

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра «Матеріали та технологія виготовлення виробів
транспортного призначення»**

Л.А. Тимофєєва, Г.Л. Комарова

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТЕХНОЛОГІЯ
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Конспект лекцій

Частина I

Харків – 2013

Тимофєєва Л.А., Комарова Г.Л. Матеріалознавство та

технологія конструкційних матеріалів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Ч. 1. – 68 с.

У конспекті лекцій розглядаються питання про будову і властивості конструкційних матеріалів, їх склад, засоби виготовлення і обробки виробів залежно від умов їх експлуатації. Застосування різних матеріалів, що використовуються на залізничному транспорті і у сучасному машинобудуванні.

Ці відомості потрібні для формування у майбутніх інженерів комплексу знань, умінь та уявлень, які необхідні для вирішення практичних задач вибору матеріалу і необхідної обробки його для конкретної деталі транспортного засобу.

Іл. 35, бібліогр.: 3 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри „Матеріали та технологія виготовлення виробів транспортного призначення” 4 квітня 2011 року, протокол № 24.

Рецензент

проф. Е.С. Геворкян

Л.А. Тимофеева, Г.Л. Комарова

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Конспект лекцій

Частина I

Відповідальний за випуск Комарова Г.Л.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 22.04.11 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,25. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНЬСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра „Матеріали та технологія виготовлення виробів
транспортного призначення”

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни
„Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів”
Розділ « Матеріалознавство»
Частина I

Харків 2013

Тимофеева Л.А., Комарова Г.Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Ч. 1. – 67 с.

У конспекті лекцій розглядаються питання про будову і властивості конструкційних матеріалів, їх склад, засоби виготовлення і обробки виробів залежно від умов їх експлуатації. Застосування різних матеріалів, що використовуються на залізничному транспорті і у сучасному машинобудуванні.

Ці відомості потрібні для формування у майбутніх інженерів комплексу знань, умінь та уявлень, які необхідні для вирішення практичних задач вибору матеріалу і необхідної обробки його для конкретної деталі транспортного засобу.

Лл. 35, бібліогр.: 3 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри „Матеріали та технологія виготовлення виробів транспортного призначення” 4 квітня 2011 року, протокол № 24.

Рецензент

проф. Е.С. Геворкян

ЗМІСТ

	Вступ	4
Лекція 1	Класифікація матеріалів. Основні властивості металів	6
Лекція 2	Особливості атомно-кристалічної будови металів. Кристалізація металів	16
Лекція 3	Навантаження, напруги й деформації. Особливості деформації полікристалічних тіл. Наклеп, повернення і рекристалізація	23
Лекція 4	Загальна теорія сплавів. Будова, кристалізація і властивості сплавів. Діаграми стану	36
Лекція 5	Залізовуглецеві сплави. Діаграма стану залізо – вуглець	48
Лекція 6	Сталі. Класифікація й маркування вуглецевих сталей. Чавуни. Будова, властивості, класифікація й маркування чавунів	57
	Список літератури	68

ВСТУП

Матеріалознавство належить до числа основних дисциплін для машинобудівних спеціальностей. Це пов'язано з тим, що одержання, розроблення нових матеріалів, способи їх обробки є основою сучасного виробництва й багато в чому визначають рівнем свого розвитку науково-технічний і економічний потенціал країни. Проектування раціональних, конкурентоспроможних виробів, організація їх виробництва неможливі без достатнього рівня знань в галузі матеріалознавства.

Матеріалознавство - це наука про взаємозв'язок електронної будови, структури матеріалів з їх складом, фізичними, хімічними, технологічними та експлуатаційними властивостями.

Матеріалознавство є основою для вивчення багатьох спеціальних дисциплін.

Різноманіття властивостей матеріалів є головним фактором, що визначає їх широке застосування в техніці. Матеріали мають властивості, які відрізняються один від одного, причому кожна залежить від особливостей внутрішньої будови матеріалу. У зв'язку з цим матеріалознавство як наука вивчає будову матеріалу в тісному взаємозв'язку з його властивостями. Основні властивості матеріалів можна підрозділити на фізичні, механічні, технологічні й експлуатаційні.

Від фізичних і механічних властивостей залежать технологічні й експлуатаційні властивості матеріалів.

Серед механічних властивостей міцність посідає особливе місце, тому що насамперед від неї залежить неруйнування виробів під впливом експлуатаційних навантажень. Вчення про міцність і руйнування є однією з найважливіших складових частин матеріалознавства. Воно є теоретичною основою для вибору конструкційних матеріалів, що підходять для деталей різного цільового призначення, й пошуку раціональних способів формування в них необхідних властивостей міцності, для забезпечення надійності й довговічності виробів.

Основними матеріалами, використовуваними в машинобудуванні, є і ще довго будуть залишатися метали та їх сплави. Тому основною частиною матеріалознавства є металознавство, у розвитку якого провідну роль відіграли російські

вчені: Аносов П.П., Чернов Д.К., Курнаков Н.С., Гуляев А.П. та ін.

Метою викладання дисципліни є навчити інженерів застосовувати основні методи керування конструкційною міцністю матеріалів і проводити обґрунтований вибір матеріалу для виробів з урахуванням умов їх експлуатації.

Для досягнення поставленої мети при вивченні дисципліни вирішуються такі основні завдання:

- набування знань щодо оцінки технічних властивостей матеріалів, виходячи з умов експлуатації й виготовлення виробу;
- формування науково обґрунтованих уявлень про можливості раціональної зміни технічних властивостей матеріалу шляхом зміни його структури;
- ознайомлення зі способами зміцнення матеріалів, що забезпечують надійність виробів та інструментів;
- ознайомлення з основними групами сучасних матеріалів, їх властивостями та галуззю застосування.

Матеріалознавство готує студента до освоєння спеціальних дисциплін, що вивчають основні виробничі технології і процеси.

Знання основ матеріалознавства необхідне інженеру, який працює у сфері експлуатації сучасних машин і конструкцій.

ЛЕКЦІЯ 1

КЛАСИФІКАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ

- 1 Поняття про метали та сплави. Їх класифікація.
- 2 Основні властивості металів.
- 3 Конструкційна міцність. Надійність. Довговічність.

1 Поняття про метали та сплави. Їх класифікація

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 (ферромагнетики);

2 тугоплавкі (W, Ta, Mo, Nb, V, Zr, Cr) – мають температуру плавлення вищу, ніж у заліза (1539 °C), 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 °С;

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.

Усі метали та сплави поділяють на дві основні групи:

чорні
залізо та сплави на його основі
(сталь та чавун)

кольорові
алюміній, хром, титан,
мідь та ін.

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 земній 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.

2 Основні властивості металів

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 і руйнуванню.

До показників міцності належать:

1) σ_B – тимчасовий опір – для пластичних матеріалів або межа міцності – для крихких матеріалів.

Це максимальне напруження, яке витримує матеріал без руйнування.

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

$$\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0} \quad (1)$$

σ_B – чавуну 180 МПа;

σ_B – сталі 700 МПа;

2) $\sigma_{0,2}$ – умовна межа текучості.

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

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \quad (2)$$

Цей показник визначає опір матеріалу деформації.

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

$\sigma_{0,05}$ – 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 σ_B і НВ (твердість за Бринелем) тільки для пластичних матеріалів:

- для пластичних сталей $\sigma_B = 0,34\text{НВ}$;
- для алюмінієвих сплавів $\sigma_B = 0,35\text{НВ}$;
- для мідних сплавів $\sigma_B = 0,45\text{НВ}$.

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.

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad (4)$$

де l_0 і F_0 – 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 K_C і має розмірність джоуль на квадратний сантиметр [Дж/см²].

$$K_C = A/S, \quad (5)$$

де A – 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 K_{CU} , K_{CV} і K_{CT} (з тріщиною, рисунок 1).

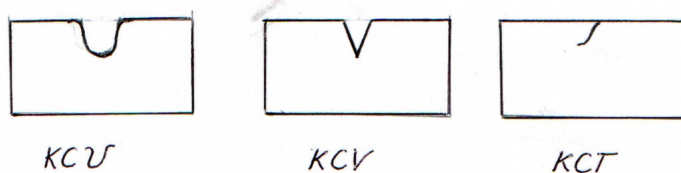


Рисунок 1 - Зразки з надрізом для визначення ударної в'язкості

Ударна в'язкість залежить значною мірою від температури і при певній температурі суттєво знижується. Ця температура одержала назву поріг холодноламкості $T_{кр}$.

