).

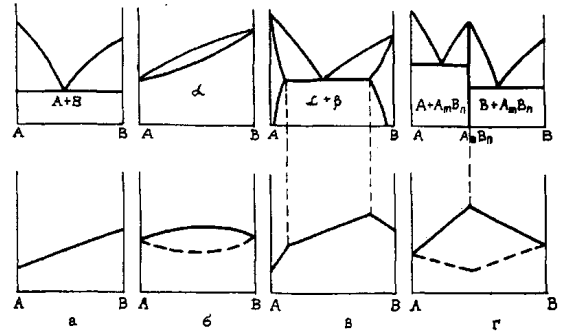


Рисунок 4.12 – Схема залежності між діаграмою стану та властивостями сплавів

За діаграмами стану можна також визначити технологічні властивості сплавів. Чим більша відстань між лініями ліквідусу та солідуса, тобто чим більший інтервал кристалізації, тим більша схильність сплаву до ліквації, а також схильність до утворення тріщин у відливках. Кращі ливарні властивості мають евтектичні сплави. Ці сплави мають крашу оброблюваність різанням та дають найбільшу чистоту поверхні. Однофазні сплави - тверді розчини - краще деформуються у гарячому та холодному стані.

**Контрольні запитання**

1. Яку речовину розуміють під поняттям сплав? Як змінюються властивості в сплавах металів в порівнянні з чистими металами?
2. Дайте формулювання основних понять в теорії сплавів (компоненти, фаза, варіантність).
3. Що називають правилом фаз? Що виражає закон Гіббса? Напишіть і поясніть формулу цього закону.
4. Які ви знаєте сплави, що утворюються від характеру взаємодії компонентів? Поясніть особливості будови цих сплавів.
5. Що називають діаграмою стану? Опишіть вигляд діаграми стану для різних систем сплавів.
6. Які принципи побудови діаграм стану?.
7. Які температури називають критичними точками?.
8. Які критичні точки називають точками «ліквідус», а які – «солідус»?
9. Що показує кожна точка на діаграмі стану?
10. Що являють собою діаграми М.С. Курнакова?
11. Поясність зв'язок між діаграмами стану для різних систем сплавів та їхніми властивостями.

**Список літератури**

1. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів. – Київ: Кондор, 2006. – 528 с.
2. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. – Київ: «Либідь», 2002. – 326 с.

**Лекція №5**

**«ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВІ СПЛАВИ. ДІАГРАМА СТАНУ ЗАЛІЗО - ВУГЛЕЦЬ»**

**ПЛАН**

1. Діаграма Fe – Fe3C.
2. Компоненти і фази залізовуглецевих сплавів.
3. Процеси при структуроутворенні залізовуглецевих сплавів.
4. Структури залізовуглецевих сплавів.

**1.**

Залізовуглецеві сплави - сталі й чавуни - найважливіші металеві сплави сучасної техніки. Виробництво чавуну і сталі за обсягом перевершує виробництво всіх інших металів разом узятих більш ніж у десять разів.

Діаграма стану залізо-вуглець дає основне уявлення про будову залізовуглецевих сплавів - сталей і чавунів.

Початок вивченню діаграми залізо - вуглець поклав Чернов Д.К. у 1868 році. Чернов уперше вказав на існування в сталі критичних точок і на залежність їх положення від вмісту вуглецю.

Діаграма залізо - вуглець повинна поширюватися від заліза до вуглецю. Залізо утворює із вуглецем хімічну сполуку: цементит – Fe3C. Кожну стійку хімічну сполуку можна розглядати як компонент, а діаграму – по частинах. Так як на практиці застосовують металеві сплави з вмістом вуглецю до 5 %, то розглядаємо частину діаграми стану від заліза до хімічної сполуки цементиту, що містить 6,67 % вуглецю.

Діаграма стану залізо – цементит подана на рисунку 5.1.

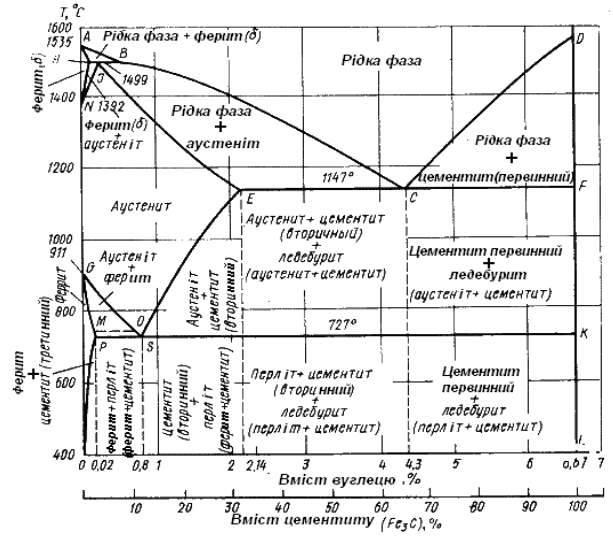


Рисунок 5.1 - Діаграма стану залізо – цементит

**2.**

Компонентами залізовуглецевих сплавів є залізо, вуглець і цементит.

**1** ***Залізо*** – перехідний метал сріблясто-світлого кольору. Має високу температуру плавлення – 1539ºС ± 5ºС.

У твердому стані залізо може знаходитися у двох модифікаціях. Поліморфні перетворення відбуваються при температурах 911 і 1392 ºС. При температурі нижче 911 ºС існує Feα з об’ємно центрованою кубічною решіткою. В інтервалі температур 911… 1392 ºС стійким є Feγ із гранецентрованою кубічною решіткою.

Вище 1392 ºС залізо має об’ємно центровану кубічну решітку і називається Feδ або високотемпературне Feα. Високотемпературна модифікація Feα не являє собою нової алотропічної форми. Критичну температуру 911 ºС перетворення Feα↔Feγ позначають т. A3, а температуру 1392 ºС перетворення Feα↔Feγ – т. А4.

При температурі нижче 768 ºС залізо феромагнітне, а вище – парамагнітне; т. Кюрі заліза 768 ºС позначається А2.

Залізо технічної чистоти має невисоку твердість (80 НВ) і міцність (межа міцності – σв = 250 МПа, межа текучості – σт = 120 МПа) і високі характеристики пластичності (відносне подовження – δ = 50 %, а відносне звуження – ψ = 80 %).

Властивості можуть змінюватися в деяких межах залежно від величини зерна.

Залізо характеризується високим модулем пружності, наявність якого проявляється й у сплавах на його основі, забезпечуючи високу твердість деталей із цих сплавів.

Залізо з багатьма елементами утворює розчини: з металами - розчини заміщення, з вуглецем, азотом і воднем - розчини проникнення.

**2** ***Вуглець*** належить до неметалів. Має поліморфне перетворення, залежно від умов утворення існує у формі графіту з гексагональними кристалічними решітками (температура плавлення – 3500 0С, щільність – 2,5 г/см3 ) або у формі алмазу зі складними кубічними решітками з координаційним числом рівним чотирьом (температура плавлення – 5000 оС).

В сплавах заліза з вуглецем вуглець знаходитися в стані твердого розчину із залізом і у вигляді хімічної сполуки – цементиту (Fe3C), а також у вільному стані у вигляді графіту (у сірих чавунах).

**3** ***Цементит (Fe3C)*** – хімічна сполука заліза з вуглецем (карбід заліза) містить 6,67% вуглецю.

Алотропічних перетворень не має. Кристалічні решітки цементиту складаються з ряду октаедрів, осі яких відхилені один від одного.

Температура плавлення цементиту точно не встановлена (1250, 1550 0С). При низьких температурах цементит слабко феромагнітний, магнітні властивості втрачає при температурі близько 217 0С.

Цементит має високу твердість (більше 800 НВ, легко дряпає скло), але надзвичайно низьку, практично нульову, пластичність. Такі властивості є наслідком складної будови кристалічних решіток.

Цементит здатний утворювати тверді розчини заміщення. Атоми вуглецю можуть заміщатися атомами неметалів: азотом, киснем; атоми заліза – металами: марганцем, хромом, вольфрамом й ін. Такий твердий розчин на базі решіток цементиту називається ***легованим цементитом***.

Цементит - з'єднання нестійке і за певних умов розпадається з утворенням вільного вуглецю у вигляді графіту. Цей процес має важливе практичне значення при структуроутворенні чавунів.

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

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

2 ***Ферит (Ф) Feα (C)*** – твердий розчин проникнення вуглецю в α -залізо.

Ферит має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальну – 0,006 % при кімнатній температурі (точка Q), максимальну – 0,02 % при температурі 727 0С (т. P). Вуглець розташовується в дефектах решіток.

При температурі вище 1392ºС існує високотемпературний ферит δ (Feδ (C)), з граничною розчинністю вуглецю 0,1 % при температурі 1499 ºС (т. J).

Властивості фериту близькі до властивостей заліза. Він м'який (твердість – 130 НВ, межа міцності – σв =300 МПа) і пластичне (відносне подовження – δ = 30 %), магнітний до 768 0С.

3 ***Аустеніт (А)*** Feγ (С) – твердий розчин проникнення вуглецю в γ-залізо.

Вуглець займає місце в центрі гранецентрованої кубічної решітки.

Аустеніт має змінну граничну розчинність вуглецю: мінімальну – 0,8 % при температурі 727 0С (т. S), максимальну – 2,14 % при температурі 1147 ºС (т. Е).

Аустеніт має твердість 200…250 НВ, пластичний (відносне подовження – δ= 40…50 %), парамагнітний.

При розчиненні в аустеніті інших елементів можуть змінюватися властивості й температурні межі існування.

**4** ***Цементит*** – характеристика дана вище.

У залізовуглецевих сплавах наявні фази: цементит первинний (*ЦI*), цементит вторинний (*ЦII*), цементит третинний (*ЦIII*). Хімічні й фізичні властивості цих фаз однакові. На механічні властивості сплавів впливає розходження в розмірах, кількості й розташуванні цих виділень. Цементит первинний виділяється з рідкої фази у вигляді великих пластинчастих кристалів. Цементит вторинний виділяється з аустеніту й розташовується у вигляді сітки навколо зерен аустеніту (при охолодженні - навколо зерен перліту). Цементит третинний виділяється з відпалу й у вигляді дрібних включень розташовується біля границь феритних зерен.

**3.**

***Лінія АВСD*** – **ліквідус** системи. На ділянці ***АВ*** починається кристалізація фериту δ, на ділянці ***ВР*** починається кристалізація аустеніту, на ділянці ***СD*** – кристалізація цементиту первинного.

***Лінія AHJECF*** - *лінія* **солідус**. На ділянці ***АН*** закінчується кристалізація фериту δ. На лінії ***HJB*** при постійній температурі 1499 0С іде перитектичне перетворення, що полягає в тому, що рідка фаза реагує з раніше утвореними кристалами фериту δ, у результаті чого утворюється аустеніт:

*.* (5.1)

На ділянці ***JЕ*** закінчується кристалізація аустеніту. На ділянці ***ECF*** при постійній температурі 1147 ºС іде евтектичне перетворення, що полягає в тому, що рідина, яка містить 4,3 % вуглецю, перетворюється в евтектичну суміш аустеніту й цементиту первинного:

*.* (5.2)

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

При температурі нижче 727 ºС до складу ледебуриту входять цементит первинний і перліт, його називають ледебурит перетворений (ЛП).

По лінії ***HN*** починається перетворення фериту δ в аустеніт, зумовлене поліморфним перетворенням заліза. По лінії ***NJ*** перетворення фериту δ в аустеніт закінчується.

По лінії ***GS*** починається перетворення аустеніту у ферит, зумовлене поліморфним перетворенням заліза. По лінії ***PG*** перетворення аустеніту у ферит закінчується.

По лінії ***ES*** починається виділення цементиту вторинного з аустеніту, зумовлене зниженням розчинності вуглецю в аустеніті при зниженні температури.

По лінії ***МО*** при постійній температурі 768 ºС спостерігаються магнітні перетворення.

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

(5.3)

За механізмом дане перетворення схоже на евтектичне, але протікає у твердому стані.

Евтектоїд системи залізо - цементит називається ***перлітом*** (П), містить 0,8 % вуглецю.

Назву одержав за те, що на полірованому й протравленому шліфі спостерігається перламутровий блиск.

Перліт може існувати в зернистій і пластинчастій формі, залежно від умов утворення.

По лінії ***PQ*** починається виділення цементиту третинного з фериту, обумовлене зниженням розчинності вуглецю у фериті при зниженні температури.

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

Позначаються буквою А (від французького arret - зупинка):

* А1 - лінія PSK (727 0С) - перетворення ;
* A2 - лінія M (768 0С, т. Кюрі) - магнітні перетворення;
* A3 - лінія GS (змінна температура, що залежить від вмісту вуглецю в сплаві) - перетворення Ф ↔ А;
* A4 - лінія NJ (змінна температура, що залежить від вмісту вуглецю в сплаві) – перетворення А↔Фδ;
* Acm - лінія SE (змінна температура, що залежить від вмісту вуглецю в сплаві) - початок виділення цементиту вторинного (іноді позначається A3).

Так як при нагріванні й охолодженні перетворення відбуваються при різних температурах, щоб відрізнити ці процеси вводяться додаткові позначення. При нагріванні додають букву с, тобто Ас1 , при охолодженні - букву r, тобто Аr1.

**4**

Усі сплави системи залізо - цементит за структурною ознакою ділять на дві великі групи: сталі та чавуни.

Особливу групу становлять сплави з вмістом вуглецю менше 0,02 % (т. Р на рисунку 5.1), їх називають технічне залізо. Мікроструктури сплавів подані на рисунку 5.2. Структура таких сплавів після закінчення кристалізації складається або із зерен фериту (рисунок 5.2,а), при вмісті вуглецю менше 0,006 %, або із зерен фериту й кристалів цементиту третинного, розташованих по межах зерен фериту (рисунок 5.2,б), якщо вміст вуглецю від 0,006 до 0,02 %.

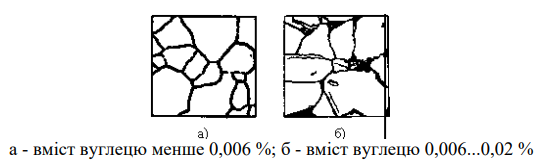


Рисунок 5.2 - Мікроструктури технічного заліза

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

Вони мають високу пластичність, особливо в аустенітному стані.

Структура сталей формується в результаті перекристалізації аустеніту. Мікроструктури сталей подані на рисунку 5.3.

За вмістом вуглецю та за структурою сталі підрозділяються на доевтектоїдні структура ферит + перліт (Ф + П) (рисунок 5.3,а); евтектоїдні (C = 0,8 %), структура перліт (П), перліт може бути пластинчастий або зернистий (рисунок 5.3,б, в); заевтектоїдні , структура перліт + цементит вторинний (П + ЦII), цементитна сітка розташовується навколо зерен перліту(рисунок 5.3,г).



Рисунок 5.3 - Мікроструктури сталей

За мікроструктурою сплавів можна приблизно визначити кількість вуглецю в складі сплаву, враховуючи таке: кількість вуглецю в перліті становить 0,8 %, у цементиті - 6,67%. Через малу розчинність вуглецю у фериті, приймається, що в ньому вуглецю немає.

Сплави заліза з вуглецем, які містять вуглецю більше 2,14 % (до 6,67 %), що закінчують кристалізацію утворенням евтектики (ледебуриту), називають **чавунами**.

Наявність легкоплавкого ледебуриту в структурі чавунів підвищує їх ливарні властивості.

Чавуни, що кристалізуються відповідно до діаграми стану залізо - цементит, відзначаються високою крихкістю. Колір їх зламу - сріблясто-білий. Такі чавуни називаються ***білими чавунами***.

Мікроструктури білих чавунів подані на рисунку 5.4.

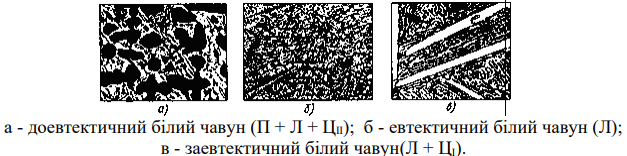


Рисунок 5.4 - Мікроструктури білих чавунів

За кількістю вуглецю і за структурою білі чавуни підрозділяються на: доевтектичні , структура перліт + ледебурит + цементит вторинний (П+Л+ЦІІ); евтектичні (С=4,3 %), структура ледебурит (Л); заевтектичні , структура ледебурит + цементит первинний (Л+ЦІ).

У структурі доевтектичних білих чавунів наявнийй цементит вторинний, який утворюється в результаті зміни складу аустеніту при охолодженні (по лінії ES). У структурі цементит вторинний зливається із цементитом, що входить до складу ледебуриту.

Фазовий склад сталей і чавунів при нормальних температурах той самий, вони складаються з фериту й цементиту. Однак властивості сталей і білих чавунів значно відрізняються. Таким чином, основним фактором, що визначає властивості сплавів системи залізо - цементит є їх структура.

**Контрольні запитання**

1. Яку роль виконує діаграма сплавів залізо-вуглець?
2. З яким вмістом вуглецю використовуються на практиці залізо-вуглецеві спалви?.
3. Що є компонентами залізо-вуглецевих сплавів?.
4. Опишіть основні властивості компонентів злізо-вуглецевих сплавів.
5. Які фази ви знаєте в системі сплавів «залізо – вуглець»?.
6. Дайте коротку характеристику фазам системи сплавів «залізо – вуглець».
7. Опишіть процеси, що відбуваються в залізо-вуглецевих сплавах при проходженні температури через лінню «ліквідус».
8. Опишіть процеси, що відбуваються в залізо-вуглецевих сплавах при проходженні температури через лінню «солідус».
9. Як називається евтектика в залізо-вуглецевих сплавах? Опишіть властивості цього сплаву.
10. Які процеси відбуваються в залізо-вуглецевих сплавах при проходженні температур лінії PSK? Опишіть їх.
11. Які умовні позначення мають температури, при яких відбуваються фазові і структурні перетворення? Охарактеризуйте їх.
12. Охарактеризуйте структуру залізо-вуглецевих сплавів. Яка різниця між сталями та чавунами?

**Список літератури**

1. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів. – Київ: Кондор, 2006. – 528 с.
2. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. – Київ: «Либідь», 2002. – 326 с.

**Лекція №6**

**«СТАЛІ. КЛАСИФІКАЦІЯ Й МАРКУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ. ЧАВУНИ. БУДОВА, ВЛАСТИВОСТІ, КЛАСИФІКАЦІЯ Й МАРКУВАННЯ ЧАВУНІВ»**

**ПЛАН**

1. Класифікація сталей.
2. Маркування вуглецевих сталей.
3. Класифікація чавунів.
4. Будова, властивості, класифікація і маркування чавунів.

**1.**

Сталі є найпоширенішими матеріалами. Мають хороші технологічні властивості. Вироби одержують у результаті обробки тиском і різанням.

Перевагою є можливість одержувати потрібний комплекс властивостей, змінюючи склад і вид обробки.

Сталі класифікуються за безліччю ознак.

1 За хімічним складом: ***вуглецеві*** й ***леговані***.

2 За вмістом вуглецю:

* низьковуглецеві, із вмістом вуглецю до 0,25 %;
* середньовуглецеві, із вмістом вуглецю 0,3...,6 %;
* високовуглецеві, із вмістом вуглецю вище 0,7 %.

3 За зрівноваженою структурою: ***доевтектичні, евтектичні, заевтектичні***.

4 За якістю. Кількісним показником якості є вміст шкідливих домішок: сірки й фосфору:

* **0,04 ≤ S ≤ 0,06 %, 0,04 ≤ P ≤ 0,08 %** - ***вуглецеві сталі звичайної якості***:
* **P, S = 0,03…0,04 %** - ***якісні сталі***;
* **P, S ≤ 0,03 %** - ***високоякісні сталі***.

5 За способом виплавки:

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

6 За призначенням:

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

**2.**

Прийнято буквено-цифрове позначення сталей.

***Вуглецеві сталі звичайної якості***

Сталі містять підвищену кількість сірки й фосфору.

***Маркуються Ст.2кп., БСт.3кп, ВСт.3пс, ВСт.4сп.***

Ст – індекс даної групи сталі. Цифри від 0 до 6 - це умовний номер марки сталі. Зі збільшенням номера марки зростає міцність і знижується пластичність сталі. За гарантіями при поставці існує три групи сталей: А, Б і В. Для сталей групи А при поставці гарантуються механічні властивості, у позначенні індекс групи А не вказується. Для сталей групи Б гарантується хімічний склад. Для сталей групи В при поставці гарантуються й механічні властивості, і хімічний склад.

Індекси ***кп, пс, сп*** вказують ступінь розкислення сталі: кп - кипляча, пс - напівспокійна, сп - спокійна.

Коли в сталі підвищений вміст марганцю, то ставиться буква ***Г***. (марганець вводиться для нейтралізації сірки).

***Ст.5Гсп*** – арматурна сталь, невідповідального призначення, використовується для зварних конструкцій.

Тільки зі сталі Ст.6 рідко зі Ст. 5 виробляють шестірні, осі, але не навантажені.

Із сталей звичайної якості виготовляють: кутики, прутки, труби, листи.

***Якісні вуглецеві сталі***

Якісні сталі поставляють із гарантованими механічними властивостями й хімічним складом (група В). Ступінь розкислення, в основному, спокійний.

***Конструкційні якісні вуглецеві сталі***. Маркуються двозначним числом, що вказує середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Вказується ступінь розкислення, якщо він відрізняється від спокійного.

Це основні сталі для машинобудування. До них висуваються більш високі вимоги за однорідністю структури: ***S ≤ 0,04%.***

Сталь 05, 08, 10, 15…85

(0,05 % С) (0,85 % С)

Цифри вказують вміст вуглецю у сотих частках:

а) низьковуглецеві якісні сталі до (0,3 % С).

Сталь 15, 20, 25.

Усі сталі до 20 можуть бути ***кп, пс, сп***. Починаючи із сталі 20, всі спокійні, повністю розкислені.

Застосовують для відповідальних зварних конструкцій, зубчастих кілець, шестірен, шарових пальців.

б) середньовуглецеві якісні сталі (0,3-0,5 % С).

Для виготовлення різноманітних деталей транспортного машинобудування.

***Сталь 45*** – розподільні вали, циліндри, ролики, втулки та інші деталі з підвищеною твердістю;

в) сталі з підвищеним вмістом вуглецю (0,6-0,8 %С)

Сталі 60…85 мають високі показники твердості та міцності, а також хороші пружні властивості. Ці сталі мають назву ресорно-пружинні. У них підвищений вміст вуглецю. Наприклад: ***Сталь 65 Г***.

***Вуглецеві конструкційні сталі для залізничного транспорту***

Вуглецева сталь для мостобудування: М16С – для зварних мостових конструкцій, Ст3 – для клепаних мостів.

Сталі цих марок повинні мати високу ударну в’язкість.

Рейкова сталь повинна забезпечувати високу міцність у місці контакту рейки та коліс локомотивів і вагонів, мати високу зносостійкість, щільну макроструктуру, не мати дефектів.Компонентами залізовуглецевих сплавів є залізо, вуглець і цементит.

ТО: об’ємне гартування +високий відпуск

Р50, М75, М60 - цифри – вага 1 м. ↓Р =1000 кг (0,69 – 0,82 % С)

σв = 800 МПа; НВ= 360 МПа; δ = 4%.

Сталь для *осей локомотивів* та *вагонів*. За складом близька до сталі 40 (після нормалізації). Шийки осей зміцнюються наклепом.

σв = 560 МПа; δ = 19 %.

Сталь для суцільнокатаних коліс вагонів. За складом близька до сталі 55 і 60.

σв = 820 МПа; НВ= 235 МПа; δ = 10%

***Автоматні сталі***: сталі з підвищеною оброблюваністю різанням. Вони призначені для обробки на верстатах автоматах.

Основні вимоги: стружка повинна бути крихкою, легко сколюватися та не забивати інструмент. Для забезпечення при різанні крихкої стружки - в цих сталях підвищений вміст сірки та фосфору.

S ≤ 0,1-0,3; Р ≈ 0,15 – 0,2

Сталь А12; А20; А30; А40, А60

А – автоматна; 60 – 0,6 % С.

Частково сірку нейтралізує марганець А30Г.

Для підвищення пластичності іноді додають свинець ≈ 0,3 % Sb (АС30).

Для підвищення пластичності іноді додають свинець ≈ 0,3 % Sb (АС30).

Часто використовують сталі з кальцієм 0,1-0,2 % Са (АЦ30; АЦ40). Кальцій підвищує стійкість інструменту на 20-25 %.

У 2-7 разів підвищує стійкість і селен (АЕ40), – але його рідко використовують.

Із автоматних сталей виготовляють ***болти, гайки, шайби***.

***Вуглецеві інструментальні сталі. Заевтектоїдні сталі (> 0,7 % С).***

*Інструментальні якісні вуглецеві сталі* маркуються буквою ***У*** (вуглецева інструментальна сталь) і числом, що вказує вміст вуглецю в десятих частках відсотка.

У7…У13

У – якісні інструментальні сталі; 13 – 1,3 % С.

*Інструментальні високоякісні вуглецеві сталі*. Маркуються аналогічно якісним інструментальним вуглецевим сталям, тільки вкінці марки ставлять букву А - для позначення високої якості сталі.

У7А…У13А

А – високоякісні , тобто зі зниженим вмістом сірки та фосфору S, Р ≤ 0,025 %.

Можливий підвищений вміст марганцю У12Г.

Сталі призначені для столярного та слюсарного інструменту, при нагріванні до 2000С вони втрачають свою твердість.

У7; У8 – сталі з підвищеною в’язкістю, з яких виготовляють зубила, молотки, викрутки; У9-У12 – мітчики, свердла, напилки.

У13 - бритви, коси, калібри, ножівки.

**3.**

Чавун відрізняється від сталі: за складом - більш високий вміст вуглецю й домішок; за технологічними властивостями - більш високі ливарні властивості, мала здатність до пластичної деформації, майже не використовується у зварних конструкціях.

Залежно від стану вуглецю в чавуні розрізняють:

* білий чавун - вуглець у зв'язаному стані у вигляді цементиту, у зламі має білий колір й металевий блиск;
* сірий чавун – весь вуглець або більша частина знаходиться у вільному стані у вигляді графіту, а у зв'язаному стані знаходиться не більше 0,8 % вуглецю. Через велику кількість графіту його злам має сірий колір;
* половинчастий – частина вуглецю знаходиться у вільному стані у формі графіту, але не менш 2 % вуглецю знаходиться у формі цементиту. Мало використовується в техніці.

**4**

Розглянувши структури чавунів, можна зробити висновки, що їх металева основа схожа на структуру евтектоїдної або доевтектоїдної сталі або технічного заліза. Вони відрізняються від сталі тільки наявністю графітових включень, що визначають спеціальні властивості чавунів.

Залежно від форми графіту й умов його утворення розрізняють такі групи чавунів: ***сірий*** – із пластинчастим графітом; ***високоміцний*** – з кулястим графітом; ***ковкий*** – із пластинчастим графітом.

Схеми мікроструктур чавуну залежно від металевої основи й форми графітових включень подані на рисунку 6.1.

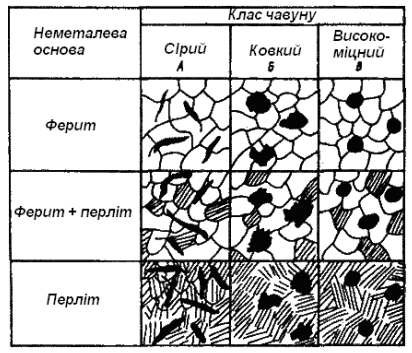


Рисунок 6.1 - Схеми мікроструктур чавуну залежно від металевої основи й форми графітових включень

Найбільш значне поширення одержали чавуни з вмістом вуглецю 2,4...3,8 %. Чим вищий вміст вуглецю, тим більше утвориться графіту й тим нижчі його механічні властивості, отже, кількість вуглецю не повинна перевищувати 3,8 %. У той же час для забезпечення високих ливарних властивостей (хорошої рідкотекучості) вуглецю повинно бути не менш 2,4 %.

***Сірий чавун***

Структура не впливає на пластичність, вона залишається надзвичайно низькою, але впливає на твердість. Механічна міцність в основному визначається кількістю, формою й розмірами включень графіту. Дрібні, завихреної форми лусочки графіту менше знижують міцність. Така форма досягається шляхом модифікування. Як модифікатори застосовують алюміній, силікокальцій, феросиліцій.

Сірий чавун широко застосовується в машинобудуванні, так як легко обробляється і має хороші властивості.

Залежно від міцності сірий чавун підрозділяють на 10 марок.

Сірі чавуни при малому опорі розтягненню мають досить високий опір стисненню.

Сірі чавуни містять вуглецю – 3,2…3,5 %; кремнію – 1,9… 2,5 %; марганцю –0,5…0,8 %; фосфору – 0,1…0,3 %; сірки – < 0,12 %.

Структура металевої основи залежить від кількості вуглецю і кремнію. Зі збільшенням вмісту вуглецю й кремнію збільшується ступінь графітизації й схильність до утворення феритової структури металевої основи. Це веде до знеміцнення чавуну без підвищення пластичності. Кращі властивості (міцність і зносостійкість) мають перлітні сірі чавуни.

З погляду на малий опір виливків із сірого чавуну розтягуючим і ударним навантаженням варто використовувати цей матеріал для деталей, які піддаються стискаючим або згинаючим навантаженням. У верстатобудуванні це - базові, корпусні деталі, кронштейни, зубчасті колеса, напрямні; в автобудуванні - блоки циліндрів, поршневі кільця, розподільні вали, диски зчеплення. Відливки із сірого чавуну також використовуються в електромашинобудуванні, для виготовлення товарів народного споживання.

Позначаються індексом СЧ (сірий чавун) і числом, що показує значення межі міцності, помножене на 10-1 СЧ 15.

Сч 18: 180 - σв=180 МПа (тимчасовий опір).

СЧ 25 – для гальмівних барабанів, Сч 15 – для маховиків.

***Високоміцний чавун з кулястим графітом***

Високоміцні чавуни можуть мати феритну (ВЧ 35), феритноперлітну (ВЧ45) і перлітну (ВЧ 80) металеві основи. Одержують ці чавуни із сірих, у результаті модифікування магнієм або церієм (додається 0,03...0…0,07 % від маси відливка). У порівнянні із сірими чавунами, механічні властивості цих чавунів підвищуються, що викликано відсутністю нерівномірності в розподілі напруг через кулясту форму графіту.

Чавуни з перлітною металевою основою мають високі показники міцності при меншому значенні пластичності. Співвідношення пластичності й міцності феритних чавунів - зворотне.

Високоміцні чавуни мають високу межу текучості, σт=300… 420 МПа, що вище межі текучості сталевих виливків. Також характерна досить висока ударна в'язкість і втомна міцність, σ-1=230…250 МПа , при перлітній основі.

Високоміцні чавуни містять: вуглецю – 3,2...3,8 %, кремнію – 1,9…2,6 %, марганцю – 0,6…0,8 %, фосфору – до 0,12 %, сірки – до 0,3 %.

Ці чавуни мають високу рідкотекучість, лінійна усадка - близько 1 %. Ливарні напруги у відливках трохи вищі, ніж для сірого чавуну. Через високий модуль пружності досить висока оброблюваність різанням. Мають задовільну зварюваність.

З високоміцного чавуну виготовляють тонкостінні відливки (поршневі кільця), шаботи кувальних молотів, станини й рами пресів і прокатних станів, виливниці, різцеутримувачі, планшайби.

Виливки колінчатих валів масою до 2…3 т, замість кованих валів зі сталі, мають більш високу циклічну в'язкість, малочутливі до зовнішніх концентраторів напруги, мають кращі антифрикційні властивості й значно дешевші.

Позначаються індексом ВЧ (високоміцний чавун) і числом, що показує значення межі міцності, помножене на 10-1 ВЧ 100.

Вч 50 - 4 (σв=500 МПа; δ - 4%)

Вч 50 – 4-гальмівні деталі; Вч 60 – 3-колінчасті вали тепловозних дизелів, поршні, шестірні.

***Ковкий чавун***

Одержують відпалом білого доевтектичного чавуну.

Хороші властивості у виливків забезпечуються, якщо в процесі кристалізації й охолодження виливків у формі не відбувається процес графітизації. Щоб запобігти графітизації, чавуни повинні мати знижений вміст вуглецю й кремнію.

Ковкі чавуни містять: вуглецю – 2,4...3…3,0 %, кремнію – 0,8...1…1,4 %, марганцю – 0,3...1…1,0 %, фосфору – до 0,2 %, сірки – до 0,1 %.

Формування остаточної структури і властивостей виливків відбувається в процесі відпалу, схема якого подана на рисунку 6.2.

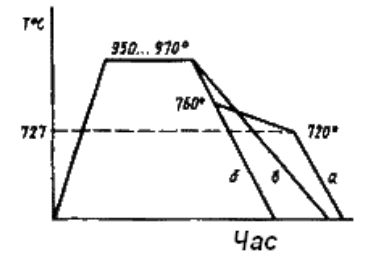


Рисунок 6.2 - Відпал ковкого чавуну.

Відливки витримуються в печі при температурі 950…1000 С протягом 15…20 год. Відбувається розкладання цементиту:

Fe3C→Feγ(C)+C.

Структура після витримки складається з аустеніту й графіту (вуглець відпалу). При повільному охолодженні в інтервалі 760… 720 0С відбувається розкладання цементиту, що входить до складу перліту, і структура після відпалу складається з фериту й вуглецю відпалу (виходить феритний ковкий чавун).

При відносно швидкому охолодженні (режим б, рисунок 6.2) друга стадія повністю усувається, і одержується перлітний ковкий чавун.

Структура чавуну, відпаленого за режимом в, складається з перліту, відпалу й графіту відпалу (виходить феритно-перлітний ковкий чавун)

Відпал є тривалою 70…80-годинною і дорогою операцією. Останнім часом, у результаті вдосконалень, тривалість скоротилася до 40 годин.

Розрізняють 7 марок ковкого чавуну: три з феритною (КЧ 30 - 6) і чотири з перлітною (КЧ 65 - 3) основою.

За механічними і технологічними властивостями ковкий чавун посідає проміжне положення між сірим чавуном і сталлю. Недоліком ковкого чавуну в порівнянні з високоміцним є обмеження товщини стінок для відливки й необхідність відпалу.

Відливки з ковкого чавуну застосовують для деталей, що працюють при ударних і вібраційних навантаженнях.

З феритних чавунів виготовляють ***картери редукторів, маточини, гаки, скоби, хомутики, муфти, фланці.***

З перлітних чавунів, що характеризуються високою міцністю, достатньою пластичністю, виготовляють вилки карданних валів, ланки й ролики ланцюгів конвеєра, гальмові колодки.

Позначаються індексом КЧ (високоміцний чавун) і двома числами, перше з яких показує значення межі міцності, помножене на , а друге - відносне подовження - КЧ 30 – 6 - Виготовляють голівки гальмових рукавів, кришки букс локомотивів та вагонів. Застосовується в дизеле-тракторобудуванні для колінчастих валів, поршнів та інших деталей, що працюють в умовах зносу.

***Відбілені та інші чавуни***

Відбілені чавуни - відливки, поверхня яких складається з білого чавуну, а всередині сірий або високоміцний чавун.

У складі чавуну 2,8…3,6 % вуглецю, і знижений вміст кремнію – 0,5…0,8 %.

Мають високу поверхневу твердість (950…1000 НВ) і дуже високу зносостійкість. Використовуються для виготовлення прокатних валів, вагонних коліс із відбіленим ободом, куль для кульових млинів.

Для виготовлення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування, використовуються білі чавуни, леговані хромом, хромом і марганцем, хромом і нікелем. Відливки з такого чавуну відзначаються високою твердістю й зносостійкістю.

Для деталей, що працюють в умовах зношування при високих температурах, використовують високохромисті й хромонікелеві чавуни. Жаростійкість досягається легуванням чавунів кремнієм (5…6 %) і алюмінієм (1…2 %). Корозійна стійкість збільшується легуванням хромом, нікелем, кремнієм.

Для чавунів можна застосовувати термічну обробку.