Вона визначає перехід від в'язкого руйнування до крихкого.

У зв'язку з цим при виборі матеріалу необхідно враховувати температуру експлуатації T_e . Вона завжди повинна бути вище $T_{кр}$, щоб забезпечити в'язке руйнування.

В'язкість руйнування K_{1c} – здатність металу чинити опір розвитку тріщини. (**Тріщиностійкість**). Чим вище значення K_{1c} , тим менша небезпека крихкого руйнування і вища надійність деталей, виготовлених з цього матеріалу.

3 Конструкційна міцність. Надійність. Довговічність

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 σ_b показники пластичності (δ і ψ) та ударна в'язкість знижуються, а поріг холодноламкості зростає (рисунок 2).

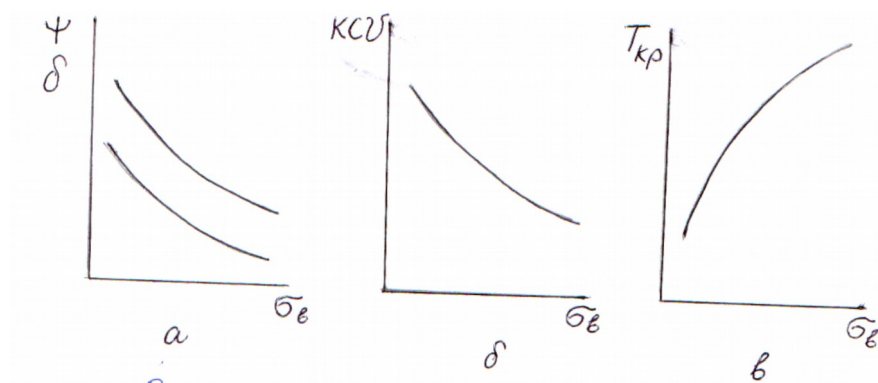


Рисунок 2 - Залежність пластичності (а), ударної в'язкості (б) і порогу холодноламкості (в) від тимчасового опору

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 економічному 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 ситуацією без руйнування, тобто надійність характеризує здатність чинити опір крихкому руйнуванню.

До критеріїв надійності можна віднести в'язкість руйнування G_{1c} , роботу розвитку тріщини K_{Ic} 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 N_r . Часто цю величину позначають N_J .

Вимоги до матеріалу

$$\sigma_{0,2} \uparrow, \sigma_B \uparrow, \psi \uparrow, K_{SC} \uparrow, K_{Ic} \uparrow, T_{кр} \downarrow$$

Фактори, що впливають на властивості металів і сплавів

На властивості матеріалу впливають 4 фактори:

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

Вплив хімічного складу можна продемонструвати на прикладах заліза і алюмінію.

Матеріал	σ_B , МПа	Матеріал	σ_B , МПа
Fe (дуже чисте)	25,4	Al технічний	30,0
Fe + 0,005 %C	147,0	Дюралюмін (Al+Cu)	380,0
Fe + 0,01 %C	245		

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.

ЛЕКЦІЯ 2

ОСОБЛИВОСТІ АТОМНО-КРИСТАЛІЧНОЇ БУДОВИ МЕТАЛІВ. КРИСТАЛІЗАЦІЯ МЕТАЛІВ

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

1 Особливості атомно-кристалічної будови

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 *кристалічної решітки*.

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 3,а), атоми розташовуються у вершинах куба і у його центрі (V, W, Ti, Fe_α);

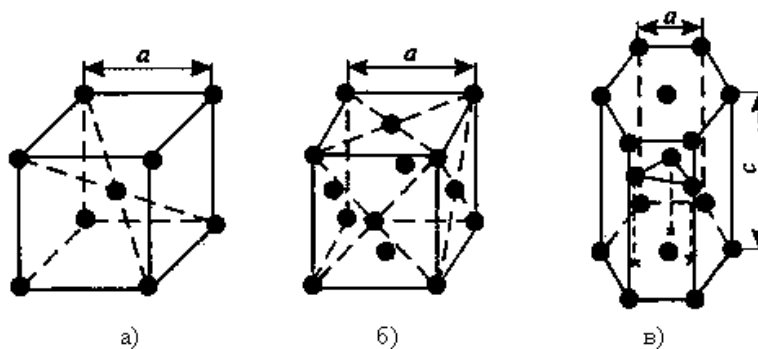
2 гранецентрована кубічна (ГЦК) (рисунок 3,б), атоми розташовуються у вершинах куба і в центрі кожної з 6 граней

(Ag, Au, Fe_λ);

3 гексагональна, в основі якої лежить шестикутник:

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

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



а - об'ємно центрована кубічна; б - гранецентрована кубічна;
в - гексагональна щільноупакована

Рисунок 3 - Основні типи кристалічних решіток

2 Поняття про ізотропію та анізотропію

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 Алотропія або поліморфні перетворення

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

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

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

Fe:

$t < 911^\circ\text{C}$ – ОЦК - Fe_α ;

$911^\circ < t < 1392^\circ\text{C}$ - ГЦК - Fe_β ;

$1392 < t < 1539$ - ОЦК – Fe_γ ; (високотемпературне Fe_α)

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 Магнітні перетворення

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 слабо, потім різко і при певній температурі (т. Кюрі) зникають (т. Кюрі для заліза - 768°C). 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 Механізм і закономірності кристалізації металів

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 вигравш 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 4.

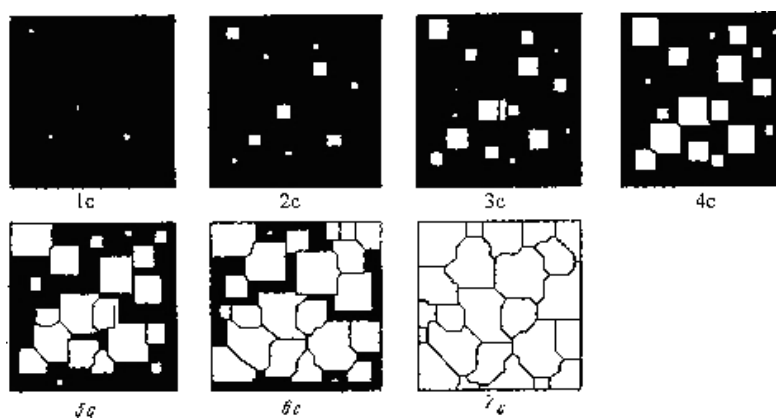


Рисунок 4 - Модель процесу кристалізації

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 5).

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

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



Рисунок 5 - 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 Будова металевого злитка

Схема сталевого злитка, дана Черновим Д.К., подана на рисунку 6.

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.

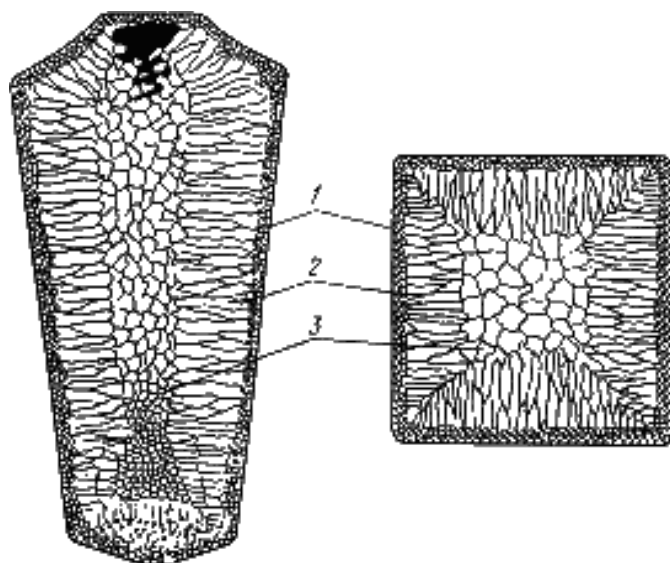


Рисунок 6 - Схема сталевих злитка

Ріст кристалів у другій зоні має спрямований характер. Вони ростуть перпендикулярно стінкам виливниці, утворюються деревоподібні кристали - дендрити (рисунок 7). Ростуть дендрити в напрямку, близькому до напрямку тепловідведення.

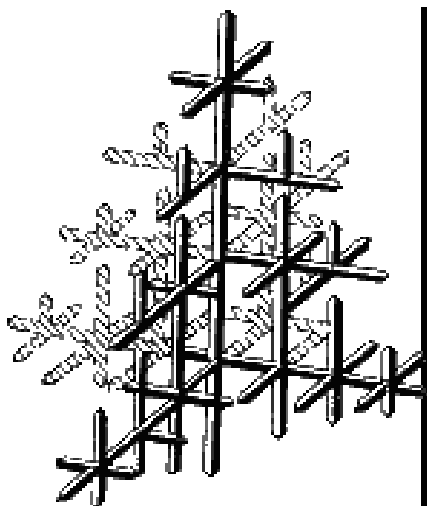


Рисунок 7 - Схема дендриту за Черновим Д.К.

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

Зони стовпчастих кристалів у процесі кристалізації стикаються, 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 відрізанням і переплавленню, тому що метал більш пористий (близько 15...20 % від довжини злитка).

ЛЕКЦІЯ 3

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

- 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 Фізична природа деформації металів

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 8).

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.

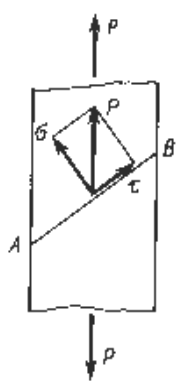


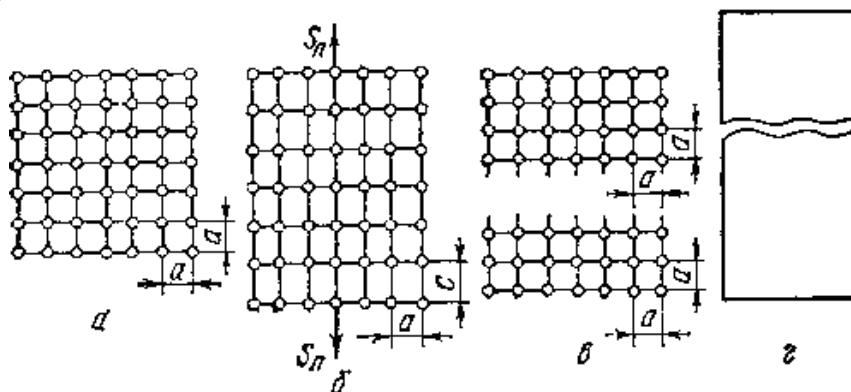
Рисунок 8 - Схема виникнення нормальних і дотичних напружень у металі при його навантаженні

Пружна деформація на діаграмі деформації характеризується лінією OA (рисунок 9).



Рисунок 9 - 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 10).



a – ненапружені решітки металу; b – пружна деформація;
 c, z – крихке руйнування в результаті відриву

Рисунок 10 - Схема пружної деформації та крихке руйнування під дією пружних напружень

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

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (6)$$

де E - модуль пружності.

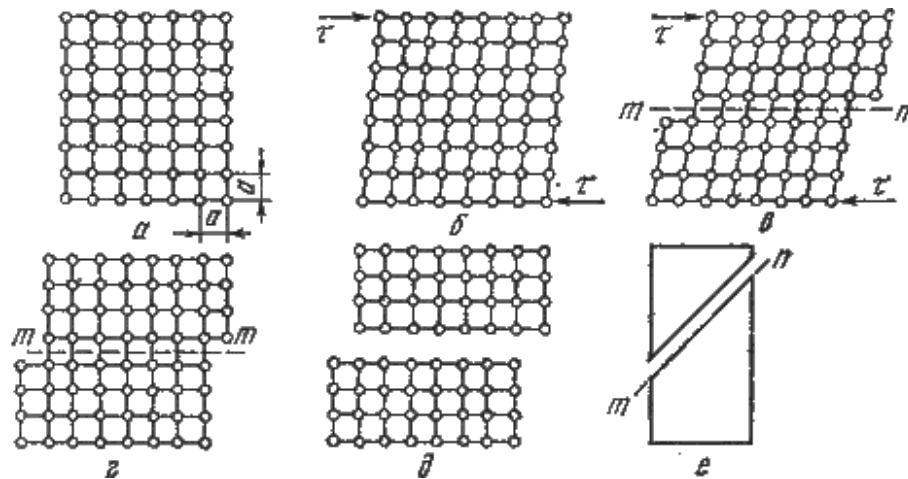
Модуль пружності є найважливішою характеристикою пружних властивостей металу. За фізичною природою величина модуля пружності розглядається як міра міцності зв'язків між атомами у твердому тілі.

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 11).



a – ненапружені решітки; *b* – пружна деформація; *c* – пружна й пластична деформація; *d*, *e* – пластичне (в’язке) руйнування в результаті зрізу

Рисунок 11 - Схема пластичної деформації і в’язкого руйнування під дією дотичних напружень

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

2 Природа пластичної деформації

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.

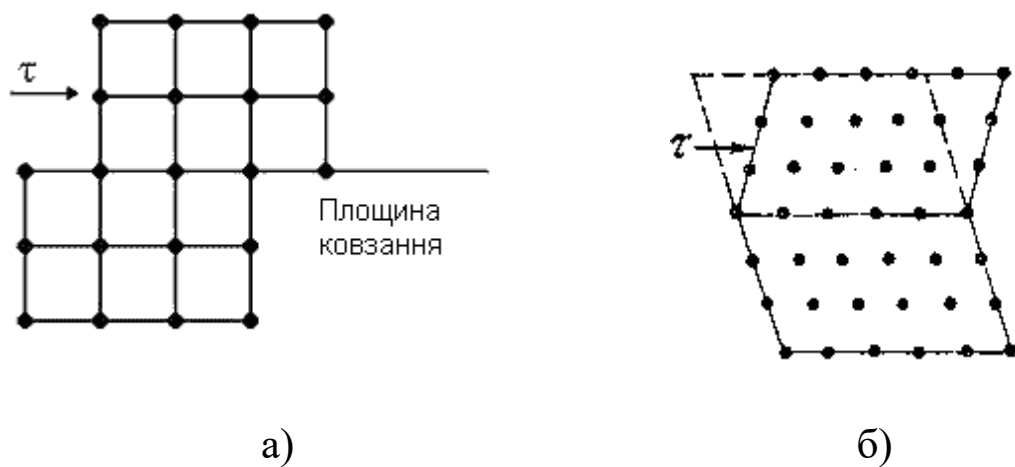
1 Трансляційне ковзання по площинах (рисунок 12,а). Одні шари атомів кристала сковзають по інших шарах, причому вони переміщуються на дискретну величину, рівну цілому числу міжатомних відстаней.

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 12,б).



а - ковзання; б - двійникування

Рисунок 12 - 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 Руйнування металів

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 доволно.

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 передують 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.

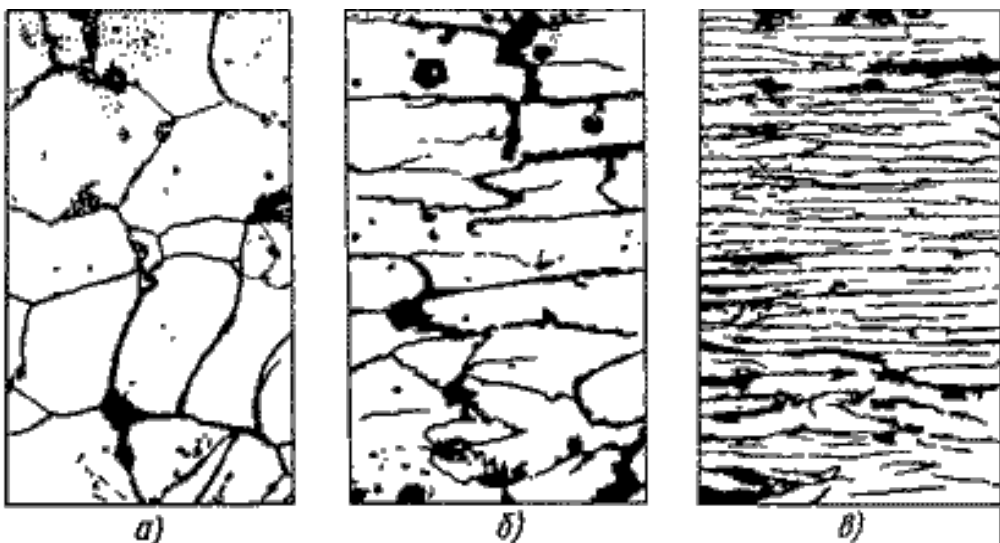
За зломом можна визначити характер руйнування.