**Контрольні запитання**

1. За якими признаками класифікують вуглецеві сталі? Наведіть приклади.
2. Наведіть приклад маркування вуглецевої сталі звичайної якості. Розшифруйте його.
3. Наведіть приклад маркування якісної вуглецевої сталі. Розшифруйте його.
4. Які вуглецеві сталі відносять до низьковуглецевих? Наведіть марки цих сталей та розшифруйте їх..
5. Наведіть марки середньовуглецевих сталей і приклади їх застосування..
6. Які особливості мають сталі з підвищеним вмістом вуглецю? Напишіть марку такої сталі..
7. Які визнаєте марки сталей, що використовуються для залізничного транспорту?опишіть особливі вимоги, що ставляться до цих матеріалів..
8. Для чого використовують автоматні сталі? Назвіть марки цих сталей. Особливості хімічного складу.
9. Як маркуються та для чого використовують вулецеві інструментальні сталі?.
10. Як класифікують чавуни?
11. Опишіть будову і властивості чавунів.
12. Як маркують чавуни? Наведіть приклади маркування сірих, високоміцних та ковких чавунів. Дайте їм роз шифровку.

**Список літератури**

1. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів. – Київ: Кондор, 2006. – 528 с.
2. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. – Київ: «Либідь», 2002. – 326 с.

**Лекція №7**

**ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА**

**Змістовний модуль 2. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

**Тема 4. ЛЕГОВАНІ СТАЛІ**

**План лекції**

* 1. Вплив легуючих елементів на структуру і властивості легованої сталі.
  2. Маркування легованих сталей.
  3. Класифікація легованих сталей.
     1. Конструкційні сталі.
     2. Інструментальні сталі.
     3. Сталі і сплави з особливими властивостями.

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЇ**

***Легованими*** (від латинського слова «legos» - складний) називаються сталі, в складі яких містяться спеціально введені (легуючі) елементи, що змінюють їх механічні і фізико-хімічні властивості. До таких елементів належать: хром, нікель, вольфрам, молібден, ванадій, кобальт, титан, алюміній, мідь, ніобій, бор та ін. Марганець в кількості понад 1% і кремній — понад 0,5% також є легуючими елементами.

***Вплив легуючих елементів на структуру і властивості легованої сталі***

Властивості легованих сталей визначаються кількістю введених ле­гуючих елементів і характером їх взаємодії з основними компонентами — залізом і вуглецем.

За цією ознакою легуючі елементи можна поділити на дві групи:

1. елементи, які не утворюють карбідів (Nі, Со, Sі, А1);
2. карбідоутворюючі елементи (Сг, Мn, Мо, W, V, Ті, *Zr,* N6).

Елементи першої групи утворюють з залізом тверді розчини, при цьому нікель і кобальт мають необмежену розчинність у залізі при будь- яких температурах. У відпалених сталях елементи цієї групи розчинені у фериті, а в загартованих — у мартенситі або в аустеніті. Тому виявити їх наявність у сталях за допомогою мікроскопічного аналізу немає можливості.

Взаємодія елементів другої групи з компонентами сталі і їх розподіл у структурі складніша і залежить від вмісту вуглецю. При порівняно невеликому його вмісті частина карбідоутворюючих елементів перебуває в твердому розчині. Якщо ж у сталі міститься велика кількість вуглецю і мало карбідоутворюючих елементів, то вони в основному будуть у вигляді карбідів. При невеликій кількості (менше 5%) карбідоутворюючі елементи мало змінюють структуру сталі і при мікроскопічному аналізі майже не виявляються.

Істотно впливають легуючі елементи на поліморфні перетворення заліза. Одні з них (Nі, Со, Мn) знижують критичні точки ***А3***і підвищують ***A4***; інші — Сг, Sі, Мо, W, V, Ті — навпаки, підвищують точки ***А3*** і знижують ***А4****.*

Легуючі елементи, які розчиняються у фериті, впливають на алотропні перетворення заліза, підвищуючи або знижуючи критичні точки А3 і А4 (рис. 1), таким чином розширюючи або звужуючи зони існування аустеніту і фериту. Зокрема, Mn, Ni, Pt знижують критичну точку А3 і підвищують точку А4, розширюючи γ-зону від кімнатної до температури плавлення за певної масової частки цих елементів у сталі (рис. 1, а). Такі сталі називають ***аустенітними***. Сталі цього класу містять до 20…30% легуючих елементів. Це зносостійкі, немагнітні, деякі види нержавіючих, жаростійких сталей (110ГІЗЛ, 08Х18Н10Т, 03Х13АГ19, 08Х23Н18).

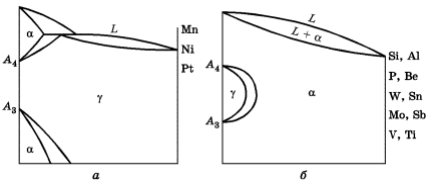


Рис. 1. Вплив легуючих елементів на фазові перетворення сталей:

а — аустенітних; б — феритних

Усі інші елементи Si, Al, P, Be, W, Sn, Mo, Sb, V, Ti, навпаки, знижують критичну точку А4 і підвищують точку А3, розширюючи α-зону (рис. 1, б). Сталі такої структури називають ***феритними***.

Ці сталі не загартовуються, оскільки при нагріванні й охолодженні не відбувається перетворення α ↔ γ. Це сталі марок 12Х17, 08Х17Т, 15Х25Т, 15Х28. Вони є корозійностійкими. У відпаленому стані структура цих сталей складається з легованого фериту і невеликої кількості карбідів.

Наявність легуючих елементів приводить до ряду змін у перетво­реннях, що відбуваються при нагріванні та охолодженні. Майже всі елементи, особливо карбідоутворюючі, зменшують схильність аусте­нітного зерна до росту при нагріванні.

Особливої уваги заслуговує вплив легуючих елементів на процес ізотермічного перетворення аустеніту. Всі елементи, крім кобальту, уповільнюють цей процес, тобто підвищують стійкість переохолодженого аустеніту (зсувають С-подібні криві на діаграмі ізотермічного пе­ретворення вправо) і тим самим зменшують критичну швидкість охо­лодження при гартуванні. Це має велике практичне значення, тому що дає змогу застосовувати при загартуванні менш інтенсивні охолоджувачі. У зв’язку з цим леговані сталі при гартуванні охолоджують у маслі, а деякі — навіть на повітрі.

В свою чергу підвищення стійкості аустеніту і зменшення критичної швидкості гартування сприяють підвищенню прогартовуваності сталі. Підвищена прогартовуваність є однією з головних переваг легованої сталі перед звичайною вуглецевою.

Багато з легуючих елементів (Мп, Сг, Ni і ін.) знижують температуру початку мартенситного перетворення, тобто точку *Мн.* Якщо ця температура знижується до нуля (наприклад при 5% Мn), то при загартуванні аустеніт не розпадається і зберігається в сталі при кімнатній температурі

На перетворення загартованої сталі впливають головним чином кар- бідоутворюючі елементи. Леговані карбіди починають виділятися в структурі при більш високих температурах (450—550° С), ніж цементит у вуглецевих сталях (200—250° С). Крім того, леговані карбіди мають високу дисперсність і малу схильність до росту (коагуляції). Тому зниження твердості і міцності загартованої сталі з такими карбідами при нагріванні уповільнюється і стає помітним лише при температурах 650—700°С, що сприяє підвищенню теплостійкості сталі.

***Маркування легованих сталей***

Леговані сталі маркують літерами, що вказують на вид легуючих елементів та цифрами, які визначають їх кількість у сплаві. При цьому цифра, що стоїть на початок марки легованої сталі вказує на вміст вуглецю у сплаві у сотих частках відсотка для конструкційних і в десятих частках відсотка – для інструментальних сталей.

Цифри, що стоять після літер, вказують на вміст даного легуючого елементу в сплаві в цілих частках відсотка. Якщо після літери цифра відсутня, то вміст цього легуючого елементу в сплаві становить 1%, або навіть менше.

Позначення легуючих елементів в марках сталі:

А-азот (N2), Б-ніобій (Nb), В-вольфрам (W), Г-марганець (Mn), Д – мідь (Cu), Є-селен (Se), К-кобальт (Co), Л-берилій (Be), М-молібден (Mo), Н- нікель (Ni), П – фосфор (P), Р- бор (B), С-кремній (Si), Т- титан (Ti), Х- хром (Cr), Ф- ванадій (V), Ц- цирконій (Zr), Ю- алюміній (Al), Ч- рідкоземельні метали (РЗМ).

Цифри в марках сталі вказують на вміст вуглецю і легуючих еле­ментів. Перші дві цифри на початку марки показують середній вміст ьуглецю в сотих частках процента. Цифри, які стоять після букви, показують середній вміст легуючого елемента, що позначається цією буквою, в процентах. Якщо легуючого елемента міститься близько 1 %, то цифри не ставляться. Буква А в кінці марки вказує, що дана сталь належить до високоякісних, тобто містить в собі мінімальну кількість шкідливих домішок (сірки і фосфору). Наприклад, марка ***40ХН2МА*** позначає сталь з середнім вмістом 0,40%С, 1%Сг, 2% №, 1%Мо; ця сталь високоякісна, адже в кінці марки поставлена буква А.

Конструкційна сталь ***12ХНЗА***. Цифра, що стоїть на початок марки сталі, вказує на вміст вуглецю в сплаві, який становить 0,12%. Літери «Х» і «Н» вказують на те, що сталь легована хромом (в межах 1%) та нікелем (цифра 3 вказує на те, що нікелю в сталі 3%) і носить назву хромонікелевої.

При маркуванні інструментальних і деяких інших сталей іноді від­ходять від розглянутої системи позначень. Так, наприклад, марка ***4Х9С2*** означає жароміцну сталь з 0,40%, а не з 0,04 %С. У високовуглецевих інструментальних сталях цифри, які вказують вміст вуглецю, взагалі опускаються, наприклад, марка Х12М означає сталь з вмістом 1,45—1,70%С, близько 12%Сг і 0,5 %Мо. Інструментальна сталь ***9ХС*** - містить С=0,9%, Сr≈1% та Si≈1%.

Деякі леговані сталі виділені в окремі групи і позначаються бук­вами: Ш — шарикопідшипникові, Р — швидкорізальні, Є — магнітні, Е — електротехнічні.

Дослідні сталі, що виплавлялися на заводі «Электросталь», по­значалися буквами ЭИ і числом — номером сталі (наприклад, ЭИ 756).

***Класифікація легованих сталей***

Конструкційні леговані сталі класифікують за ***складом, структурою і призначенням.***

***За складом*** вони поділяються на ***низьколеговані***, ***середньолеговані*** і ***високолеговані***. У низьколегованих сталях сумарний вміст легуючих елементів не перевищує 2,5%, у середньолегованих становить від 2,5 до 10% і у високолегованих — понад 10%.

***За структурою*** леговані сталі поділяють на класи залежно від того, яка утворюється в них структура після нормалізації зразків діаметром 25 *мм.* Розрізняють сталі ***перлітного, мартенситного і аустенітного*** класів.

До ***перлітного*** класу належать сталі з вмістом легуючих елементів до 5%; після нормалізації вони мають структуру перліту (сорбіту, і трооститу). До ***мартенситного*** класу — сталі з вмістом легуючих еле­ментів понад 5%; після нормалізації вони мають мартенситну структуру. і, нарешті, до ***аустенітного*** класу — сталі з вмістом легуючих елементів у кількості до 10—30%, в яких при охолодженні на повітрі аустеніт не зазнає перетворень і зберігається при кімнатній температурі.

Сталі з великим вмістом вуглецю і карбідоутворюючих елементів, у структурі яких поряд з основою (перліт, мартенсит, аустеніт) є значна кількість карбідів, виділяють в ***карбідний клас***.

***За призначенням*** леговані сталі поділяють на ***конструкційні***, ***ін­струментальні*** і ***сталі з особливими властивостями***.

***Конструкційні сталі***

До конструкційних належать низько- і середиьолеговані сталі. Як легуючі елементи в них присутні ***хром, марганець, кремній, нікель і рідше — вольфрам, молібден, ванадій і бор.*** Для значної зміни властивостей ці сталі легують одночасно кількома елементами, наприклад, хромом і нікелем; хромом, марганцем і кремнієм; хромом,нікелем і вольфрамом і т. д.

У конструкційних сталях зазвичай міститься хрому до 2,5%, марганцю до 1,5%. кремнію до 1%. В таких кількостях ці елементи підвищують міцність, твердість і прогартовуваність сталі.

Нікель вводять у конструкційну сталь головним чином для підви­щення її прогартовуваності і ударної в’язкості.

Вольфрам, молібден і ванадій використовують частіше у хромоні­келевих сталях як додаткові легуючі елементи для підвищення їх міцності і твердості, а ванадій — пружності при підвищених температурах.

У загальному машинобудуванні найбільш широкого застосування набули такі конструкційні сталі.

*Марганцевисті маловуглецеві сталі* з вмістом марганцю до 2% (15Г, 20Г, 30Г2) легко обробляються тиском і різанням, добре зварюються, після цементації мають більш в’язку і міцну серцевину, ніж вуглецеві сталі. Марганцевисті сталі застосовують для виготовлення зварних конструкцій, а також виробів, які піддаються цементації.

*Кремнисті сталі* з вмістом 1,5—2% Sі (55С2, 60С2) після термічної обробки мають високу твердість і пружність; в основному вони призна­чені для виготовлення ресор і пружин.

*Хромисті сталі* 15Х, 20Х застосовують для виготовлення деталей, що цементуються і працюють при терті і вимагають підвищеної міцності і в’язкості серцевини. Сталі 30Х і 40Х застосовують для деталей, що загартовуються (валів, осей, шестерень).

Хромисті сталі з вмістом 0,9—1,1 %С і 0,8—1,6% Сг (наприклад, ШХ9, ШХ15) мають високу твердість і зносостійкість, їх застосовують для виготовлення деталей шарико- і роликопідшипників.

*Хромонікелеві сталі* після термічної обробки набувають великої міцності, твердості, пружності у поєднанні з високою ударною в’язкістю. Сталі 12ХНЗА, 12ХН4А, 12Х2Н4А застосовують для виготовлення важконавантажених цементованих, а сталі 37XH3A, 40ХН — загартовуваних деталей (валів, зубчастих коліс, осей і т. п.).

*Хромомарганцевокремнисті сталі* 25ХГСА і 30ХГСА, які скороче­но називаються хромансиль, мають високу міцність і добру зварюваність. Вони є основним матеріалом для виготовлення відповідальних зварних конструкцій.

*Хромонікелевольфрамові* і *хромонікельмолібденові сталі* (30ХНВА, 40ХНМА і ін.) мають комплекс високих механічних властивостей, в тому числі велику в’язкість і міцність проти втомлюваності. їх застосовують для виготовлення відповідальних деталей, які працюють при великих навантаженнях і вібраціях.

***Інструментальні сталі***

Інструментальні сталіповинні мати високу твердість і зносостій­кість. Тому їх легують головним чином карбідоутворюючими елементами (Сг, W, Mn, Si, V).

Залежно від призначення інструментальні сталі поділяються на сталі для ***різального, штампового і вимірювального інструменту***.

Сталі для ***різального інструменту***, в свою чергу, поділяються на сталі, які зберігають твердість при нагріванні до температури 200—• 250°С, і сталі, що зберігають твердість при нагріванні до 600—650°С; останні називають *швидкорізальними.*

Сталі з теплостійкістю до 200—250°С застосовують для виготовлен­ня інструментів, які в процесі роботи не розігріваються вище вказаних температур, наприклад свердел, мітчиків, плашок, розверток, зенкерів, напилків і т. п. До них належать сталі марок: X (1 %С, 1,4%Сг), 9ХС (0,9%С, 1,1 %Сг, l,3%Si), ХВГ (1 %С, 1,3%W, 1%Мп), ХВ5 (1,3%С, 0,6%Сг, 5%W, 0,2%V).

Швидкорізальні сталі належать до високолегованих, вони зберіга­ють твердість, міцність і зносостійкість при нагріванні до температури 600—650° С.

Найбільш поширена швидкорізальна сталь Р18 складається з 0,6%С, 4%Cr, 18%W і 1,2%V. Поряд з цими елементами швидкорізальні сталі, що використовуються для виготовлення інструментів, які працюють у більш важких умовах, легують кобальтом (Р18К40) і ванадієм(Р18Ф2), а також обома цими елементами разом (Р18К5Ф2).

Структура швидкорізальних сталей у відпаленому стані складається з легованого фериту і великої кількості (до 25%) карбідів. Для надання сталі з такою структурою найкращих ріжучих властивостей необхідно перевести максимальну кількість легуючих елементів з карбідів у металеву основу, тобто в твердий розчин. Цього досягають гартуванням від високих (1200—1300° С) температур. Після загартування структура швидкорізальних сталей складається з мартенситу і залишкового аустеніту (близько 30%). За допомогою наступного дво- або триразового відпускання при температурі 560° С вдається зменшити вміст залишкового аустеніту і тим самим трохи підвищити твердість сталі.

Для виготовлення штампів, які деформують метал у холодному ста­ні, застосовують сталі з високою твердістю, міцністю, а також високим опором пластичній деформації і зношенню. Сталі 4ХС, 4ХВ2С, Х12Мта ін., що застосовуються для виготовлення штампів, які працюють при великих ударних навантаженнях, крім того, повинні мати ще і достатню в’язкість.

До сталей, які застосовуються для виготовлення штампів, що при­значені для гарячого деформування металів, ставляться більш високі вимоги. Крім значної твердості й міцності, вони повинні мати підвищену теплостійкість і теплопровідність, добру жаро- і термостійкість.

Кувальні штампи виготовляють із сталей, легованих хромом, ні­келем, кремнієм, вольфрамом (наприклад, 5ХНМ, 5ХНВ).

Штампи для гарячої висадки і пресування нагріваються в роботі до більш високих температур, ніж кувальні. Тому для їх виготовлення застосовують високовольфрамові сталі, а також сталі, додатково лего­вані молібденом, ванадієм і кремнієм (наприклад, ЗХ2В8, 5Х4СВ4МФ).

Сталі, що застосовуються для виготовлення вимірювального ін­струменту, повинні мати високу зносостійкість, здатність тривалий час зберігати задані розміри і мати невеликий коефіцієнт лінійного розши­рення. Цим вимогам задовольняють сталі марок X і ХГ.