4 Особливості деформації полікристалічних тіл

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 доволіно 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 13.



а - до деформації; б - після обтиснення на 35 %; в - після обтиснення на 90 %

Рисунок 13 - 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 Вплив пластичної деформації на структуру і властивості металу. Наклеп

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 14). Також підвищується електроопір, знижуються опір корозії, теплопровідність, магнітна проникність.

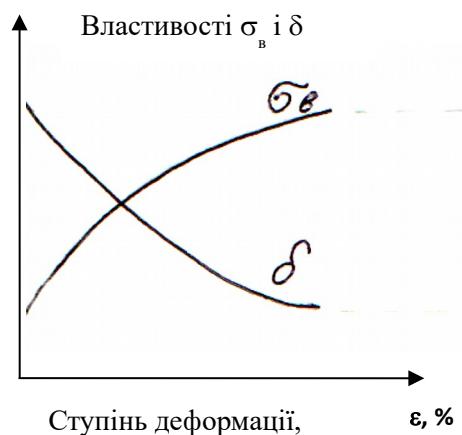


Рисунок 14 - Вплив холодної пластичної деформації на механічні властивості металу

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:

$$\rho = 10^6 \dots 10^8 \rightarrow 10^{11} - 10^{12}.$$

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

6 Вплив нагрівання на структуру й властивості деформованого металу: повернення й рекристалізація

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 15 діаграму можна поділити на три частини:

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

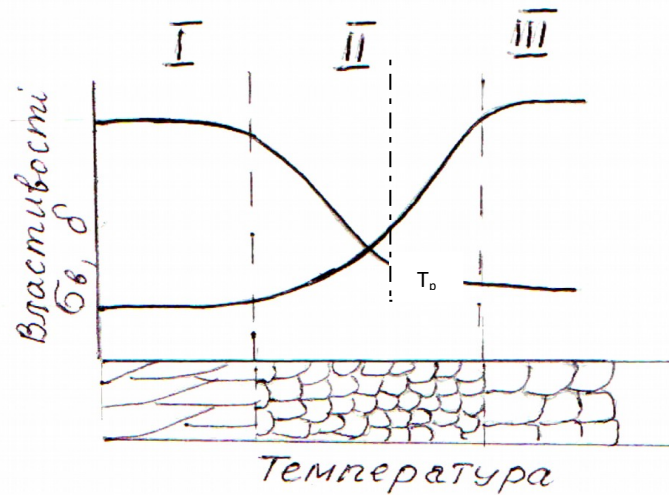


Рисунок 15 - Вплив нагрівання деформованого металу на механічні властивості

1-ша стадія - *повернення*. Невелике нагрівання викликає прискорення руху атомів, зниження щільності дислокацій, усунення внутрішніх напружень і відновлення кристалічних решіток (рисунок 16,а).

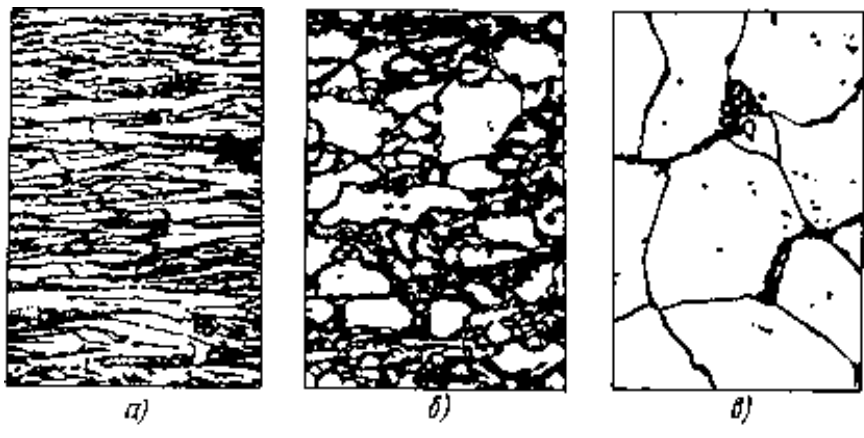


Рисунок 16 - Зміна структури деформованого металу при нагріванні

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

$$T = (0,25 \dots 0,3) T_{пл.}$$

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 16,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 16,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

$$T_{\text{рек}} = a \cdot T_{\text{пл}}, \quad (7)$$

для металів $a = 0,4$;

для твердих розчинів $a = 0,5 \dots 0,8$;

для металів високої чистоти $a = 0,1 \dots 0,2$.

На властивості металу великий вплив має розмір зерен, що утворилися при рекристалізації. У результаті утворення великих зерен при нагріванні до температури t_l 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 17).

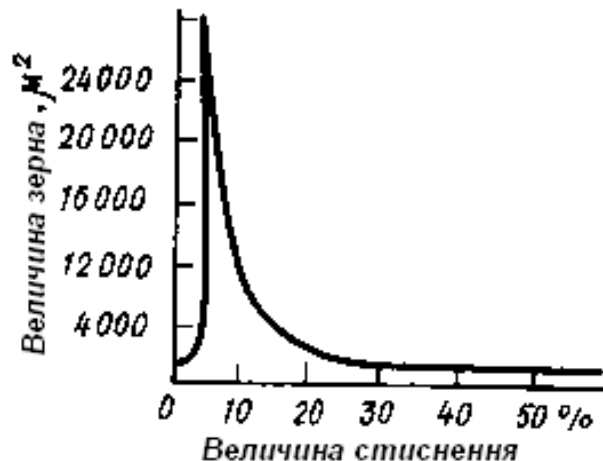


Рисунок 17 - Вплив попереднього ступеня деформації металу на величину зерна після рекристалізації

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 T_p , 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 °С, для латуней і бронз – 560...700 °С, для алюмінієвих сплавів – 350...450 °С, для титанових сплавів – 550...750 °С.

ЛЕКЦІЯ 4

ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ СПЛАВІВ. БУДОВА, КРИСТАЛІЗАЦІЯ І ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ. ДІАГРАМИ СТАНУ

- 1 Поняття про сплави і методи їх одержання.
- 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 Поняття про сплави і методи їх одержання

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 Основні поняття в теорії сплавів

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

Існує математичний зв'язок між числом компонентів K , числом фаз Φ і варіантністю системи C . Це *правило фаз* або *закон Гіббса*

$$C = K - \Phi + 2. \quad (8)$$

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

$$C = K - \Phi + 1, \quad (9)$$

де C - число степенів вільності,

K - число компонентів,

Φ - число фаз,

1 - ураховує можливість зміни температури.

3 Особливості будови, кристалізації і властивостей сплавів: механічних сумішей, твердих розчинів, хімічних сполук

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 18). У сплавах зберігаються кристалічні решітки компонентів.

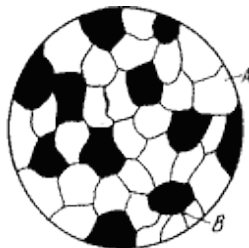


Рисунок 18 - Схема мікроструктури механічної суміші

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 $A_n B_m$;
- 2 утворюється специфічна, яка відрізняється від решіток

елементів, що складають хімічну сполуку, кристалічна решітка із правильним упорядкованим розташуванням атомів (рисунок 19);

3 яскраво виражені індивідуальні властивості;

4 сталість температури кристалізації як у чистих компонентів.

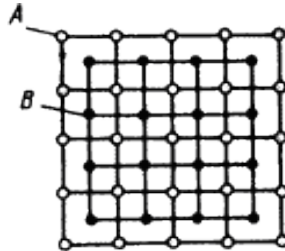


Рисунок 19 - Кристалічні решітки хімічної сполуки

Хімічній сполуці завжди можна приписати певну хімічну формулу. Наприклад, Fe_3C - цементит.

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

Наприклад, $\text{Fe} \sim 80 \text{ HB}$

$\text{Fe}_3\text{C} \sim 800 \text{ HV}$

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 20).

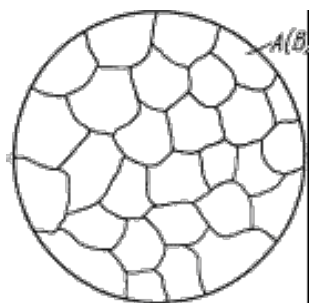


Рисунок 20 - Схема мікроструктури твердого розчину

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

4 Діаграми стану. Побудова діаграм стану

Діаграма стану показує зміну стану сплавів залежно від температури ($P = \text{const}$) і концентрації.

Якщо в системі є два компоненти, то діаграма буде мати два виміри: перший - температурна шкала, другий - концентрація сплаву (рисунок 21).

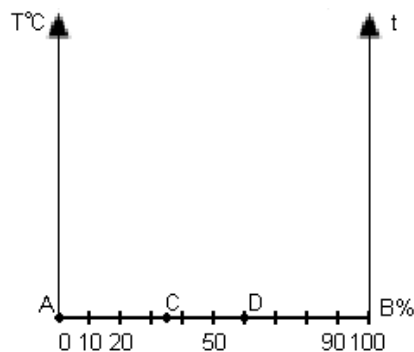


Рисунок 21 – Осі координат діаграми стану

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.

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 22).

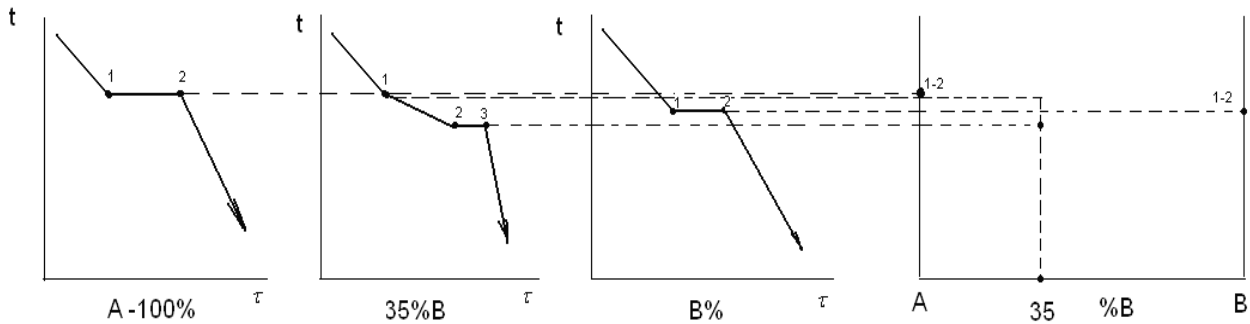


Рисунок 22 - Побудова кривих охолодження

Температуру металів вимірюють звичайно за допомогою термопари.

Через т. 1-3 проходить сплав який має 35 % компонента *B* і відповідно 65 % компонента *A*.

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 23).

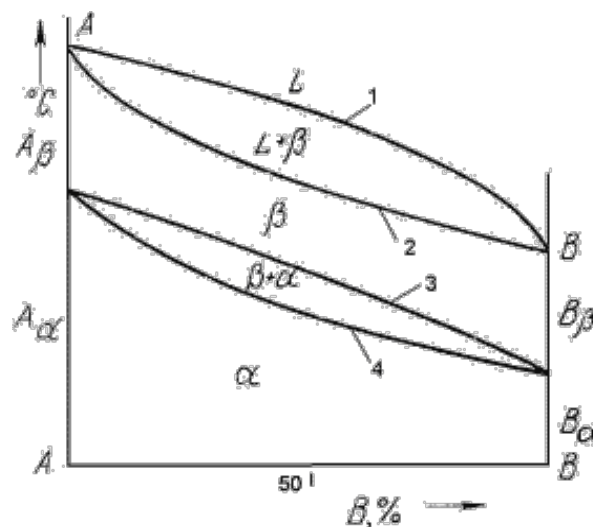


Рисунок 23 - Діаграма стану

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 *B*. Основними лініями є лінії ліквідус (1) і солідус (2), а також лінії, що відповідають фазовим перетворенням у твердому стані (3, 4).

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, розмежують на діаграмі області аналогічних фазових станів.

Розглянемо більш докладно процес кристалізації сплаву, що містить 60 % компонента *B*. При температурі t_1 сплав знаходиться в рідкому стані. У ньому є рівноважний набір фазових і концентраційних флуктуацій (відхилення від середнього хімічного складу). При охолодженні в інтервалі температур t_1 до t_2 - кількість флуктуацій при охолодженні збільшується стосовно α -фази. Нижче t_2 (тобто прийmemo t_3) починається процес кристалізації, критичний розмір зародка досягає максимальної величини. Нижче t_2 сплав є двофазним (β і α - кристали). Двофазний стан існує в інтервалі температур t_2 - t_5 (рисунок 24).

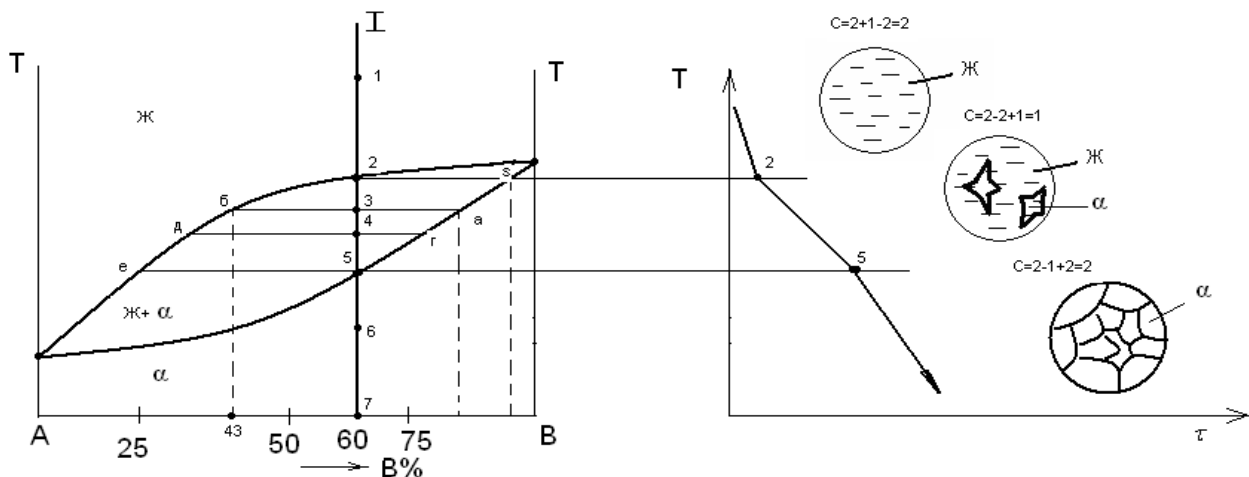


Рисунок 24 - Діаграма стану з необмеженою розчинністю компонентів

У процесі кристалізації (при кожній T^0 C) змінюється й концентрація фаз, і кількість кожної фази (при кристалізації кількість твердої фази збільшується, а рідкої зменшується). У будь-якій 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.

5 Діаграми Курнакова. Зв'язок структури та властивостей сплавів з діаграмою стану

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 25), які мають поліедричну або дендритну форму.

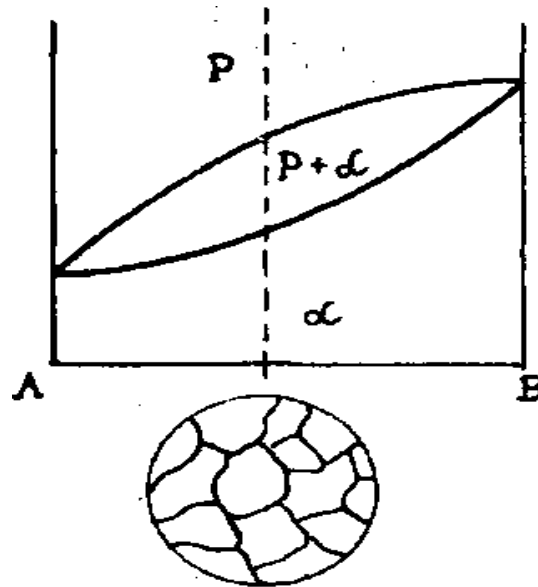


Рисунок 25 - Кристали α - твердого розчину

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 26), а також чисті метали, хімічні сполуки та проміжні фази. Мікроструктурно всі ці фази одна від одної майже не відрізняються.