***Сталі і сплави з особливими властивостями***

До цієї групи належать сталі і сплави, які мають особливі хімічні або фізичні властивості, їх поділяють на ***нержавіюч***і, ***жароміцні, жаростійкі***, ***магнітні***, з ***високим електроопором і особливими тепловими властивостями.***

*Нержавіючі сталі* мають високу корозійну стійкість у хімічно активних газових і рідких середовищах. Висока корозійна стійкість цих сталей забезпечується великим вмістом хрому і нікелю, які утворюють на поверхні щільні захисні плівки окислів.

Нержавіючі сталі поділяють на хромисті і хромонікелеві.

Хромисті нержавіючі сталі (2X13, 3X13, 4X13 і ін.) призначені для виготовлення виробів, які піддаються термічній обробці з метою під­вищення міцності і твердості. З них виготовляють штоки, вали, осі, клапани, пружини і інші деталі хімічного устаткування.

Хромонікелеві нержавіючі сталі (1Х18Н9Т, Х16Н15МЗБ і ін.) додатково легують титаном, молібденом, ніобієм і деякими іншими еле­ментами. Ці сталі мають високі пластичні властивості.їх звичайно за­стосовують у вигляді листів і труб для виготовлення апаратури, яка працює в контакті з водяною парою, кислотами і іншими хімічно ак­тивними середовищами. Хромонікелеві нержавіючі сталі добре штам­пуються і зварюються. Термічній обробці (загартуванню) їх піддають з метою одержання однорідної аустенітної структури, яка забезпечує високі пластичні властивості.

*Жароміцні і жаростійкі сталі і сплави.* Під жароміцністю розумі­ють здатність сплавів зберігати міцність, а під жаростійкістю — здатність чинити опір дії газової корозії при високих температурах.

Жароміцні сплави одночасно є і жаростійкими. До жаростійких сплавів вимога жароміцності не пред’являється, тому що вони призначені для роботи при невеликих навантаженнях.

Легуючими елементами в жароміцних сталях є хром, нікель, моліб­ден, вольфрам, ніобій, титан і бор (наприклад, сталь 1X14Н18В2БР1).

Жароміцні сталі застосовують для виготовлення деталей, які працю­ють тривалий час при температурах 600—750° С. Для роботи при тем­пературах до 1000° С використовуються складнолеговані сплави на основі нікелю (ХН77ТЮ, ХН70МВТЮБ і ін.).

Основними легуючими елементами в жаростійких сталях є хром, кремній і алюміній. При вмісті 10—13%Сг сталь жаростійка до темпе­ратури 750° С, при 15—17% Сг — до 800—900° С, а при 25% Сг — до 1000° С. У промисловості широко застосовують жаростійку сталь марок 1Х12СЮ, 1Х25Н25ТР та ін.

*Магнітні сплави* поділяються на дві групи: ***магнітнотверді і ма- гнітном’які.***

***Магнітнотверді*** сплави застосовують для виготовлення постійних магнітів. До них належать сталі, леговані хромом і кобальтом (ЕХЗ, ЕХ9К15М), а також спеціальні сплави на залізонікельалюмінієвій основі, що містять 27—32% Мі, 12—14% А1 і 4—12% Си. Особливо високу магнітну енергію мають сплави, до складу яких поряд з вказаними елементами входить кобальт (15—35%).

Магнітні сталі і сплави піддають загартуванню і відпусканню за спеціальними режимами.

Магнітні сплави застосовують для виготовлення осердь магнітних пристроїв (трансформаторів, реле).

Як ***магнітном’які*** використовують так звані електротехнічні кремнисті сталі з вмістом кремнію до 4%, а також спеціальні сплави: пермалой і альсифер. Пермалой являє собою сплав нікелю з залізом, іноді додатково легований молібденом, хромом і іншими елементами; альсифер — сплав алюмінію, кремнію і заліза.

Електротехнічну сталь і пермалой використовують у вигляді холод­нокатаних відпалених листів; альсифер — сплав ливарний.

*Сплавив з високим електроопором* застосовують для виготовлення електронагрівальних елементів лабораторних і промислових печей та інших пристроїв. Ці сплави працюють при температурах до 1300° С, тому поряд з високим електроопором вони повинні мати також велику жаростійкість. Цим вимогам задовольняють так звані фехралі — сталі, леговані 12—28% Сг і 3,5—5,8% А1 (Х13Ю4, 0Х27Ю5А), а також ніхроми — сплави хрому з нікелем (Х20Н80, Х20Н80ТЗ).

До *сплавів з особливими тепловими властивостями* належать залізонікелеві сплави:

1. інвар Н36 — сплав, який має в інтервалі температур від 50 до 100°С мінімальний коефіцієнт лінійного розширення, що мало змінюється; застосовується в приладобудуванні для виготовлення деталей, які повинні зберігати свої розміри при зміні температури;
2. елівар Х8Н36 — сплав, який має у великому інтервалі температур сталу пружність; застосовується для виготовлення пружин годинників і хронометрів, а також ряду деталей фізичних приладів;
3. платиніт Н42 — сплав з коефіцієнтом лінійного розширення, близьким до коефіцієнта розширення скла, добре спаюється з склом; застосовується замість платини для впаювання електродів в електро­вакуумні прилади.

***Контрольні запитання***

1. Які сталі називають легованими?

2. Класифікація легованих сталей за вмістом легуючих елементів, за структурою після відпалювання і нормалізації, за призначенням.

3. Як легуючі елементи впливають на фазові перетворення в сталях?

4. Розшифрувати марки сталей 45ХН, 60С2А, ШХ15СГ, 9ХС, Р6М5.

5. Якими елементами легують магнітом’які, магнітотверді сталі?

Джерела інформації

1. Руденко Л.Ф. Леговані сталі та сплави: навч. посіб. / Л.Ф. Руденко, Т.П. Говорун. – Суми: СумДУ, 2012. – 171 с.
2. 11. Лахтин Ю.М. Материаловедение/ Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева.– М.: Машиностроение, 1980. – 493с.

Інтернет джерела

1. <https://www.youtube.com/watch?v=SsJIbQw_pE4>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=IJYzhhk5vsU>

**Лекція №8**

**ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА**

**Змістовний модуль 2. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

**Тема 5. ТЕРМІЧНА І ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛІ**

**План лекції**

* 1. Загальні відомості про термічну обробку сталі.

5.1.1. Перетворення в сталях при нагріванні.

5.1.2. Перетворення в сталях при охолодженні.

5.2. Основні види термічної обробки.

5.2.1. Відпал.

5.2.2. Нормалізація.

5.2.3. Гартування.

5.2.4. Відпускання.

5.3. Хіміко – термічна обробка сталі.

5.3.1. Цементація.

5.3.2. Азотування.

5.3.3. Ціанування.

5.3.4. Дифузійна металізація.

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЇ**

***Термічною обробкою*** називається сукупність операцій нагрівання, видержки і наступного охолодження заготовок або готових виробів за певними режимами з метою зміни їх структури і надання їм необхідних властивостей (механічних, фізичних або хімічних).

В основі термічної обробки сталей лежать перетворення, що відбуваються в них при нагріванні і охолодженні.

***Перетворення в сталі при нагріванні***

З діаграми стану залізо - вуглець видно, що нагрівання сталі до температур нижче лінії *PSK* (точки *Ac1)* не супроводиться будь-якими фазовими перетвореннями. Ці перетворення починаються при переході через точку *Ас1,* коли перліт перетворюється на аустеніт.

Перетворення перліту в аустеніт є процесом кристалізаційного типу, тобто починається зародженням і дальшим ростом зерен аустеніту.

Як показано на рис. 7.1, утворення зерен аустеніту починається на границях феритних (світлі смуги) і цементитних (темні смуги) часточок перліту. В наступні моменти; відбувається ріст зерен аустеніту, що утворилися раніше, і зародження нових. Процес перетворення закінчується заповненням об’єму, що мав перлітну структуру, безліччю дрібних зерен аустеніту.

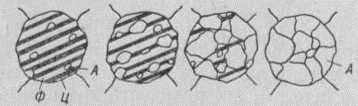


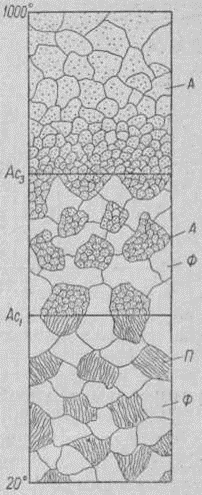
Рис. 7.7 Схема утворення аустенітних зерен

Процес перетворення закінчується заповненням об’єму, що мав перлітну структуру, безліччю дрібних зерен аустеніту.

При нагріванні вище точки *Ас1* в доевтектоїдній сталі ферит (рис. 7.2), а **в** заевтектоїдній — цементит розчинюється **в** аустеніті. В точці *Ас3* розчинення фериту, а в точці *Аст* — цементиту закін­чується. Вище цих точок сталь складається з одного аустеніту.

Дрібні зерна аустеніту, що утворилися спочатку, з підвищенням температури збільшуються в розмірах — ростуть. Особливо інтенсивний їх ріст при температурах вище точок *Ас3* і *Аст.* Явище надмірного укрупнення зерна в сталі називається *перегрівом.*

Нагрівання сталі до температур, близьких до лінії солідуса, супроводиться оплавленням й окисленням границь зерен, настає так званий *перепал.*

***Перетворення в сталі при охолодженні*** **

При дуже малих швидкостях охолодження сталі в ній утворюються рівноважні структури у відповідності з діаграмою залізо — вуглець. При цьому структура сталі зазнає ряду змін, що закінчуються перетворенням аустеніту в перліт.

Рис. 7.2

При повільному охолодженні аустенітно-перлітне перетворення відбувається при температурі 727° С (точка *АC1).* Воно починається на границях зерен аустеніту. При цьому утворюються зародки перліту у вигляді кількох пар пластин фериту і цементиту (рис. 7.3). При дальшому рості зародка (зерна) ці пластини довшають, паралельно їм виникають нові пари пластин.

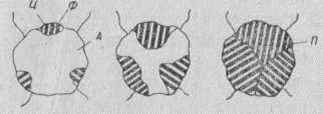


Рис. 7.3 Схема утворення зерен перліту

На кінець перетворення зерна перліту стикаються, зростаються, в результаті весь обсяг колишнього аустенітного зерна заповнюється по різному орієнтованими зернами перліту. Таким чином, аустенітно-перлітне перетворення також належить до процесів кристалізаційного типу.

Оскільки аустенітно-перлітне перетворення розвивається на поверхні зерен аустеніту, то збільшення її довжини приводить до підвищення швидкості зародження, тобто збільшення числа центрів кристалізації. Поверхня зерен у полікристалічній речовині збільшується з зменшенням розміру самих зерен. Тому, чим дрібніше зерно аустеніту в сталі в момент перетворення, тим менші за розміром утворюються з нього зерна перліту.

Ця особливість пояснює ряд явищ, що спостерігаються в структурі сталі при її нагріванні та охолодженні. Так, наприклад, якщо дрібнозернисту доевтектоїдну сталь нагріти і видержати при температурі, яка набагато перевищує точку *Ас3,* то внаслідок росту розміри зерен у ній збільшаться, станеться перегрів сталі. Після охолодження структура перегрітої сталі залишиться такою ж крупнозернистою (з крупних зерен аустеніту утворюються крупні зерна перліту). Сталь з такою структурою має низькі механічні властивості, особливо малу ударну в’язкість.

Зі збільшенням швидкості охолодження фазові і дифузійні процеси в сталі уповільнюються, тому процес аустенітного перетворення розвивається по іншому; в результаті утворюються нерівноважні (метастабільні) структури і сталь набуває вже інших властивостей.

Розглянемо процес перетворення аустеніту при різних швидкостях безперервного охолодження. Візьмемо вуглецеву сталь евтектоїдного складу.

При повільному охолодженні аустеніт у сталі зберігається до температури 727° С (точка *).*

Збільшення швидкості охолодження викликає зниження критичної точки тобто переохолодження аустеніту до температур нижче 727° С, які позначаються *.* Графік залежності положення критичної точки від швидкості охолодження наведений на рис. 7.4.

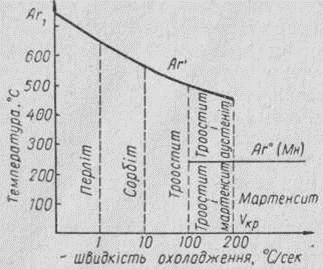


Рис. 7.4 Графік залежності положення критичних точок сталі від швидкості охолодження

При охолодженні з швидкістю до **1** *°С/сек* аустеніт переохолоджується незначно і розпадається з утворенням рівноважної перлітної структури твердістю близько 1500 *Мн/м*2 (НВ150).

Збільшення швидкості охолодження до 10 °*С/сек* приводить до більшого переохолодження аустеніту. За цих умов він розпадається з утворенням феритно-цементитної суміші, але більш дисперсної, ніж перліт. Така структура називається *сорбітом.* Сталь з структурою сорбіту має твердість 2500—3000 *Мн/м***2** *(НВ* 250—300).

При швидкості охолодження до 100 °С/сек аустеніт в результаті більш глибокого переохолодження розпадається з утворенням найдрібніших, невидимих у оптичний мікроскоп, часточок фериту і цементиту. Така структура називається *трооститом.* Твердість трооститу досягає 4000 *Мн/м***2** *(НВ* 400).

При дальшому збільшенні швидкості охолодження до 200°С/сек частина аустеніту в точці перетворюється на троостит, а частина переохолоджується до більш низької температури *Аr"(Мн)* і потім перетворюється на *мартенсит.* Тому структура сталі (рис. 7.5,а) після охолодження з такою швидкістю складається з трооститу (темні ділянки) і мартенситу (ділянки з характерною голчастою будовою).

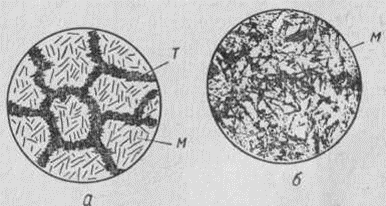


Рис. 7.5 Схема мікроструктур сталі: *а —* троостит + мартенсит;

б — мартенсит.

При швидкостях охолодження понад 200°*С/сек* аустеніт переохолоджується до точки *Аr" (Мн)* і потім повністю перетворюється на мартенсит (рис. 7.5,6). Як видно з рис. 7.4, температура мартенситного перетворення *Аr" (Мн)* не залежить від швидкості охолодження. Для евтектоїдної вуглецевої сталі вона становить 240° С.

Аустенітно-мартенситне перетворення супроводжується тільки перегрупуванням атомів з γ- в α-гратку. При цьому весь вуглець залишається в α-гратці, утворюючи пересичений твердий розчин в α-залізі — мартенсит. Внаслідок великого викривлення кристалічної гратки твердість мартенситу досягає 6000 *Мн/м2* (*НВ* 600).

Мінімальна швидкість охолодження, за якої в сталі відбувається лише мартенситне перетворення, називається *критичною швидкістю охолодження* .

Більш повне уявлення про кінетику розпаду аустеніту дає діаграма ізотермічного перетворення аустеніту, тобто перетворення при сталій температурі (рис. 7.6). Для її побудови серію зразків з досліджуваної сталі нагрівають вище точки для одержання однорідного аустеніту. Потім по два-три зразки з цієї серії охолоджують до заданих температур (наприклад у розплавлених солях) і за допомогою спеціальних методів визначають при цих температурах початок і кінець розпаду аустеніту в кожному з них. Позначивши одержані результати на полі діаграми і з’єднавши плавною кривою точки початку перетворення, а іншою кривою — точки закінчення перетворень, дістають дві С-подібні криві, які відображають початок і кінець ізотермічного перетворення аустеніту при різних температурах, тобто залежно від ступеня його переохолодження.

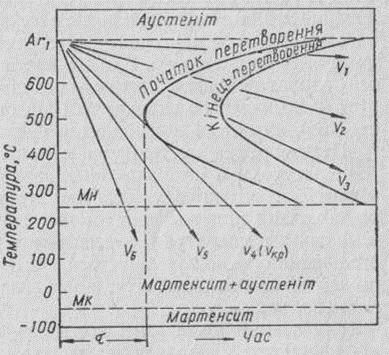


Рис. 7.6 Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту

Як видно з діаграми, перетворення переохолодженого аустеніту починається через деякий проміжок часу, так званий інкубаційний період. Цей період залежить від ступеня переохолодження аустеніту і спочатку зменшується до певної критичної величини ***τ***, а потім знову збільшується.

Діаграму ізотермічного перетворення Аустеніту будують у тих же координатах, що й криві охолодження. Якщо припустити, що зниження температури при охолодженні пропорціональне часу, то криві охолодження стають прямими і в такому вигляді можуть бути нанесені на діаграму ізотермічного перетворення аустеніту. Очевидно, що кут нахилу цих прямих до осі абсцис зі збільшенням швидкості охолодження також збільшуватиметься.

Отже, при швидкостях охолодження , коли прямі, що відповідають їм, перетинають верхні ділянки кривих початку і кінця аустенітного перетворення, в сталі утворюватимуться феритно- цементитні суміші (перліт, сорбіт, троостит).

При швидкості охолодження аустеніт переохолоджується без змін до температури точки *Мн* і потім перетворюється на мартенсит. Те ж саме відбувається і при дещо меншій швидкості . Очевидно також, що мінімальною швидкістю охолодження, яка забезпечує утворення в сталі тільки мартенситу, є швидкість *.* Отже, швидкість охолодження є критичною. З цього випливає, що чим далі (праворуч) від осі ординат розташовується на діаграмі крива початку розпаду аустеніту в сталі даного складу, тим він стійкіший, тим менша швидкість охолодження сталі потрібна для одержання мартенситної структури.

Перетворення аустеніту в мартенсит відбувається не при сталій температурі, а в інтервалі температур: починається в точці *Мн* і закінчується в точці *Мк.* Для евтектоїдної вуглецевої сталі точка *Мк* розташована при температурі мінус 50 °С. Тому при охолодженні до кімнатної температури аустенітно-мартенситне перетворення у цій сталі повністю не завершується і в її структурі поряд з мартенситом присутня частина аустеніту, що не розпався. Такий аустеніт називають *залишковим.*

Положення точок *Мн* і *Мк* визначається хімічним складом сталі і від швидкості охолодження не залежить.

Таким чином, структура сталі визначається не тільки хімічним складом, а й умовами нагрівання і охолодження, тобто режимами термічної обробки.