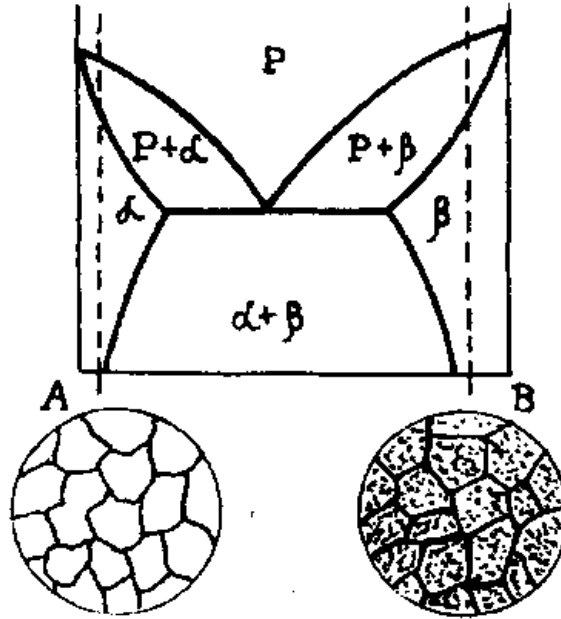


Рисунок 26 – Однофазні області твердих розчинів

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 27.

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

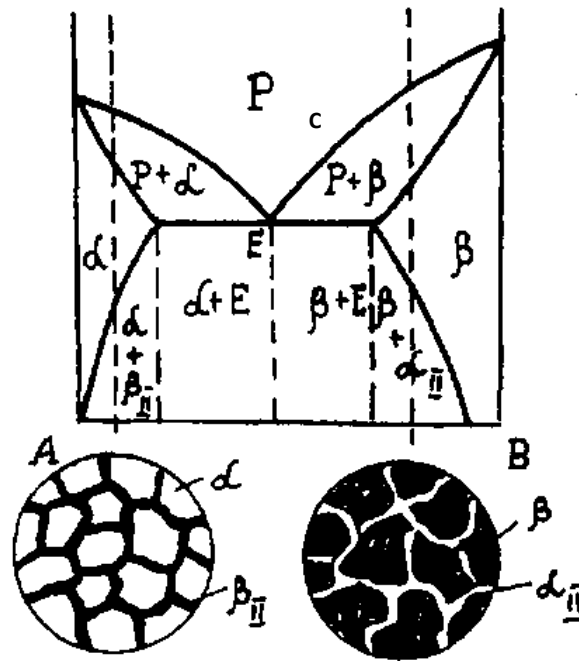


Рисунок 27 – Утворення вторинних фаз

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 t_1 (рисунок 28) фазові перетворення в сплаві відсутні. В інтервалі температур 1-2 із рідини виділяються кристали (первинні) чистого компонента А. Рідина, яка залишилась, має склад t_3 та кристалізується із одночасним виділенням суміші кристалів А та В: $E = (A+B)$. Кінцева мікроструктура доевтектичного

сплаву наведена на рисунку 28.

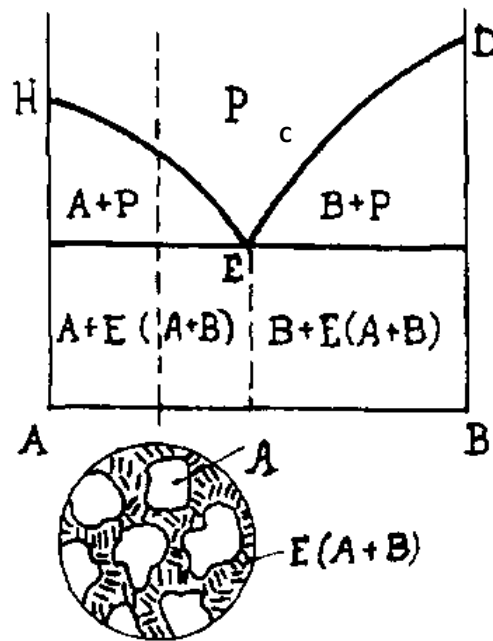


Рисунок 28 – Мікроструктура доевтектичного сплаву

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 29).

1 Якщо при сплавленні компонентів утворюється суміш двох фаз, то властивості сплавів із зміною складу змінюються за лінійною закономірністю, тобто адитивно (рисунок 29,а).

2 Якщо компоненти при сплавленні утворюють необмежені тверді розчини, то властивості змінюються за параболічною закономірністю із максимумом або мінімумом (рисунок 29,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 29,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 29,г).

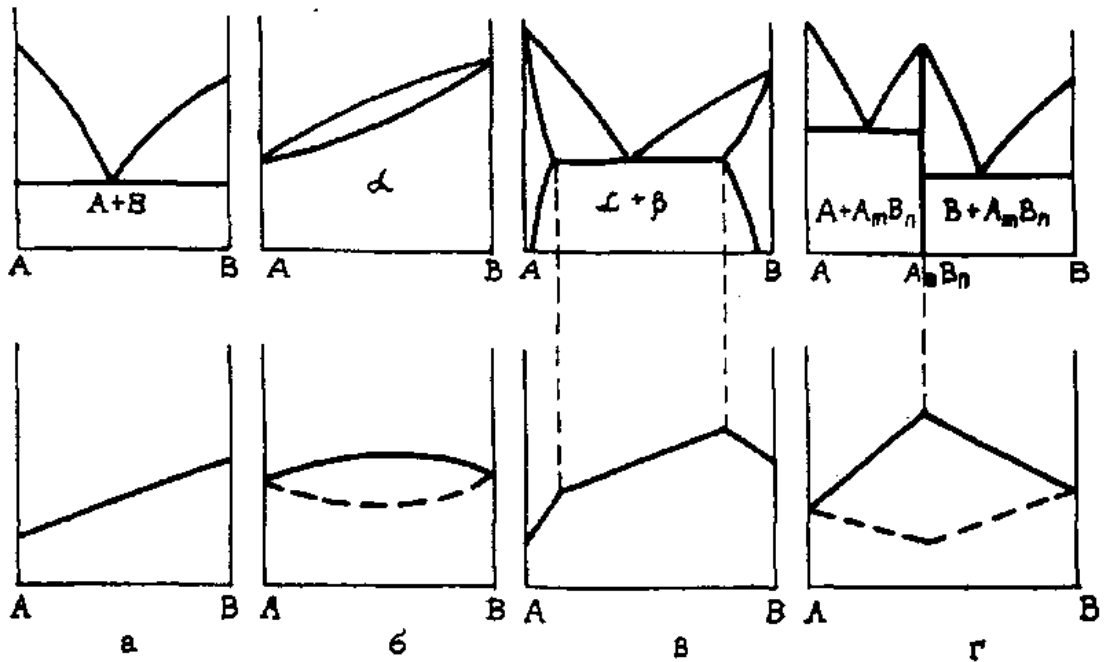


Рисунок 29 – Схема залежності між діаграмою стану та властивостями сплавів

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 ліквіації, а також схильність до утворення тріщин у відливках. Кращі ливарні властивості мають евтектичні сплави. Ці сплави мають кращу оброблюваність різанням та дають найбільшу чистоту поверхні. Однофазні сплави - тверді розчини - краще деформуються у гарячому та холодному стані.

ЛЕКЦІЯ 5

ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВІ СПЛАВИ. ДІАГРАМА СТАНУ ЗАЛІЗО - ВУГЛЕЦЬ

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

1 Діаграма Fe – Fe₃C

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 30.