***Основні види термічної обробки сталі***

Залежно від режимів нагрівання і охолодження термічна обробка поділяється на такі основні види: *відпал, нормалізацію, гар­тування і відпускання.*

***Відпал***

Відпал — це операція, за якої сталь нагрівають вище критичних точок, видержують при цій температурі і потім повільно (зазвичай разом з піччю) охолоджують.

Залежно від призначення і температури нагріву відрізняють ***дифузійний, повний і неповний відпал*** (рис. 7.7).

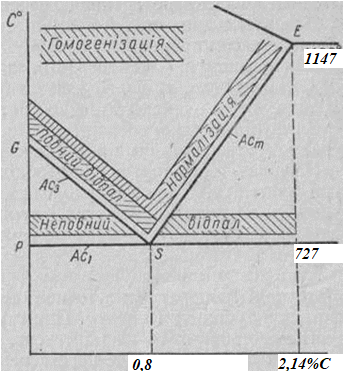


Рис. 7.7 Схема температур нагрівання для різних видів відпалу.

*Дифузійному* відпалу піддають великі зливки і виливки з метою підвищення їх хімічної однорідності або, інакше, гомогенності. Тому дифузійний відпал також називають *гомогенізацією.*

Для прискорення гомогенізації сталь нагрівають до температури, яка значно перевищує критичні точки, зазвичай до 1100—1150°С, видержують при цій температурі протягом 8—15год і потім повільно охолоджують.

*Повний* відпал провадиться при температурі, яка перевищує критичну точку *Ас3* лише на 30—50 °С. Оскільки нагрівання сталі вище точки *Ас3* супроводиться фазовою перекристалізацією, тобто зародженням нових зерен у твердому металі і, отже, здрібненням зерна, то повний відпал дозволяє усунути викликану перегрівом крупнозернистість в сталі, одержати структуру з більш рівномірним розподілом фериту і перліту і зняти внутрішні напруги. При повному відпалі зменшується твердість, підвищується пластичність, а також поліпшується оброблюваність сталі, різанням або тиском. Повному відпалу піддають доевтектоїдну й евтектоїдну сталі.

При *неповному* відпалі сталь нагрівають до температур вище точки *Ас1* ,але нижче точок *Ас3* або *Аст*. При цих температурах відбувається перекристалізація тільки перліту, а надлишкова фаза -— ферит у доевтектоїдних і цементит у заевтектоїдних сталях — залишається без змін.

Неповному відпалу піддають поковки і штамповки, оброблені при температурах, які не викликають значного росту зерен. Метою неповного відпалу є зняття внутрішніх напруг в сталі.

Нагрівання заевтектоїдних сталей небагато вище точки (до 730—740° С), видержка при цій температурі і наступне дуже повільне охолодження при переході через точку *Аr1* сприяє сфероїдизації цементиту. Цей процес полягає в роздробленні цементитних пластин перліту й сітки на кулясті (сфероїдальні) зерна з утворенням зернистого перліту. Це легко помітити при порівнянні рис. 7.8,а і рис. 7.8,б. Тому відпал на зернистий перліт інакше називається *сфероїдизацією.*

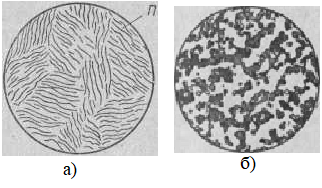


Рис. 7.8 Мікроструктура перліту: а) – пластинчастого; б) - зернистого

Сталі, які мають структуру зернистого перліту, менш тверді, в’язкіші й мають кращу оброблюваність, ніж сталі з структурою пластинчастого перліту.

***Нормалізація***

Нормалізація є окремим випадком відпалу і полягає в нагріванні сталі на 30—50° С вище точок *Ас3* або *Аст,* видержуванні при цій температурі й наступному охолодженні на спокійному повітрі. Таким чином, нормалізація відрізняється від відпалу трохи більшою швидкістю охолодження.

У маловуглецевих сталях (до 0,3 %С) нормалізація сприяє утворенню більш дрібнозернистої, ніж при відпалі, феритно-перлітної структури.

В середньовуглецевих сталях (0,3—0,5%С) при нормалізації утворюється сорбітоподібний перліт. Тому в нормалізованому стані ці сталі мають більш високі механічні властивості, ніж у відпаленому.

У заевтектоїдних сталях нормалізація сприяє знищенню крихкої цементитної сітки по границях зерен.

Для вуглецевих сталей нормалізація звичайно замінює більш тривалий за часом процес відпалу.

***Гартування***

1. **Гартування** — це операція, за якої сталь нагрівають на 30— 50°С вище точок *Ас1* або *Ас3,* видержують при цій температурі і потім охолоджують з швидкістю вище критичної.

В результаті такої операції в сталі утворюється мартенситна структура, тому твердість і міцність її досягають максимального значення.

Нагрівання при гартуванні необхідне для одержання в сталі структури аустеніту, а швидке охолодження - для запобігання розпаду аустеніту на феритно-цементитні суміші (троостит, сорбіт) і переохолодженню його до температури аустенітно-мартенситного перетворення.

Аустеніт у сталях утворюється при переході через точку *Ас1.* В інтервалі температур між точками *Ас1* і *Ас3* доевтектоїдні сталі складаються з аустеніту і фериту. При гартуванні від цих температур аустеніт перетворюється на мартенсит, а ферит залишається без змін, тобто відбувається неповне перетворення феритно-аустенітної суміші в мартенсит. Тому таке загартування називається *неповним.* Наявність фериту в загартованій сталі збільшує неоднорідність її структури, а також знижує міцність і твердість. У зв’язку з цим неповне загартування для доевтектоїдних сталей не застосовується.

Доевтектоїдні сталі піддають *повному* загартуванню від температу­ри, яка на 30—50° С перевищує точку *Ас3.* Після такого загартування структура доевтектоїдних сталей складається з мартенситу.

Структура заевтектоїдних сталей після неповного загартування складається з мартенситу і надлишкового цементиту. Оскільки твердість цементиту перевищує твердість мартенситу, то наявність цементиту в загартованій сталі не знижує її твердості і є бажана. Тому заевтектоїдні сталі піддають неповному загартуванню від температури, яка на 30—50°С перевищує точку *Ас1.* Повне загартування для цих сталей навіть шкідливе, тому що супроводжується ростом зерна і вимагає додаткової затрати тепла на нагрівання.

Процес гартування складається з двох операцій: нагрівання й охолодження.

Швидкість нагрівання виробів під загартування залежить від їх розмірів, складності форми, а також хімічного складу сталі. Чим більші розміри виробів, складніші їх форма і хімічний склад, тим повільніше повинно проводитись нагрівання.

Вирішальним фактором у процесі гартування є швидкість охолодження, тому що зрештою саме вона визначає характер структури, що утворюється в сталі.

Оптимальними умовами гартування є такі, що забезпечують переохолодження аустеніту до температур нижче мінімальної його стійкості (650—550° С), тобто виключають утворення феритно-дементитних сумішей (трооститу, сорбіту), і запобігають виникненню великих внутрішніх напруг у виробах в момент перетворення аустеніту в мартенсит (300—200° С). Такі умови можуть бути забезпечені в тому разі, якщо у верхньому інтервалі температур вироби охолоджуються з швидкістю вище критичної, а в нижньому інтервалі —з невеликою швидкістю.

Швидкість охолодження сталі при гартуванні визначається охолоджуючою здатністю гартувального середовища. Як гартувальні середовшца найчастіше використовують воду і мінеральне масло.

Вода кімнатної температури охолоджує сталь в інтервалі 650—550°С з швидкістю вище критичної (примірно 600*°С/сек*). В цьому полягає її перевага як гартувального середовища. Істотним недоліком води є те, що в момент аустенітно-мартенситного перетворення вона охолоджує сталь також з великою швидкістю (близько 300*°С/сек*), що призводить до виникнення великих внутрішніх напружень, які викликають жолоблення і навіть розтріскування деталей, що загартовуються.

Мінеральне масло під час аустенітно-мартенситного перетворення охолоджує сталь примірно в 10 раз повільніше, ніж вода. Але у верхньому інтервалі температур воно не забезпечує критичної швидкос­ті охолодження вуглецевих конструкційних сталей і тим самим не дає змоги переохолодити аустеніт до температури мартенситного перетворення. Тому після загартування в маслі ці сталі мають не мартенситну, а трооститно-мартенситну структуру.

Зі збільшенням вмісту вуглецю або при введенні в сталь легуючих елементів стійкість аустеніту підвищується (криві на діаграмі ізотермічного перетворення зсуваються праворуч). Тому такі сталі вимагають меншої швидкості охолодження при гартуванні. В ряді випадків масло для них є оптимальним гартувальним середовищем.

Залежно від складу сталі, форми і розмірів виробів, що загартовуються, застосовують різні прийоми гартування.

*Гартування в одному середовищі* виконується зануренням виробу, що загартовується, в охолоджуюче середовище (воду, масло), де він залишається до повного остигання (рис. 7.9, лінія *1).*

У зв’язку з простотою виконання цей вид гартування набув най- ширшого застосування. Проте він має істотний недолік, тому що су­проводжується виникненням у виробі, що загартовується, великих внутрішніх напруг.

*Гартування в двох середовищах* до деякої міри усуває недоліки за­гартовування в одному середовищі. Воно полягає в тому, що нагрітий під загартування виріб спочатку охолоджують з великою швидкістю (звичайно у воді), щоб запобігти передчасному розпаду аустеніту, а потім переносять в інше середовище (наприклад, в масло) для остаточного повільного охолодження при аустенітно-мартенситному перетворенні (рис. 7.9, крива *2).* Такий прийом сприяє значному зменшенню внутрішніх напруг у виробі і запобігає його жолобленню. Але й він не позбавлений недоліків, оскільки технічно важко визначити момент перенесення виробу з одного середовища в інше і тому неможливо одержувати стабільні результати термічної обробки партії виробів. Уникнути цих труднощів дає змогу ступінчасте гартування.

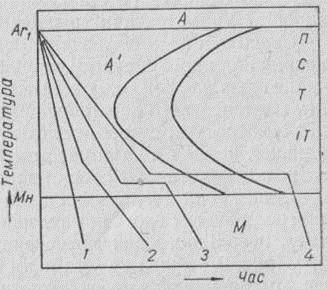


Рис. 7.9 Схеми термічних режимів гартування

*Ступінчасте гартування* провадиться також у дві стадії: після нагрівання виріб спочатку занурюють в охолоджуюче середовище (зазвичай розплавлені солі) з температурою на 150—300° С вище точки *Мн* мартенситного перетворення сталі даного складу, видержують при цій температурі, а потім остаточно охолоджують в маслі чи на повітрі (рис. 7.9, крива *3).* Ступінчастому гартуванню часто піддають невеликі за розмірами вироби перемінного перерізу.

*Ізотермічне гартування* полягає в охолодженні сталі до температури трохи вище точки *Мн* і видержуванні при цій температурі протягом часу, необхідного для завершення ізотермічного перетворення аустеніту (рис. 7.9, крива *4).* Оскільки температура гартувального середовища в цьому випадку перевищує температуру мартенситного перетворення *Мн,* то аустеніт при ізотермічному гартуванні розпадається з утворенням голчастого трооститу (ГТ), за твердістю близького до мартенситу, але більш в’язкого. Для вуглецевих сталей цей вид гартування не застосовується. Якщо вироби повинні мати високу твердість тільки в поверхневих шарах, а в серцевині залишатися в’язкими, їх піддають *поверхневому загартуванню.*

За способом нагрівання виробів поверхневе гартування поділяють на високочастотне і полуменеве.

При високочастотному гартуванні (рис. 7.10,а) вироби нагрівають в індукторі (соленоїді), яким проходить струм високої частоти (с. в. ч). Нагрівання з допомогою с. в. ч. основане на тому, що у вміщеному в індуктор виробі індукуються так звані вихрові струми, які супроводяться виділенням тепла. Оскільки вихрові струми концентруються у поверхневих шарах, вони викликають поверхневе нагрівання виробів. Необхідної глибини і температури нагріву поверхневого шару виробу досягають зміною частоти струму і швидкості переміщення індуктора або виробу. Потім нагрітий шар швидко охолоджується водою, яка подається через внутрішні отвори в індукторі, або виріб скидають у гартівну ванну.

Загартування с. в. ч. характеризується високою продуктивністю та економічністю. Цей процес може бути легко автоматизований і включений до загального потоку виробництва.

При полуменевому гартуванні (рис. 7.10,6) поверхневі шари нагріва­ють ацетилєно-кисневим полум’ям, яке переміщують з певною швидкістю вздовж виробу, що загартовується. Слідом за пальником подається вода для швидкого охолодження поверхневого шару.

|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 7.10 Схема поверхневого гартування:  а – високочастотного; б - полуменевого | Рис. 7.11 Мікроструктура сталі після гартування і високого відпускання (сорбіт) |

Полуменеве гартування частіше застосовується у важкому машинобудуванні для гартування великих деталей.

Для одержання мартенситної структури сталь при гартуванні охолоджують з швидкістю вище критичної. Але оскільки внутрішні шари виробу охолоджуються повільніше, ніж зовнішні, з швидкістю меншою критичної, то замість мартенситу в них може утворитися троостит і навіть сорбіт. Глибина мартенситної зони, яка утворюється у виробі, характеризує так звану *прогартовуваність* сталі і є однією з найважливіших її характеристик.

Прогартовуваність залежить від стійкості переохолодженого аустеніту, що в свою чергу визначається хімічним складом сталі. Чим стійкіший аустеніт, тобто чим більше вправо розташовуються С-подібні криві на діаграмі ізотермічного його перетворення, тим менша критична швидкість загартування і тим більша прогартовуваність сталі.

***Відпускання***

Відпускання загартованих виробів провадиться з метою зменшення в них внутрішніх напруг і твердості, а також підвищення ударної в’язкості і полягає в нагріванні до температури нижче точки *Ас1.* Швидкість охолодження після відпускання для більшості сталей не має особливого значення, тому для прискорення цієї операції як охо­лоджуюче середовище звичайно застосовують воду або масло.

Залежно від температури нагріву розрізняють ***низьке, середнє і високе відпускання.***

При *низькому відпусканні* (150—250°С) в структурі сталі зберігається мартенсит, але з нього виділяються дуже дрібнодисперсні частки карбіду заліза. У зв’язку з цим внутрішні напруги у виробі зменшуються, трохи підвищується в’язкість; твердість при цьому практично не змінюється.

Низькому відпусканню піддають вироби, які повинні мати високу твердість (наприклад, різальний або вимірювальний інструмент).

*Середнє відпускання* (350—450°С) супроводиться більш істотними змінами в структурі і властивостях сталі: мартенсит перетворюється в троостит, а тому твердість сталі зменшується примірнодо 4000 *Мн/м*2 *(НВ* 400), а в’язкість її значно підвищується.

Середньому відпусканню піддають інструменти і деталі машин, які працюють при помірних ударних навантаженнях (штампи, пружини, ресори).

*Високе відпускання* (500—650° С) веде до утворення сорбітної структури, що забезпечує повне усунення внутрішніх напруг і найкраще співвідношення міцності і в’язкості сталі при достатній її твердості.

Високому відпусканню піддають вали, шатуни і ін.

Характерною відмінною особливістю структур (трооститу, сорбіту), які утворюються в результаті відпускання, є їх зерниста будова (рис. 7.11) на відміну від пластинчастої будови таких же структур, що одержуються при розпаді аустеніту. Зерниста будова і забезпечує одержання комплексу високих механічних властивостей у відпущеній сталі.

***Хіміко-термічна обробка сталі***

Хіміко-термічна обробка полягає у дифузійному насиченні поверхневих шарів стальних виробів різними елементами при підвищених температурах. На відміну від термічної, хіміко-термічна обробка супроводиться зміною хімічного складу поверхневого шару виробів.

Найбільш поширеними видами хіміко-термічної обробки є ***цементація, азотування і ціанування, а також дифузійна металізація***.

***Цементація***

**Цементація** — процес насичення поверхневого шару стальних виробів вуглецем.

Цементації піддають маловуглецеві сталі з вмістом вуглецю до 0,2% (в деяких випадках до 0,4%).

Розрізняють цементацію в твердому й газоподібному карбюризаторі (вуглецевмісній суміші).

Як твердий карбюризатор застосовують суміш деревного вугілля з вуглекислими солями (ВаСО3, СаСО3 і ін.).

Вироби, що цементуються, разом з карбюризатором завантажують У металеві ящики, закривають кришками, ретельно обмазують глиною і в такому вигляді видержують у печі при температурі 930° С протягом 5—25 *год.*

При температурі цементації в карбюризаторі відбуваються такі реакції:

;

*;*

.

Атомарний вуглець Сат, що виділяється, дифундує у поверхнезі шари стального виробу і за вказаний час досягає глибини 0,5—2,5 *мм.*

Газова цементація здійснюється в спеціальних камерах при температурі 930—1000°С у середовищі циркулюючої суміші вуглецевмісних газів (природного, генераторного, світильного). Поряд з окисом вуглецю карбюризаторами в цьому середовищі є також і вуглеводні, наприклад метан СН4:

;

.

Газову цементацію легко механізувати і автоматизувати.

Ефективним способом інтенсифікації процесу цементації є нагрівання виробів с. в. ч. і підвищення температури до 1050—1070°С.

Цементація — процес дифузійний, тому концентрація вуглецю в поверхневому шарі змінна і змінюється від 0,9—0,8% на поверхні до вихідної концентрації в сталі.

У зв’язку з цим поступово змінюється і структура поверхневого шару від перлітно-цементитної на поверхні до вихідної феритно-перлітної (рис. 7.12).

Після цементації вироби піддають загартуванню і відпусканню, в результаті чого у поверхневому шарі утворюється мартенсит, а маловуглецева серцевина не загартовується і залишається не зміненою, тобто складається з в язкої феритно-перлітної суміші.

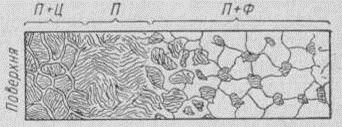


Рис. 7.12 Схема поверхневого шару цементованої сталі

Завдяки наявності твердого поверхневого шару і в’язкої серцевини у цементованих виробів поєднується висока зносостійкість з добрим опором ударним навантаженням. Тому цементації піддають такі деталі машин як вали, шестірні, втулки і ін.

***Азотування***

Азотування— процес насичення поверхневих шарів сталі азотом.

Азотуванню піддають шестірні, втулки, вали, гільзи циліндрів внутрішнього згоряння і інші деталі, що виготовляються, як правило, з легованих сталей з вмістом Al, Мо, Ті, V, W.