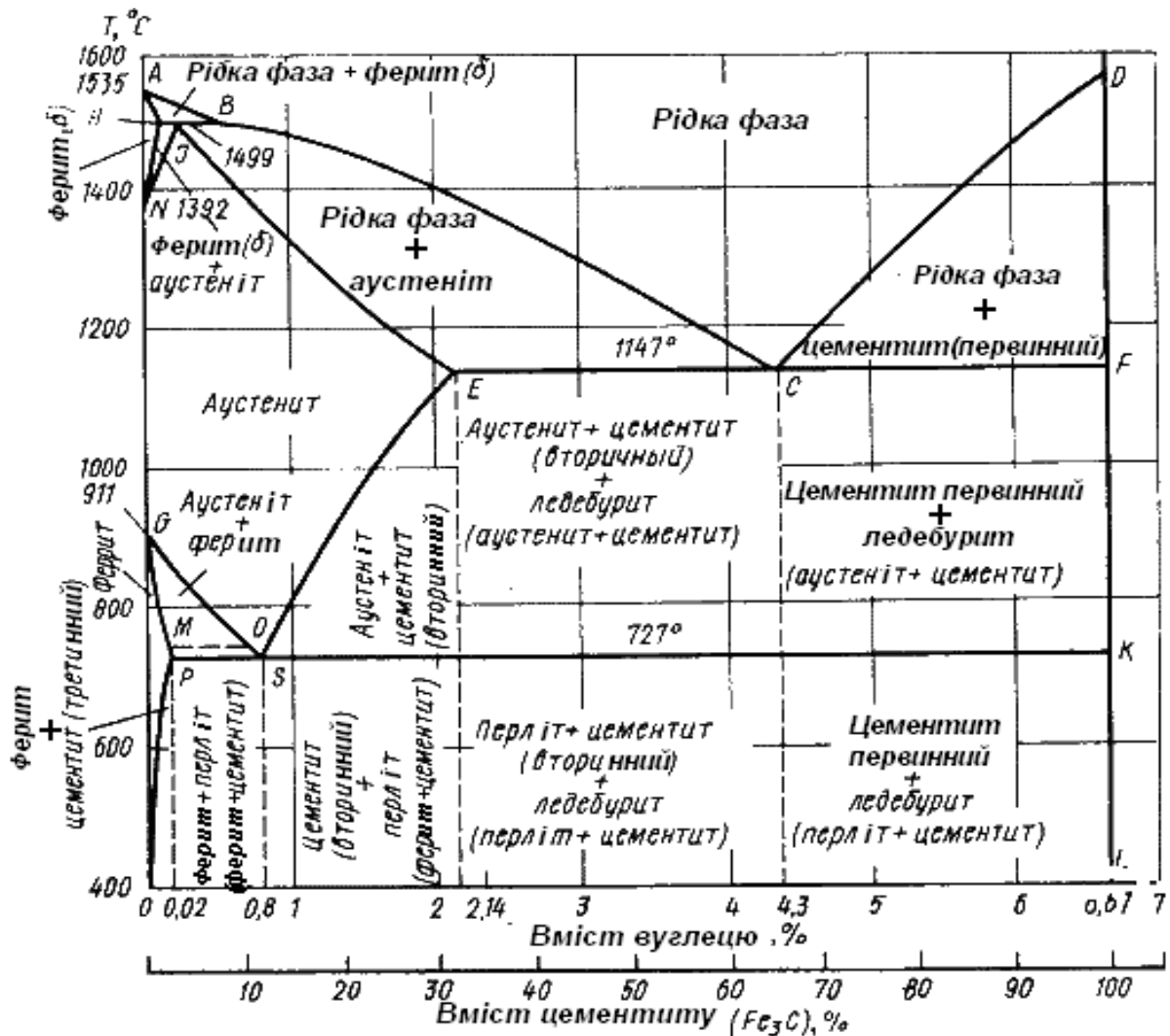


Рисунок 30 - Діаграма стану залізо - цементит

2 Компоненти і фази залізовуглецевих сплавів

Компонентами залізовуглецевих сплавів є залізо, вуглець і цементит.

1 *Залізо* – перехідний метал сріблясто-світлого кольору. Має високу температуру плавлення – $1539^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

У твердому стані залізо може знаходитися у двох модифікаціях. Поліморфні перетворення відбуваються при температурах 911 і 1392 °C. При температурі нижче 911 °C існує Fe_α з об'ємно центрованою кубічною решіткою. В інтервалі температур 911... 1392 °C стійким є Fe_γ із гранецентрованою кубічною решіткою.

Вище 1392 °С залізо має об'ємно центровану кубічну решітку і називається Fe_{δ} або високотемпературне Fe_{α} . Високотемпературна модифікація Fe_{α} не являє собою нової алотропічної форми. Критичну температуру 911 °С перетворення $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$ позначають т. А₃, а температуру 1392 °С перетворення $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$ – т. А₄.

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

Залізо технічної чистоти має невисоку твердість (80 НВ) і міцність (межа міцності – $\sigma_B = 250$ МПа, межа текучості – $\sigma_T = 120$ МПа) і високі характеристики пластичності (відносне подовження – $\delta = 50$ %, а відносне звуження – $\psi = 80$ %).

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 °С, щільність – 2,5 г/см³) або у формі алмазу зі складними кубічними решітками з координаційним числом рівним чотирьом (температура плавлення – 5000 °С).

В сплавах заліза з вуглецем вуглець знаходиться в стані твердого розчину із залізом і у вигляді хімічної сполуки – цементиту (Fe_3C), а також у вільному стані у вигляді графіту (у сірих чавунах).

3 *Цементит (Fe_3C)* – 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 °С). При низьких температурах цементит слабо феромагнітний, магнітні властивості втрачає при температурі близько 217 °С.

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)** $Fe_{\alpha}(C)$ – 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 °С (т. P). Вуглець розташовується в дефектах решіток.

При температурі вище 1392°С існує високотемпературний ферит δ ($Fe_{\delta}(C)$), з граничною розчинністю вуглецю 0,1 % при температурі 1499 °С (т. J).

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

3 **Аустеніт (А)** $Fe_{\gamma}(C)$ – 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 °С (т. S), максимальну – 2,14 % при температурі 1147 °С (т. E).

Аустеніт має твердість 200...250 НВ, пластичний (відносне подовження – $\delta = 40...50$ %), 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 (C_I), цементит вторинний (C_{II}), цементит третинний (C_{III}). 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 Процеси при структуроутворенні залізовуглецевих сплавів

Лінія ABC – **ліквідус** системи. На ділянці *AB* починається кристалізація фериту δ , на ділянці *BP* починається кристалізація аустеніту, на ділянці *CD* – кристалізація цементиту первинного.

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



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



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

При температурі нижче 727 °С 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 MO при постійній температурі 768 °С спостерігаються магнітні перетворення.

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



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 *arrêt* - зупинка):

A1 - лінія PSK (727 °C) - перетворення $\text{P} \leftrightarrow \text{A}$;

A2 - лінія M (768 °C, т. Кюрі) - магнітні перетворення;

A3 - лінія GS (змінна температура, що залежить від вмісту вуглецю в сплаві) - перетворення $\text{F} \leftrightarrow \text{A}$;

A4 - лінія NJ (змінна температура, що залежить від вмісту вуглецю в сплаві) – перетворення $\text{A} \leftrightarrow \text{F}_\delta$;

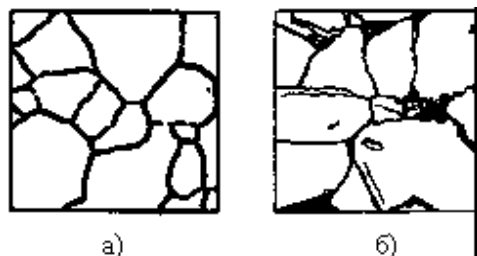
Acm - лінія SE (змінна температура, що залежить від вмісту вуглецю в сплаві) - початок виділення цементиту вторинного (іноді позначається A3).

Так як при нагріванні й охолодженні перетворення відбуваються при різних температурах, щоб відрізнити ці процеси вводяться додаткові позначення. При нагріванні додають букву с, тобто A_{c1} , при охолодженні - букву r, тобто A_{r1} .

4 Структури залізовуглецевих сплавів

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 30), їх називають технічне залізо. Мікроструктури сплавів подані на рисунку 31. Структура таких сплавів після закінчення кристалізації складається або із зерен фериту (рисунок 31,а), при вмісті вуглецю менше 0,006 %, або із зерен фериту й кристалів цементиту третинного, розташованих по межах зерен фериту (рисунок 31,б), якщо вміст вуглецю від 0,006 до 0,02 %.



а - вміст вуглецю менше 0,006 %; б - вміст вуглецю 0,006...0,02 %

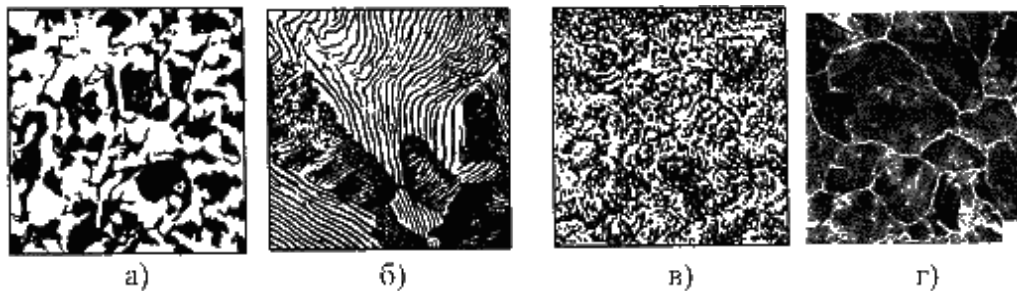
Рисунок 31 - Мікроструктури технічного заліза

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 32.

За вмістом вуглецю та за структурою сталі підрозділяються на доевтектоїдні ($0,02 < C < 0,8$ %), структура ферит + перліт ($\Phi + \Pi$) (рисунок 32,а); евтектоїдні ($C = 0,8$ %), структура перліт (Π), перліт може бути пластинчастий або зернистий (рисунок 32,б, в); заевтектоїдні ($0,8 < C < 2,14$), структура перліт + цементит вторинний ($\Pi + \text{Ц}_{\text{II}}$), цементитна сітка розташовується навколо зерен перліту (рисунок 32,г).



а - доевтектоїдна сталь; б - евтектоїдна сталь (пластинчастий перліт); в - евтектоїдна сталь (зернистий перліт); г - заевтектоїдна сталь ($\Pi + \text{Ц}_{\text{II}}$)

Рисунок 32 - 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 33.



а - доевтектичний білий чавун ($\Pi + \text{Л} + \text{Ц}_{\text{II}}$); б - евтектичний білий чавун (Л);
в - заевтектичний білий чавун ($\text{Л} + \text{Ц}_{\text{I}}$).

Рисунок 33 - Мікроструктури білих чавунів

За кількістю вуглецю і за структурою білі чавуни підрозділяються на: доевтектичні ($2,14\% < C < 4,3\%$), структура перліт + ледебурит + цементит вторинний ($\Pi + \text{Л} + \text{Ц}_{\text{II}}$); евтектичні ($C = 4,3\%$), структура ледебурит (Л); заевтектичні ($4,3\% < C < 6,67\%$), структура ледебурит + цементит первинний ($\text{Л} + \text{Ц}_{\text{I}}$).

У структурі доевтектичних білих чавунів наявний 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.

ЛЕКЦІЯ 6

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

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

1 Класифікація сталей

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:

$0,04 \leq S \leq 0,06 \%$, $0,04 \leq P \leq 0,08 \%$ - вуглецеві сталі звичайної якості:

$P, S = 0,03 \dots 0,04 \%$ - якісні сталі;

$P, S \leq 0,03 \%$ - високоякісні сталі.

5 За способом виплавки:

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 Маркування вуглецевих сталей

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: $S \leq 0,04\%$.

Сталь 05, 08, 10, 15...85
(0,05 % C) (0,85 % C)

Цифри вказують вміст вуглецю у сотих частках:

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

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 % C).

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 %C)

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, СтЗ – 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.

ТО: об'ємне гартування +високий відпуск

Р50, М75, М60 - цифри – вага 1 м. $\downarrow P = 1000$ кг (0,69 – 0,82 % С)

$\sigma_B = 800$ МПа; $HV = 360$ МПа; $\delta = 4\%$.

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

$$\sigma_B = 560 \text{ МПа}; \quad \delta = 19 \%$$

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

$$\sigma_B = 820 \text{ МПа}; \quad HV = 235 \text{ МПа}; \quad \delta = 10\%.$$

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.

$$S \leq 0,1-0,3; \quad P \approx 0,15 - 0,2$$

Сталь А12; А20; А30; А40, А60

А – автоматна; 60 – 0,6 % С.

Частково сірку нейтралізує марганець А30Г.

Для підвищення пластичності іноді додають свинець $\approx 0,3$ % 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 ($> 0,7 \% C$).

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 $S, P \leq 0,025 \%$.

Можливий підвищений вміст марганцю У12Г.

Сталі призначені для столярного та слюсарного інструменту, при нагріванні до $200^{\circ}C$ 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 Класифікація чавунів

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 Будова, властивості, класифікація і маркування чавунів

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 34.

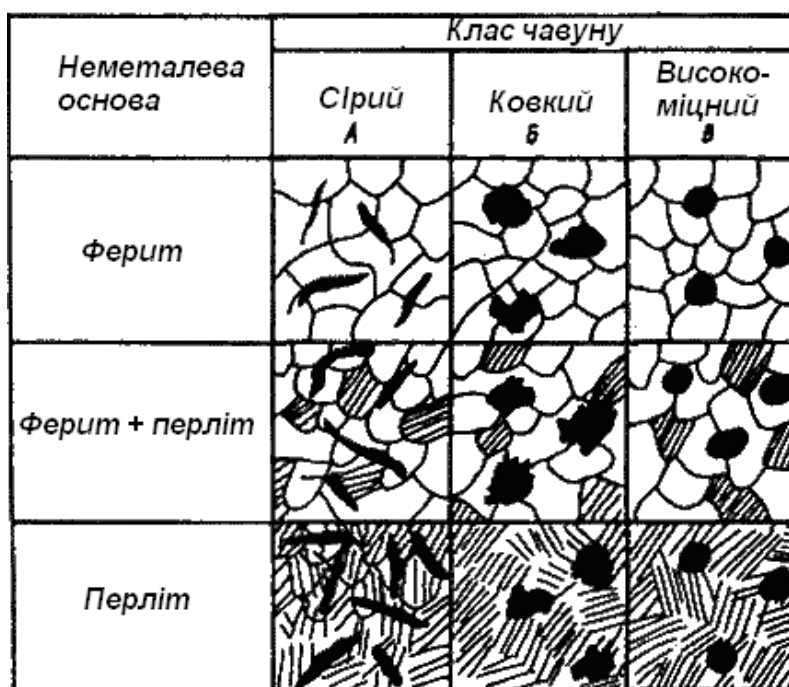


Рисунок 34 - Схеми мікроструктур чавуну залежно від металевої

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 - $\sigma_B=180$ МПа (тимчасовий опір).

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

Високоміцний чавун з кулястим графітом

Високоміцні чавуни можуть мати феритну (ВЧ 35), феритно-перлітну (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, $\sigma_T=300...420$ МПа, що вище межі текучості сталевих виливків. Також характерна досить висока ударна в'язкість і втомна міцність, $\sigma_{-1}=230...250$ 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 ($\sigma_{\text{в}}=500$ 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 35.

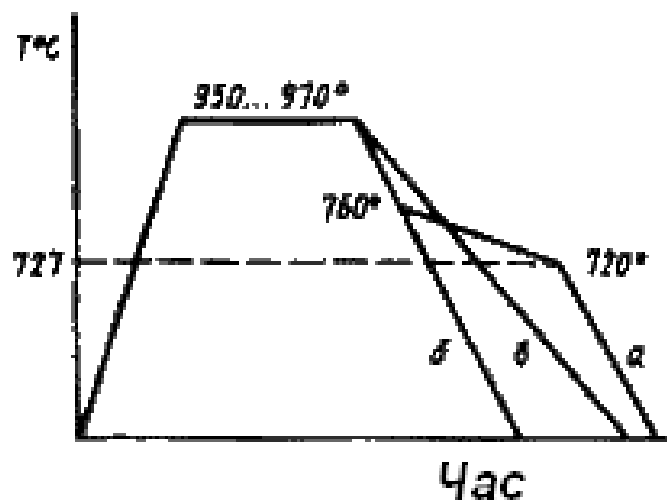


Рисунок 35 - Відпал ковкого чавуну.

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



Структура після витримки складається з аустеніту й графіту (вуглець відпалу). При повільному охолодженні в інтервалі 760... 720 °С 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 29) 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 10^7 , 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1 Лахтин, Ю.М. Материаловедение [Текст]: учеб. для высших технических учебных заведений / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.

2 Гуляев, А.П. Металловедение [Текст]: учеб. для вузов / А.П. Гуляев. - 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallургия, 1986. – 544 с.

3 Материаловедение [Текст]: учеб. для высших технических учебных заведений / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов [и др.]; под. общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.