Для азотування вироби видержують в атмосфері аміаку при температурі 430—600° С. В цих умовах аміак дисоціює:

.

Атомарний азот Nат, що утворюється при цьому, дифундує в сталь і утворює з її компонентами дуже тверді хімічні сполуки — нітриди ( і ін.). Тому твердість азотованої поверхні значно перевищує твердість поверхні цементованої і загартованої сталей. Крім того, азотована поверхня має підвищену корозійну стійкість.

Одним з недоліків процесу азотування є велика його тривалість, яка досягає 90 *год.* За цей час утворюється зміцнений шар глибиною до 0,8 *мм.*

***Ціанування***

Ціанування — процес одночасного насичення поверхневих шарів сталі вуглецем і азотом.

Ціанування здійснюється в розплавлених ціаністих солях (NaCN, КСN) або в середовищі, яке складається із суміші газів — цементуючого (наприклад, вуглеводнів) і азотуючого (аміак). У випадку застосування газового середовища цей процес називають *нітроцементхщією.*

Співвідношення між кількістю вуглецю і азоту в шарі, що утворюється, можна регулювати зміною температури процесу. Так, при зниженій температурі (550—560° С) відбувається переважно насичення азотом, а при підвищеній (900—980° С) — вуглецем.

Тривалість процесу ціанування в рідких солях становить 0,5—- 6 *год,* а газованої нітроцементації — 3— 12 год. Протягом цього часу вуглець і азот дифундують на глибину примірно 0,5—1,8 *мм.*

Ціанування застосовують для підвищення твердості і зносостійкості деталей машин, які працюють при невеликих навантаженнях, а також різального інструменту.

Низькотемпературне ціанування (550—560° С) провадиться зазвичай після остаточної термічної обробки виробу (загартування і високого відпускання). Після середньотемпературного (820—850° С) і високотемпературного (900—980° С) ціанування вироби піддають загартуванню і низькому відпусканню при 160—200° С.

***Дифузійна металізація***

Дифузійна металізаціяполягає в дифузійному насиченні поверхневих шарів стальних виробів металами з метою надання їм особливих фізико-хімічних властивостей.

З численних видів дифузійної металізації найбільшого поширення набули хромування й алітування.

Дифузійне хромування застосовують для підвищення окалиностікості і опору корозії стальних виробів у хімічно активних середовищах. Цей вид обробки сприяє також підвищенню зносостійкості деталей машин.

Дифузійне хромування частіше здійснюється в газовому середовищі, яке містить летючі хлориди хрому СгС12 і СгСІз. При температурі 800—1200° С ці хлориди виділяють атомарний хром, який і дифундує в поверхню виробу.

Дифузійне алітування полягає в насиченні поверхневих шарів стальних виробів алюмінієм з метою підвищення їх окалиностійкості (до 800—900°С). Вироби для алітування завантажують у стальний ящик, заповнений фероалюмінієм, окисом алюмінію А12О3 і нашатирем NH4C1 і видержують при температурі 950—1000°С протягом 4—16 *год.* За цих умов утворюється хлорид алюмінію А1С13, який у дальшому і виділяє атомарний алюміній, що дифундує в поверхню оброблюваного виробу.

***Контрольні запитання***

1. Види термічного оброблення сталей і їх призначення.

2. Що розуміють під гартуванням, нормалізацією, відпалюванням і відпусканням?

3. Температури нагрівання сталей для різних видів термічного оброблення.

4. Що таке повне і неповне гартування?

5. Види відпускання загартованих сталей.

6. Методи нагрівання для поверхневого гартування деталей.

7. Джерела струму для гартування струмами високої частоти.

8. Мікроструктура поверхневого шару і серцевини після гартування СВЧ.

9. Для яких деталей і чому застосовують гартування СВЧ?

10. Як визначають глибину загартованого шару?

11. Види хіміко-термічної обробки, їх суть і призначення.

12. Які сталі піддають цементації, азотуванню, нітроцементації і ціануванню?

13. Структура і властивості сталей після цементації і азотування.

14. Які деталі машин піддають цементації і нітроцементації?

Джерела інформації

1. Волокулин В.Ф. Металловедение и термическая обработка: Учеб. справоч. пособие/ Украинская международная академия оригинальных идей. – Винница: Книга-Вега, 2005. – 462с.
2. Лахтин Ю.М. Материаловедение/ Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева.– М.: Машиностроение, 1980. – 493с.
3. Дмитриченко М.Ф. Основи матеріалознавства: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. техн. спец./ М. Ф. Дмитриченко, В. М. Ткачук, О. В. Мельник. – К.: НТУ, 2008.- 176с

Інтернет джерела

1. <https://www.youtube.com/watch?v=akZPTymjWsA>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=zcWkjZwfOas>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=S_wOHztzJK8>

**Лекція №9**

**ОСНОВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА**

**Змістовний модуль 2. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

**Тема 6.КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ ТА ЇХ СПЛАВИ**

**План лекції**

* 1. Алюміній та його сплави.
  2. Мідь та її сплави.
  3. Антифрикційні сплави.
     1. Бабіти.
     2. Підшипникові бронзи.
     3. Антифрикційні чавуни.

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЇ**

До кольорових металів належать всі метали, за винятком заліза і його сплавів. З них найбільше застосування в промисловості дістали мідь і алюміній.

**Алюміній та його сплави**

Алюміній - легкий метал з кубічною гранецентрованою граткою, не має алотропічних перетворень. Характерними властивостями алюмінію є: мала питома вага 2,7 г/см3 - у три рази легший за сталь; високапластичність деформованого і відпаленого алюмінію δ =35-40%, низька твердість 25НВ, міцність σв=80-100 МПа; границя текучості σт=30 МПа; низька температура плавлення (660°С).

Алюміній характеризується високою тепло- і електропровідністю (електропровідність відпаленого алюмінію складає близько 62 % від електропровідності відпаленої міді марки М1) та стійкістю проти атмосферної корозії, дії концентрованої азотної кислоти, повітря, забрудненого сірчистими газами тощо. Стійкість алюмінію проти атмосферної корозії приблизно у 20 разів вища стійкості сталі. Висока корозійна стійкість алюмінію пояснюється утворенням на його поверхні щільної і міцної окисної плівки А12О3, що захищає метал від корозії. Однак алюміній легко руйнується під дією лугів, соляної кислоти і деяких інших мінеральних кислот.

Маркують алюміній літерою А та тризначним числом, яке вказує на вміст алюмінію після коми. Наприклад:

- А999 - вміст алюмінію більш 99,999 %, вміст домішок менш 0,001 %;

- А995 - А1> 99,995 %, вміст домішок <0,005 %;

- А99 - А1 > 99,99 %, вміст домішок < 0,01 %;

- А97- А1 > 99,97 %, вміст домішок < 0,03 %;

- А95- А1 > 99,95 %, вміст домішок < 0,05 %.

Використання чистого алюмінію як конструкційного матеріалу обмежене через низьку міцність і твердість.

Властивості алюмінію залежать від виду та кількості домішок.

*Залізо* практично не розчиняється у алюмінії і у кількості від 0,0015 до 1,1 % формує евтектику А1 – Аl3Fе, яка містить 1,7% заліза. Інтерметаліди А13Fе існують у вигляді темних продовгуватих включень, які є концентраторами напружень в сплаві. Формування залізних сполук призводить до того, що при збільшенні кількості заліза у алюмінії знижуються його механічні властивості, корозійна стійкість і погіршується оброблюваність тиском. Тому залізо є шкідливою домішкою в алюмінієвих сплавах і тільки у деякі алюмінієві сплави спеціального призначення вводять підвищену кількість заліза (до 1,6%), як легуючого елементу.

*Кремній* у кількості від 0,0015 до 1,0 % не утворює з алюмінієм інтерметалідних з'єднань. Розчинність кремнію в алюмінії при нормальних умовах дуже мала, тому в подвійних алюмінієвих сплавах кремній може зустрічатися у чистому вигляді.

*Мідь* в кількості від 0,001 до 0,05 % розчиняється в кристалічній гратці алюмінію, утворюючи з ним твердий розчин заміщення. Розчиняючись в алюмінію, мідь підвищує міцність, не знижуючи його корозійної стійкості.

*Марганець* потрапляє в алюміній при його виплавці з використанням відходів переробних цехів. Марганець збільшує розмір зерна при відпалюванні алюмінію після деформації, що пояснюється його ліквацією. Для зменшення цього дефекту в алюміній вводять до 0,2 % титану. Вміст марганцю не повинен перевищувати 0,03 %.

Мала питома вага, висока корозійна стійкість, високі показники питомої міцності (відношення границі міцності до питомої ваги) забезпечують широке використання алюмінієвих сплавів в техніці, як конструкційного матеріалу.

Залежно від технології виготовлення напівфабрикатів і деталей алюмінієві сплави діляться на дві групи: ливарні та деформівні, які маркуються, відповідно, літерами АЛ і АК та двозначними цифрами, які позначають номери сплавів.

Маркування ливарного іноземного алюмінію та його сплавів, за класифікацією Американського національного інституту стандартів (АNSI) і Асоціації алюмінію (АА), стандарт № Н35.1, складається з чотирьохзначного числа та крапки після третього знаку (ХХХ.Х). Перша цифра показує наступні групи сплавів: 1 (1ХХ.Х) - А1 > 99.00%; 2 (2ХХ.Х) - головний легуючий елемент мідь; З (ЗХХ.Х) - Sі+Сu+Мg; 4 (4ХХ.Х) - Sі; 5 (5ХХ.Х) - Мg; 7 (7ХХ.Х) - Zn; 8 (8ХХ.Х) - Sn. Дві наступні цифри в першої групі вказують на мінімальний вміст А1, а в групах 2 - 8 на номер сплаву. Цифра після коми вказує на метод отримання сплаву. 0 (ХХХ.О) позначає виливка 1 (XXX. 1) або 2 (ХХХ.2) - зливок.

Маркування деформованого іноземного алюмінію та його сплавів, за тією же класифікацією, складається з чотирьохзначного числа (ХХХХ). Перша цифра показує наступні групи сплавів: 1 (1ХХХ) - А1 > 99.00%; 2 (2ХХХ) - головний легуючий елемент мідь; 3 (3ХХХ) - Мn; 4 (4ХХХ) - Sі; 5 (5ХХХ) - Мg; 6 (6ХХХ) - Мg+Sі; 7 (7ХХХ) - Zn; 8 (8ХХХ) - інші елементи. Друга цифра, у випадку першої групи вказує на спеціальний контроль домішок, а в групах 2 - 8 на номер сплаву. Дві останні цифри в першої групі вказують на мінімальний вміст А1, а в групах 2 - 8 на модифікування сплаву (0- вихідний сплав без модифікування).

Вибір технології виготовлення алюмінієвих сплавів залежить від характеру їх кристалізації та визначається типом діаграми стану (рис. 9.1). Чим більший інтервал між температурами початку й кінця кристалізації, тим гірші ливарні властивості сплавів і вони виготовляються, як правило, шляхом обробки тиском. Кращі ливарні властивості мають сплави евтектичного складу, тому, в основному їх виготовляють шляхом лиття. До ливарних належать сплави алюмінію з кремнієм, міддю та магнієм. Хімічний склад та властивості ливарних алюмінієвих сплавів показані в таблиці 9.1.

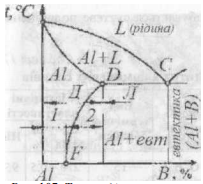


Рис. 9.1 *Типова діаграма стану алюміній-легувальний елемент В: Д- деформовані сплави; Л-ливарні сплави; 1- сплави, що не зміцнюються термообробкою; 2 - сплави, що зміцнюються термообробкою*

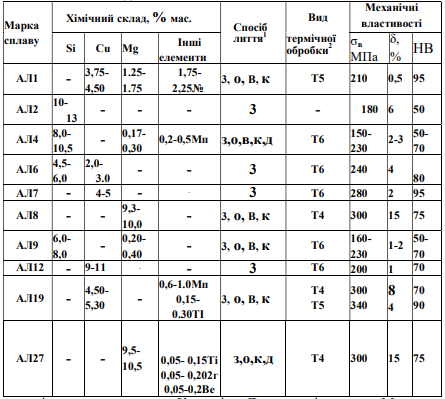
Найбільш поширеними в машинобудуванні ливарними сплавами є силуміни - сплави алюмінію з кремнієм (Sі = 4 - 14%), подвійні і більш складні, для яких характерні малі температурні інтервали кристалізації (нуль для евтектичного складу) і високі ливарні властивості. Для фасонного литва застосовують також сплави на основі А1 - Сu; А1 - Мg; А1— Sі - Мg; А1 - Sі — Сu.

Силуміни характеризуються високою рідкотекучістю, малою лінійною усадкою (0,9 - 1,2 %) та низькою схильністю до утворення тріщин. До складу більшості марок силумінів, крім кремнію, як основного легуючого елемента, входять марганець (0,2 - 0,6 %), магній (0,2 - 0,55 %), а також титан (0,1 - 0,3 %). Розчиняючись в алюмінії, легуючі елементи збільшують міцність і твердість силумінів. Водночас марганець підвищує антифрикційні властивості, а титан виконує роль модифікатора.

Для покращення механічних властивостей силумінів, до рідкого розчину сплаву перед його розливанням додають невелику кількість натрію (0,01 - 0,02 %) у сполуках NaF + NaС1, який подрібнює їх структуру. Процес штучного зменшення розмірів і регулювання форми кристалів називається модифікуванням.

Таблиця 9.1

**Хімічний склад та властивості литих алюмінієвих сплавів**



моделі, що виплавляються; К - кокіль; Д - лиття під тиском; М - сплав при литті модифікується. 2 . Позначає наступні види термічної обробки: Т4 - гартування; Т5 - гартування та часткове старіння; Т6 - гартування та повне старіння до максимальної твердості

Структура силумінів складається із твердого розчину кремнію в алюмінії (α фаза - світлі ділянки) і евтектики α+Sі, яка формується при вмісті кремнію 11,6 % (рис. 9.1). Кремній у евтектиці не модифікованого силуміну має вигляд прямих ліній (рис. 9.1, а, в), але після модифікування натрієм відбувається суттєве подрібнення структури силумінів (рис. 9.1 б, г).

Найбільш поширено використовуються силуміни марок АЛ2, АЛ6 і АЛ9.

Сплав АЛ2 з вмістом кремнію від 10 до 13% є близьким до евтектичного. Структура доевтектичного сплаву АЛ2 (Sі <11,6%) Рис. 9.2. Мікроструктура (а, б) та схема структури (в, г) силуміну до (а, в) і після (б, г) модифікування натрієм. складається з евтектики і невеликої кількості надлишкової α - фази, заевтектичного (Sі> 11,6%) - з евтектики (α + Sі) та кристалів твердого розчину α. Сплав АЛ2 термічній обробці не піддається.

Силуміни використовують для виготовлення мало- й середньонавантажених литих деталей, часто складної конфігурації.

Для покращення механічних властивостей силуміни легують міддю, магнієм і марганцем (табл. 9.1).

*Сплав АЛ6* — низькокремнистий силумін легований міддю. Мікроструктура сплаву АЛ6 складається з кристалів α-твердого розчину, подвійної та потрійної евтектики. З мідних силумінів виготовляють корпуси компресорів, головки та блоки циліндрів автомобільних двигунів.

*Сплав АЛ9* - низькокремнистий силумін (6,0-8,0% Sі) з добавками магнію. Основою магнієвих силумінів є система А1 - Sі - Мg. Основними структурними складовими є первинні кристали, а з подвійною евтектикою α +Sі, а також вторинні кристали Мg2Sі, що виділяються з твердого розчину. При нерівноважній кристалізації виділяється також потрійна евтектика. Сплав АЛ9 піддається загартуванню і старінню. У структурі загартованого сплаву присутні скоагульовані частинки кремнію евтектичного походження і компактні включення нерозчинної складової (А1, Мn, Fе, Sі). Силіцид Мg2Sі повністю переходить у α-твердий розчин і забезпечує зміцнення сплаву при наступному старінні.

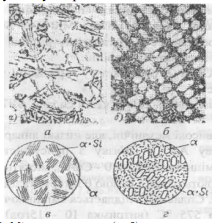


Рис. 9.2 *Мікроструктура (а, б) та схема структури (в, г) силуміну до (а, в) і після (б, г) модифікування натрієм.*

Термічна обробка сплавів АЛ6 і АЛ9 полягає у гартуванні та старінні до максимальної твердості.

До *алюмінієвомідних ливарних сплавів* відносяться сплави АЛ7 і АЛ12 (табл. 9.1).

Для сплаву АЛ7 характерні високі механічні, але низькі ливарні властивості. У структурі сплаву АЛ7 у зв'язку з присутністю домішок заліза і кремнію, крім зміцнюючої фази θ - СuAl, містяться інші нерозчинні фази, що утворюють разом з фазою θ інтерметалідні оболонки по границях дендритів. Сплав АЛ7 піддається зміцнюючій термообробці з нагріванням до 575 °С (витримка 10 - 15год) і гартуванню у гарячій воді і штучному старінню при 150 °С (витримка 2-4 год). У тих випадках, коли не потрібно максимальної міцності, але важливо зберегти підвищену пластичність, обмежуються одним загартуванням (без старіння). Зі сплаву АЛ7 виготовляють невеликі виливки, що піддаються значним механічним навантаженням.

Структура сплаву АЛ12 складається з кристалів а - твердого розчину (світлого кольору) і евтектики α + СuAl2 (кристали фази СuAl2 темного кольору). Сплав АЛ12 має високі ливарні, але низькі механічні властивості. Термічна обробка сплаву АЛ12 полягає у гартуванні та старінні до максимальної твердості.

До *алюмінієвомагнієвих ливарних* сплавів відноситься сплав АЛ8, який називають ***магналієм***. Сплав АЛ8 має високу механічну міцність порівняно з іншими алюмінієвими ливарними сплавами, найменшу питому вагу, високі антикорозійні властивості, але відносно ливарних властивостей, він поступається іншим сплавам. Структура литого сплаву АЛ8 складається з α-твердого розчину магнію в алюмінію (світлий фон) і незначної кількості β - фази (Мg2А13) розташованої по границях твердого розчину. Фаза β (Мg2А13) крихка і виділяється у формі великих скупчень, що утворюють суцільну сітку.

Для усунення гетерогенної структури сплав АЛ8 піддають гартуванню при 430°С (з витримкою 15-20 год) у гарячій воді з використанням у такому стані. Структура після гартування складається з однорідних зерен α- твердого розчину.

У загартованому стані сплав володіє високою корозійною стійкістю. Старіє цей сплав при температурі більше 150 °С.

Старіння для цього сплаву шкідливе, оскільки після старіння різко знижується пластичність і корозійна стійкість. Для виливок будівельних конструкцій рекомендується застосовувати сплав марки АЛ8, що містить від 10 до 12% магнію.

Залежно від способу підвищення механічних властивостей, *алюмінієві деформовані сплави* поділяються на: сплави, що не зміцнюються термічною обробкою, та сплави, що зміцнюються термічною обробкою.

До алюмінієвих *деформованих сплавів*, що не зміцнюються термообробкою, належать сплави алюмінію з марганцем і магнієм.

Вміст марганцю в *алюмінієво-марганцевих* сплавах не перевищує 1,6%. При вмісті марганцю до 0,3% він знаходиться тільки в твердому α - розчині. При більшій кількості він частково (до 0,3%) буде знаходитися в твердому α - розчині та частково у вигляді інтерметалідного з'єднання Аl6(Мn,Fе), що не розчиняється в алюмінію.

Вміст магнію в *алюмінієво-магнієвих* деформівних сплавах коливається від 2 до 7%. При вмісті магнію в сплаві понад 1,4% він знаходиться частково у твердому розчині та частково у вигляді інтерметалідних з'єднань А13Мg4 і А13Мg2, які розчиняються в алюмінію з підвищенням температури. Евтектика в А1 - Мg сплавах утворюється при температурі 448 °С та вмісту Мg = 17,4 %.

У сплавах системи А1 - Мg, які додатково містять марганець, кремній і залізо можливо утворення Аl6Мn, Мg2Sі та комплексного з'єднання, яке містить А1, Fе, Sі, Мn. Мікроструктура таких сплавів після відпалювання складається з α - твердого розчину та вищенаведених фаз (рис. 9.3).

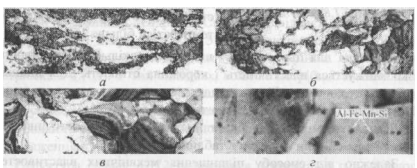


Рис. 9.3 *Мікроструктура алюмінієво-магнієвого сплаву з 2,5 %Мg після холодної прокатки (а) та відпалу при 160 °С протягом 20 (б) і 150 (в) год. і включення, які містять Аl, Fе, Мп, Sі. (а, б, в) - × 800; г-× 40000*

А1 - Мg сплави мають невисоку міцність, високу пластичність і корозійну стійкість, але міцність зварних з'єднань алюмінієво-магнієвих сплавів досягає 92-97% міцності основного металу, а відносна міцність порівняно зі сталлю марки Ст. 3 становить 1,9; з легованою сталлю марки 15ХСНД - 1,38; марки 10ХСНД - 1,17.

Сплави, що містять магнію більше 3%, можуть зміцнюватися шляхом термічної обробки, але ефект від зміцнення буде невеликий. Більш ефективне зміцнення цих сплавів досягається шляхом холодної обробки тиском (наклепування, нагартування).

Зі сплавів, що деформуються шляхом гарячої або холодної обробки тиском, виготовляють різні профілі (кутники, таври, двотаври, тощо), листи, дріт, труби, плити, що широко застосовуються в будівництві та техніці для виготовлення різних конструкцій, а також напівфабрикати для різних деталей машин.

Структура алюмінієвих деформованих сплавів, що зміцнюються термічною обробкою, у рівноважному (відпаленому) стані складається з твердого розчину легуючих елементів в алюмінії і частинок вторинних фаз, що розчиняються в алюмінії з підвищенням температури та виділяються при охолодженні або старінні.

Термічна обробка деформованих алюмінієвих сплавів полягає в загартуванні та старінні. Гартування основане на існуванні змінної розчинності міді, магнію і деяких інших елементів (Сu, Мg, Sі та ін.) у твердому алюмінії при підвищенні температури. Метою гартування є одержання пересиченого твердого розчину декількох легуючих елементів (міді, магнію, кремнію та інших) в алюмінію.

Загартування алюмінієвих сплавів полягає в нагріванні їх до температури, при якій легуючі елементи цілком або частково розчиняються в алюмінію, витримуванні при цій температурі і швидкому охолодженні до низької температури (10-20°С). Значна пересиченість твердих розчинів обумовлює їх нестабільність і розпад з виділенням вторинних фаз при старінні, які зміцнюють алюмінієвий сплав.

До алюмінієвих деформованих сплавів, що зміцнюються термообробкою, в основному, відносяться сплави на А1 - Мg - Sі, А1 - Сu - Мg і А1 - Сu - Мg - Zn основах.

Сплави алюміній - магній - кремній з додаванням міді, марганцю, хрому називають *авіалями*. До них відноситься сплав марки АК5. Після охолодження в цих сплавах відбувається розпад твердого розчину 3 утворенням фази Мg2Si та невеликих кількостей θ фаз (СuAl2) і А16Мn. Основною зміцнюючою фазою в сплаві є фаза Мg2Sі.

*Алюміній - магнієво - кремнієві* сплави гартують від температур 515 - 525°С з наступним природним або штучним (при 150-160 °С) старінням. Після старіння протягом 6 годин сплави мають максимальну міцність. Структура сплаву після штучного старіння складається з α-твердого розчину, навколо якого розміщуються темні включення фази Мg2Si (рис. 9.4).

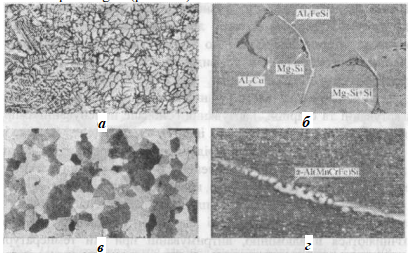




Рис. 9.4 *Мікроструктура алюміній-магніє-кремнієвого сплаву з 0,44 % Мg і 1.15 % Sі у литому стані (а, б), після відпалу при 425 °С протягом 10 годин і 550 °С протягом 8 годин (в, г), після гарячої прокатки та старіння при 175 °С протягом 0,5 години (д, е). а - × 100, 6-× 1300, в-× 200, г-× 3600, д-× 150, е-× 1000*.

Сплав АК5 добре зварюється, кується та штампується. Застосовується для виготовлення деталей складної конфігурації, яким потрібна висока пластичність в холодному і гарячому стані.

Сплави потрійної системи *алюмінієво - мідно - магнієві*, з добавками марганцю та кремнію, називаються *дюралюмініями*. Ці сплави добре поєднують міцність і пластичність. Головними легуючими елементами дуралюмінів є мідь і магній.

У рівноважному (відпаленому) стані при кімнатній температурі рис. 9.4. Мікроструктура алюміній-магніє-кремнієвого сплаву з 0,44 % Мg і 1.15 % Sі у литому стані (а, б), після відпалу при 425 °С протягом 10 годин і 550 °С протягом 8 годин (в, г), після гарячої прокатки та старіння при 175 °С протягом 0,5 години (д, е). а - × 100, 6-× 1300, в-× 200, г-× 3600, д-× 150, е-× 1000. структура алюмінієво - мідно - магнієвих сплавів буде складатися з твердого розчину міді, магнію, марганцю та ін. елементів в алюмінії і великої кількості частинок вторинних фаз. Згідно з діаграмою А1- Сu-Мg, внаслідок граничної розчинності міді і магнію в твердому алюмінії, зі збільшенням вмісту магнію та міді в сплаві утворюються тверді фази θ (СuА12), S (А12СuМg), Т (А16СuМg4).

Крім того, у структурі А1-Сu-Мg сплавів завжди присутні у невеликих кількостях фази (А1, Мg, Fе, Sі) і Мg2Sі.

При нагріванні до температур 490 - 510°С вторинні фази розчиняються та переходять у твердий розчин і збагачують його міддю та іншими елементами. При швидкому охолодженні (загартуванні) розчинені елементи не встигають виділитися та залишаються в твердому розчині, тобто фіксується пересичений твердий розчин міді, магнію та марганцю в алюмінії.

Алюмінієві сплави типу дюралюмінію при гартуванні необхідно охолоджувати у холодній воді, тому що дифузійні процеси, що приводять до розпаду пересиченого розчину, у них протікають дуже швидко.

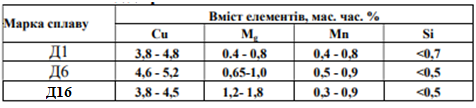
Недогрівання до оптимальних температур призводить до того, що вторинні фази не повністю переходять у твердий розчин і міцність з пластичністю після гартування будуть нижчими. Перегрівання - викликає інтенсивний ріст зерен твердого розчину, окислення границь зерен і навіть розплавлення легкоплавких евтектичних домішок. Перегрітий сплав володіє низькими механічними властивостями і є непоправним браком термічної обробки.

Пересичені тверді розчини метастабільні (нестійкі). Надлишкові елементи прагнутимуть виділитися з пересиченого твердого розчину при природному або штучному старінні. У процесі старіння (дисперсного твердіння) міцність сплавів росте, пластичність падає. Дюралюмінії зміцнюються при природному старінні на протязі 10 діб. При цьому максимальну міцність сплави матимуть через 7 діб. Дюралюмінії можна піддавати і штучному старінню, при температурі нагрівання до 250 °С, але при цьому спостерігається деяке зниження корозійної стійкості.

Марки дуралюмінів позначають літерою Д і числом, що означає номер сплаву, наприклад Д16. Хімічний склад дюралюмінів наведено в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2

**Хімічний склад дюралюмінів**



Сплав Д1 після кристалізації має структуру, що складається з первинних кристалів α-твердого розчину та світлих включень евтектичного походження, що утворюють своєрідну сітку. Кількість евтектичної складової тим більша, чим більший вміст міді та магнію в сплаві.

Мікроструктура сплавів алюмінію марки Д1 після гартування і природного старіння - це перенасичений α - твердий розчин та інтерметалідне з'єднання Аl2СuМg і СuАl2 , а після гартування від 510 °С у воді та старіння при температурі 250 °С складається із зерен твердого α-розчину (світла основа) і темних включень FеА13, Аl6Мn (рис. 9.5). Зміцнюючу інтерметалідну фазу СuАl2. яка утворюється при старінні, під світловим мікроскопом не видно.

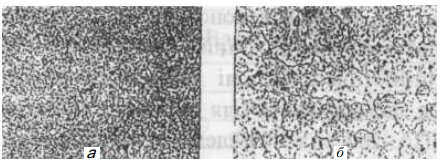


Рис. 9.5 *Мікроструктура сплаву Д1: а - після відпалювання; б - після гартування і старіння при 250 °С*

Сплав Д16 відрізняється від Д1 більш високим вмістом магнію. У зв'язку з цим кількість зміцнюючої фази θ (СuА12) зменшується, α - фази S (Аl2СuМg) збільшується. Структура сплаву після відпалювання подібна до структури, отриманої після лиття: α-твердий розчин з включеннями вище перерахованих фаз. Після гартування у воді α - твердий розчин і включення різних нерозчинних в алюмінію, при нагріванні, фаз (сполуки заліза і марганцю).

Після старіння сплав Д16 не відрізняється від сплаву Д1 і складається з зерен α-твердого розчину і включень нерозчинних фаз.

Механічні властивості дюралюмінів наведені в таблиці 9.3.

Таблиця 9.3

**Механічні властивості алюмінієвих сплавів, що деформуються**



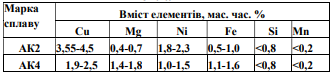
Дюралюміній марок Д1, Д6, Д16 рекомендується застосовувати для несучих клепаних конструкцій, споруд і будівель (арки, ферми, балки, а також для елементів конструкцій, що суміщують функції захисних і несучих конструкцій (покрівельні панелі, каркаси панелей для стін, підвісні стелі тощо). Дюралюміній марки Д1 рекомендується застосовувати для елементів конструкцій середньої міцності; Д6, Д16 - для силових елементів конструкцій.

Дюралюміній та інші високоміцні термічно оброблені сплави , окрім авіалей, не рекомендується зварювати у відповідальних конструкціях, оскільки при зварюванні відбувається значне зниження міцності біля шовної зони внаслідок відпалювання. Зварювання можна застосовувати тільки в тих конструкціях, в яких зварні шви знаходяться у малонавантажених зварних зонах.

*Жароміцні алюмінієві сплави системи: алюміній - мідь - магній - нікель - залізо*. До цієї групи сплавів належать сплави марок АК2 і АК4 та ін. Хімічний склад жароміцних сплавів АК2 і АК4 наведено в таблиці 9.4.

Таблиця 9.4

**Хімічний склад жароміцних алюмінієвих сплавів**

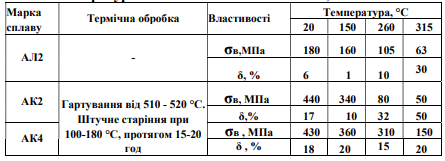


Жароміцні сплави гартують у воді з подальшим штучним старінням. Властивості сплавів АК2 і АК4 (порівняно з сплавом АЛ2) при різних температурах наведено в таблиці 9.4.

З жароміцних алюмінієвих сплавів виготовляють поршні, головки циліндрів, крильчатки, лопатки та диски компресорів турбореактивних двигунів тощо, для роботи при температурах до 350°С.

Таблиця 9.4

**Вплив температури на властивості сплавів АЛ2, АК2 і АК4**



**Мідь і її сплави**

Мідь - метал червоного кольору з гранєцентрованою кубічною граткою ГЦК, температурою плавлення 1083°С. Питома вага міді - 8,94 г/см3 . У литому стані міцність міді (σв) становить 150 - 200 МПа, пластичність (δ) -15-20 %, у гарячедеформованому стані - σв = 240 МПа, δ = 45 %. Мідь має високу корозійну стійкість в атмосферних умовах, у прісній і морській воді та інших агресивних середовищах, але низьку стійкість проти сірчаних газів та аміаку. Мідь легко оброблюється тиском, але погано різанням та має невисокі ливарні властивості через велику усадку. Мідь погано зварюється, але легко паяється. Чиста мідь має найбільшу (після срібла) електро- і теплопровідність. Мікроструктура деформованої і відпаленої міді складається з рівновісних зерен з наявністю двійників.

Структура та властивості міді істотно залежать від присутності домішок. Кисень з міддю утворює закис міді Сu2О та підвищує крихкість. При вмісті кисню 0,39 % утворюється крихка подвійна евтектика (Сu+Сu2О), яка виділяється на границях зерен міді. Під мікроскопом Сu2О виявляється у вигляді світлих включень.

*Сірка* практично нерозчинна в міді і при температурі 1067 °С утворює крихку евтектику. Вона різко знижує пластичність міді при деформуванні в холодному стані, але покращує обробку різанням.

*Свинець* утворює з міддю легкоплавку евтектику, яка складається з чистого свинцю та має температуру плавлення 327 °С. Свинець не призводить до холодноламкості міді, як вісмут, але через низьку температуру плавлення евтектики викликає червоноламкість.

Застосовується мідь як провідниковий матеріал в електротехнічній промисловості та інших галузях народного господарства. Випускається у вигляді напівфабрикату: листа, прутка, смуги, труби та дроту. Маркують мідь залежно від наявності в ній домішок:

М00: Сu > 99,97%; МО: Сu > 99,95 %; М1: Сu > 99,9 %; М2: Сu > 99,8 %; МЗ: Сu > 99,7 %; М4: Сu > 99,6; М5: Сu > 99,5 тощо.

Латуні - це подвійні або багатокомпонентні сплави міді, у яких основним легуючим елементом є цинк (до 45 %). При вмісті цинку більше 45% в латуні знижується міцність і зростає крихкість. Вміст інших легуючих елементів у спеціальних латунях не перевищує 7-9 %.

При вмісті цинку до 39 % формується однофазна латунь. Структура такої латуні складається з однорідного твердого розчину цинку в міді (α-фаза) α - латуні (рис. 102, а). Зі збільшенням вмісту цинку з'являється друга фаза, що являє собою твердий розчин цинку в електронному з'єднанні Сu2Zn і (β-фазою (твердий розчин на базі з’єднання СuZn, ОЦК гратка) з електронним типом зв’язку (3/2=число електронів/число атомів), яка є твердою і крихкою структурною складовою.

Такі домішки, як вісмут і сурма є шкідливими та викликають червоноламкість латуней.

Структура латуней, що містять цинку від 39 до 45%, буде складатися з твердого розчину цинку в міді (а - фаза), оточеного твердим розчином СuZn (β-фаза) (рис. 9.6, б). Іноді двофазні латуні називають α+β-латунями. Наявність у структурі міцнішої і твердішої β фази сприяє підвищенню міцності латуні, проте різко знижує її пластичність.

Латуні маркують буквою Л (латунь) і цифрою, яка показує вміст міді в сплаві. Наприклад, марка Л80 означає латунь з 80% міді, решта — цинк.

У марках спеціальних латуней легуючі елементи позначають початковими буквами їх назв (наприклад, А — алюміній, К — кремній, Мц — марганець). Перші дві цифри, що стоять у марках за буквеними позначеннями, вказують середній вміст міді, а наступні — вміст інших елементів; решту (до 100%) становить цинк. Наприклад, марка ЛКС 80-3-3 означає латунь з вмістом 80% Си, 3% Si, 3% РЬ, решта — цинк.

Якщо у складі латуні окрім міді і цинку є ще інші елементи, то для їхнього позначення після літери Л пишуть початкові літери назв цих елементів (О - олово, С - свинець, Ж - залізо, Ф - фосфор, Н-нікель, А-алюміній). Відсоток вмісту кожного з цих елементів показують відповідні цифри, які стоять після кількісного показника міді в латуні. Наприклад, сплав ЛАЖ60-1-1 містить 60 % Сu, 1 % А1, 1 % Fе і 38%Zn.

Для покращення властивостей латуней їх легують елементами, які сприяють наступному впливу:

- алюміній, олово і нікель підвищують міцність, твердість і корозійну стійкість, але алюміній ускладнює паяння;

- нікель і марганець збільшують міцність і корозійну стійкість;

- свинець поліпшує антифрикційні властивості і оброблюваність різанням, але одночасно надає крихкість однофазним латуням при підвищених температурах.

Латуні діляться на ливарні та деформовані. Ливарні латуні призначені для виготовлення виробів шляхом фасонного литва. Деформовані латуні випускаються у вигляді дроту, прутка, стрічки, смуги, листа, труби та інших прокатаних та пресованих виробів.

Деформовані латуні використовуються у наступних галузях:

- Л90, Л80 для виготовлення деталей трубопроводів, фланців; - Л68 - теплообмінна апаратура, що працює при 250°С;

- ЛА77-2, ЛО70-1, ЛН 65-5, Л062-1 (корозійностійкі морські латуні) - деталі для роботи у морської воді, наприклад, конденсаторні та манометричні трубки.

З ливарних латуней виготовляють наступні вироби:

- ЛС59-1Л - втулки, арматура, фасонне литво;

- ЛС63-3 - антифрикційні деталі, підшипники, втулки;

- ЛМцЖ55-3-1 - теплообмінна апаратура, що працює при 300°С;

- ЛА67-2,5 - корозійностійкі деталі;

- ЛАЖ-60-1-1 - черв'ячні гвинти, що працюють у важких умовах.

***Бронзи*** - це сплави міді з оловом, алюмінієм, марганцем, кремнієм, берилієм, свинцем, де цинк не є основним легуючим елементом.. Залежно від основного легуючого елемента, бронзи називають олов'янистими, алюмінієвими, берилієвими тощо. Для підвищення механічних властивостей бронзи легують Fе, Ni, Ті, Zn, Р, a для підвищення корозійної стійкості - Мn, пластичності - Ni, міцності - Fе, оброблюваності різанням - Рb.

Маркуються бронзи наступним чином: літери Бр. означає «бронза», наступні літери вказують на наявність легуючих елементів - О - олово, Мц - марганець, Ж - залізо, Ф - фосфор, Б - берилій, Ц - цинк, А - алюміній, С - свинець тощо. Після цього цифрами вказують середній вміст елементів у відсотках (вміст міді цифрами не вказують). Наприклад, бронза марки Бр.ОФ10-1 має наступний хімічний склад: Sn = 10%, Р = 1, Сu - решта (89%); БрОЦ4-3 означає, що бронза містить 4 % олова і 3 % цинку, решта - мідь; БрОЦС5-5-5 - бронза містить олова, цинку і свинцю по 5 %, решта - мідь.

Бронзи мають високу корозійну та антифрикційну стійкість, добре працюють в умовах тертя та обробляються різанням. У промисловості використовуються олов'янисті бронзи з вмістом олова до 14 %, які складаються з однорідного твердого розчину олова і міді та мають високі механічні властивості. При вмісті олова понад 5 % бронзи стають більш схильними до дендритної ліквації, у зв'язку із значним температурним інтервалом між лініями ліквідує і солідус, що доводить до зниження їх пластичності.

Якщо олов'янисту бронзу піддати дифузійному відпалу при температурах 700 - 750° С, то відбудеться вирівнювання хімічного складу і структура являтиме собою однорідний твердий розчин. Одним з характерних представників олов'янистих бронз є бронза марки Бр.О10, що містить до 10% олова, структура якої складається з α-фази (твердий розчин атомів олова у кристалічній гратці міді) і евтектоїда α+Сu31Sn8 у вигляді світлих ділянок (рис. 9.6).

Олов’яністі бронзи мають високі механічні, пружні і антифрикційні властивості, добре обробляються різанням та ллються.

Для покращення властивостей олов’яністі бронзи легують Zn, Р, Pb, Ni та іншими елементами. Цинк покращує технологічні властивості бронзи і робить її дешевшою. Фосфор покращує її рідкотекучість, міцність, пружність і антифрикційні властивості. Нікель підвищує механічні властивості, корозійну стійкість та щільність зливків і зменшує ліквацію.

Із олов’янистих бронз виготовляють вкладиші та підшипники ковзання (Бр.О10, Бр.ОФ10-1, Бр.ОЦС5-5-5), арматуру (клапани, задвижки, крани), що працює на повітрі, у воді, оливі, паливі й парі під тиском до 25 атм. (Бр.ОЦН7-5-1, Бр.ОЦС5-5-5), зубчасті колеса (Бр.ОЦС5-5-5), стрічки, штаби, дріт діаметром 0,1-12 мм.

Основним недоліком олов'янистих бронз є їх висока вартість. Для заміни олов'янистих бронз використовують безолов"янисті бронзи, які містять алюміній, свинець, марганець, берилій, кремній, залізо та сполуки цих металів.

Алюмінієві бронзи з вмістом алюмінію від 4 до 11% використовують, як замінники олов'янистих. Вони мають високу корозійну стійкість, механічні та технологічні властивості. Алюмінієві бронзи добре обробляються тиском в гарячому стані, а при вмісті алюмінію до 8% - і у холодному. При вмісті алюмінію до 9,8% бронзи мають однофазну структуру твердого розчину атомів алюмінію у кристалічній гратці міді (α-фаза). При вмісті алюмінію від 9,8 до 16%, окрім α - твердого розчину, утворюється ще й евтектоїд.

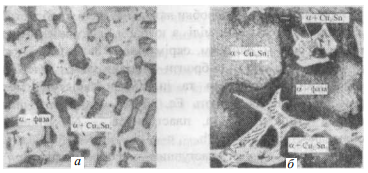


Рис. 9.6 *Мікроструктура бронзи Бр.О10: а- × 200, 6-×1000*

На рис. 9.7 зображено мікроструктуру алюмінієвої бронзи Бр.А10 у литому стані (а) та після гартування та відуску (б), яка складається з твердої α-фази (світлі ділянки) і евтектоїду α+γ (темні ділянки).

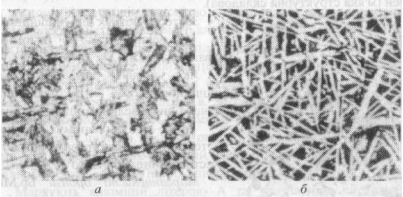


Рис. 9.7 *Мікроструктура бронзи Бр.А10: а — в литому стані; б - після гартування від 900 °С у воді та відпуску при 650 °С і охолодженні у воді. а—×250, 6-× 200*

Бронзи, що містять від 9 до 11% алюмінію, а також залізо, нікель, марганець, зміцнюються термічною обробкою і піддаються гартуванню та відпуску. Наприклад, бронза Бр.АЖН 10-4-4 після гартування з 980 °С та відпуску при 400 °С підвищує твердість з 200 до 400 НВ.

З алюмінієвих бронз виготовляють пружини, поковки, арматуру, черв’ячні та зубчасті колеса, втулки, трубки, стрічки, штаби, прутки діаметром 16-120 мм, монети тощо. Наприклад, з бронзи Бр.АЖ9-4 виготовляють арматуру трубопроводів для різних середовищ (крім морської води), Бр.АМц9-2Л - деталі, що працюють у морській воді (гвинти, лопасті), Бр.АМц10-2 - підшипники ковзання.

Свинцеві бронзи (Бр.С30) відрізняються високими антикорозійними властивостями та теплопровідністю (в чотири рази вища, ніж олов"янистих бронз). Мідь зі свинцем утворює просту механічну суміш без формування твердих розчинів і хімічних сполук. Структура свинцевої бронзи (рис. 9.8) складається із зерен міді (тверда і досить пластична структурна складова - світлий фон) і темних включень свинцю, переважно розташованих по границях зерен (м'яка структурна складова).

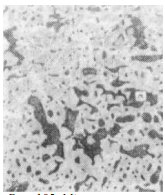


Рис. 9.8 *Мікроструктура бронзи марки Бр.С30. ×200*

Застосовують їх для підшипників з великими питомими навантаженнями. Як сплави для вкладишів підшипникових механізмів, працюючих з великими швидкостями і при підвищеному тиску, застосовується свинцева бронза із вмістом свинцю близько 30%.

*Марганцевисті бронзи* Бр.Мц5 мають порівняно невисокі механічні властивості, але високу пластичність і стійкість проти корозії, а також зберігають механічні властивості при підвищених температурах.

*Берилієві бронзи* після термічної обробки мають високі механічні властивості, наприклад Бр.Б2 має міцність 1250 МПа, твердість 350НВ і високі корозійну та теплостійкість. З берилієвих бронз виготовляють пружини, пружинні контакти приладів та деталі особливо відповідального призначення.

*Кремнисті і кремпій-маргенцевисті* (Бр.КН1-3, Бр.КМцЗ-1) бронзи застосовують як замінники дорогих берилієвих бронз.

***Підшипникові (антифрикційні) сплави***

До підшипникових (антифрикційних) сплавів відносяться сплави, які мають наступні властивості:

1. Низький коефіцієнт тертя;

2. Низьку твердість, тобто не викликають знос поверхні, з якою контактують;

3. Високу міцність, пластичність (для витримки великого питомого тиску), теплопровідність і корозійну стійкість.

Крім того, вироби з підшипникових (антифрикційних) сплавів повинні добре припрацьовуватися, тобто за мінімальний час приймать контури поверхні з якою контактують, та забезпечувати хороше змащення.

Для дотримання вказаних вимог антифрикційні сплави повинні мати різнорідну структуру, тобто складатися з м'якої, пластичної основи, в яку повинні бути вкраплені тверді частинки. Наприклад, при роботі підшипника ковзання з валом тверді структурні складові підшипника є опорою для нього, а м'які частинки, спрацьовуючись при терті, сприяють утворенню на поверхні мікроканалів, по яких циркулює олива (рис. 9.9). При збільшенні тиску на вал тверді частинки вдавлюватимуться у м'яку основу підшипника ковзання і тому не зношуватимуть вал.



Рис. 9.9 *Поверхня розділу вкладиш — вал*

Найбільш задовільно вище наведеним вимогам відповідають чавуни, бронзи і легкоплавкі сплави на основі свинцю, олова, цинку або алюмінію, які застосовують для виготовлення вкладишів підшипників ковзання.

Чавунні вкладиші виготовляють з сірого перлітного чавуну (АЧЦ-1 і АЧЦ-2). Це найдешевший матеріал для вкладишів. Він може витримувати значний питомий тиск, але, зважаючи на більш високий коефіцієнт тертя (у пари сталь - чавун порівняно з парою сталь- бронза або сталь - бабіт) чавунні вкладиші не слід застосовувати у швидкохідних двигунах.

Бронзові вкладиші виготовляють з високоміцних олов'янистих і свинцевих бронз. Через неоднорідну структуру бронзи (у олов'янистої бронзи α-твердий розчин є м'якою основою, а евтектоїд α+δ-твердими включеннями) мастило добре утримується на поверхні вкладиша. Бронзові вкладиші застосовують для відповідальних підшипників, що працюють у важких умовах де є великі питомий тиск і частота обертання вала.

При застосуванні дуже м'яких легкоплавких підшипникових сплавів забезпечується краще збереження поверхонь, з якими вони контактують. Тому разом з чавунними і бронзовими вкладишами широке застосування в машинобудуванні мають вкладиші з легкоплавких сплавів на основі олова, свинцю, цинку та алюмінію, які мають назву бабіти.

***Бабіти*** - це антифрикційні сплави на основі олова, свинцю, цинку та алюмінію, які мають низький коефіцієнт тертя та високу теплопровідність, добре припрацювуються до іншої деталі та здатність утримувати мастило.

За хімічним складом бабіти поділяються на олов’янисті, свинцеві, цинкові та алюмінієві. Хімічний склад та властивості бабітів показані в табл. 9.5.

Кращими антифрикційним сплавом є олов'янисті бабіти марок Б89 і Б83. Олов'яна основа в'язка, пластична і менш схильна до втомного руйнування. Мідь вводиться в сплави для запобігання ліквації елементів за питомою вагою, а також для утворення твердих структурних складових. Мідь з оловом утворює хімічну сполуку Сu3Sn, яка кристалізується, насамперед, і утворює начебто скелет, на якому затримуються кристали β-твердого розчину олова в хімічній сполуці SnSb, що має малу питому вагу.

Мікроструктура бабіту Б83 (рис. 9.10) складається з темної пластичної основи твердого розчину Sb в Сu і Sn (α-фаза), світлих твердих частинок SnSb квадратної або прямокутної форми та дрібних зірочок і голочок кристалів Сu6Sn5 (Сu3Sn). При перегріванні бабіту утворюються фази великих розмірів і його якість погіршується.

Олов‛янисті бабіти використовують для виготовлення підшипників і вкладишів турбін, дизельних двигунів, крупних теплоходів та турбонасосів і турбо-компресорів, електричних та інших навантажених деталей машин.

Бабіти марок Б6, БТ, окрім свинцю, олова, сурми і міді, містять кадмій та телур, для утворення дрібних твердих включень, які збільшують твердість і підвищують зносостійкість бабіту.

Олов'яно-свинцево-сурм'яні бабіти, де м'яка основа - свинець, значно дешевше олов'яно-свинцевих, а за якістю поступаються їм не набагато. Мікроструктура бабіту марки Б16, що містить 15-17% Sn; 15-17% Sb; 1,5-2,0 % Сu, складається з м'якої основи - евтектики (свинцю і твердого розчину сурми в олові).

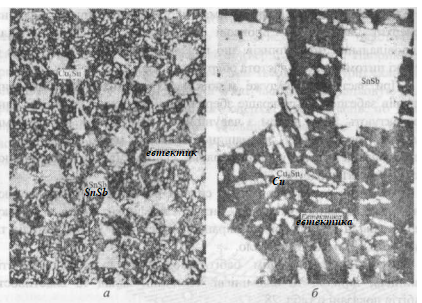


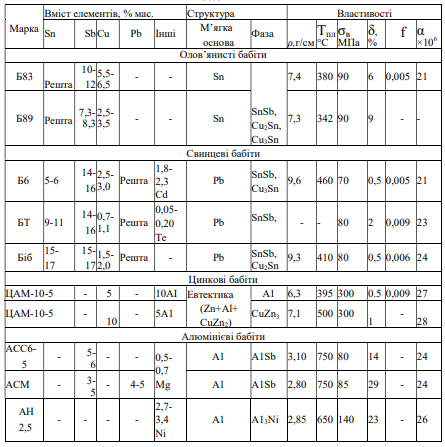
Рис. 9.10 *Мікроструктура олов‛янистого бабіту марки Б83: а - структура в нормальному стані; б - виливок з перегріванням. × 200.*

Дефіцитність олова, а також і свинцю змушує знаходити і застосовувати сплави на іншій, менш дефіцитній основі. Для легкоплавких підшипникових сплавів застосовують сплави на основі 2п (з добавками Си і А1) і алюмінієві бабіти на основі А1 (з добавками Сu, SЬ, Ni та ін.).

ЦИНКОВІ сплави ЦАМ-10-5 і ЦАМ-5-10 поступаються бабітам на олов'яній основі за пластичністю, коефіцієнтами тертя і лінійного розширення і приблизно рівноцінні свинцевим бабітам.

Таблиця 9.5

***Хімічний склад, структура, питома вага (у), температура плавлення (Tпл), межа міцності (σв), відносне подовження (δ) та коефіцієнти тертя з мастилом (f) і лінійного розширення (α) бабітів***



Алюмінієві підшипникові сплави (АСС6-5, АСМ, АН 2,5) мають гарні властивості (низький коефіцієнт тертя і високу зносостійкість), але за технологічністю вони поступаються звичайним бабітам. їх висока твердість вимагає обробки цапф і вкладиша підвищеної чистоти, а шийка вала повинна бути твердою. Недотримання цих умов викличе прискорений знос. Високий коефіцієнт лінійного розширення алюмінієвих бабітів вимагає більш ретельного складання із збільшеними зазорами. Алюмінієві бабіти застосовуються замість олов'яних і свинцевих бабітів, а також свинцевої бронзи.

Крім алюмінієвих сплавів, вказаних в табл. 9.5, починають застосовуватися алюмінієво-олов'яні сплави такого ж призначення, що містять 6 - 7% Sn і Ni, Сu, Sі в кількості від 1 до 2%.

***Контрольні запитання***

1. Як маркують алюміній високої і технічної чистоти?

2. Якими властивостями володіє алюміній і де його використовують?

3. Які постійні домішки містить алюміній і як вони впливають на його властивості?

4. Як класифікують алюмінієві сплави залежно від технології виготовлення із них деталей?

5. Якими властивостями повинні володіти ливарні алюмінієві сплави?

6. Як маркують ливарні алюмінієві сплави?

7. Які алюмінієві сплави називають силумінами?

8. Які алюмінієві деформівні сплави не зміцнюються і зміцнюються термічною обробкою?

9. Як впливають марганець і магній на механічні властивості алюмінієвих деформівних сплавів?

10. Як впливає холодна пластична деформація на механічні властивості алюмінієвих деформівних сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою?

11. Які вироби виготовляють із алюмінієвих деформівних сплавів, що не зміцнюються термічною обробкою?

12. Які алюмінієві деформівні сплави відносяться до тих, що зміцнюються термічною обробкою?

13. Яка структура алюмінієвих деформівних сплавів марок АМц і АМг5?

14. Які сплави називають латунями?

15. Як маркують латуні?

16. Як змінюється структура і властивості латуней із збільшення у них вмісту цинку?

17. Які легуючі елементи використовують для покращення властивостей латуней?

18. Які деталі виготовляють із ливарних і деформівних латуней?

19. Які сплави називають бронзами?

20. Як маркують бронзи?

21. Як класифікують бронзи за вмістом легуючих елементів?

22. Які легуючі елементи використовують для покращення властивостей бронз?

23. Які деталі виготовляють із олов’яних, кремнієвих, свинцевих, марганцевих і берілієвих бронз?

24. Які сплави називають бабітами?

25. Якими властивостями повинні володіти бабіти, виходячи із умов використання їх як антифрикційного матеріалу?

26. Як маркують олов’яні бабіти?

27. Де використовують олов’яні бабіти?

28. Якими властивостями володіють свинцеві бабіти?

**Джерела інформації**

* + - 1. Лахтин Ю.М. Материаловедение/ Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева.– М.: Машиностроение, 1980. – 493с.
      2. Гарнець В.М. Матеріалознавство. – К.: «Кондор» 2009, 386с.
      3. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: «Металлургия» 1986, 544с

**Інтернет джерела**

1. <https://www.youtube.com/watch?v=QMbps3OF7zI>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=96Laqe2vgrg>