

**Міністерство освіти і науки України  
Любешівський технічний коледж  
Луцького національного технічного університету**

## **МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

**Конспект лекцій  
Частина II**

**для студентів II курсу  
спеціальності 5.10010201 «Експлуатація та ремонт машин і  
обладнання агропромислового виробництва»  
освітньо – кваліфікаційного рівня: «Молодший спеціаліст»  
денної форми навчання**

**Редакційно – видавничий відділ ЛНТУ  
Любешів 2010**

Конспект лекцій з курсу «Матеріалознавство» для студентів спеціальності 5.10010201 «Експлуатація та ремонт машин і обладнання агропромислового виробництва» відповідає робочій навчальній програмі. У конспекті лекцій згідно з тематичним плануванням курсу викладено у стислій і доступній формі три теми: виробництво сталі, виробництво чавуну та виробництво кольорових матеріалів.

Укладач: Оласюк Я.В.

Рецензент :

Відповідальний за випуск: Кузьмич Т.П.

Затверджено науково-методичною радою ЛНТУ,  
протокол №\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2010р.

Затверджено методичною радою Любешівського технічного коледжу ЛНТУ,  
протокол №\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2010р.

Затверджено на засіданні методичної комісії викладачів механізаторського  
профілю ЛТК ЛНТУ,  
протокол №\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2010р.

## ЗМІСТ

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                   | 4  |
| 1. БУДОВА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ.....                             | 5  |
| 2. КРИСТАЛІЗАЦІЯ І БУДОВА МЕТАЛЕВОГО ЗЛИВКА.....             | 9  |
| 3. МЕТАЛЕВІ СПЛАВИ.....                                      | 10 |
| 3.1 Взаємодія металів у твердому стані.....                  | 11 |
| 4. УТВОРЕННЯ ХІМІЧНИХ СПОЛУК.....                            | 12 |
| 5. ОСНОВНІ ТИПИ ДІАГРАМ СТАНУ СПЛАВІВ.....                   | 13 |
| 5.1 Правило фаз і відрізків.....                             | 17 |
| 5.2 Зв'язок властивостей сплавів з типом діаграм станів..... | 19 |
| 6. ДІАГРАМА СТАНУ «Fe – C».....                              | 20 |
| 7. ОСНОВИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ.....                             | 24 |
| 7.1 Термічна обробка.....                                    | 24 |
| 7.2 Відпал. Нормалізація.....                                | 25 |
| 7.3 Гарт і відпуск.....                                      | 27 |
| 7.4 Хіміко-термічна обробка.....                             | 30 |
| 8. МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....                     | 30 |
| 8.1 Класифікація сталі (загальна).....                       | 30 |
| 8.2 Чавуни.....                                              | 33 |
| 8.3 Пластична деформація і рекристалізація металів.....      | 35 |
| 9. КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ.....                                     | 40 |
| 9.1 Алюміній і його властивості.....                         | 40 |
| 9.2 Мідь.....                                                | 45 |
| 9.3 Інші кольорові метали.....                               | 48 |
| 10. НЕМЕТАЛІЧНІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....                 | 50 |
| 10.1 Типові термопластичні матеріали.....                    | 52 |
| 10.2 Типові термореактивні матеріали.....                    | 54 |
| 10.3 Гумові матеріали.....                                   | 55 |
| 10.4 Композиційні матеріали.....                             | 56 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....                                       | 62 |

## ВСТУП

Основна вимога машинобудування – поліпшення якості матеріалів деталей машин і механізмів. Металографія виникла в ХІХ ст. як самостійна галузь знання і наукова дисципліна. Металознавство охоплює широке коло питань, вивчає все, що відноситься до будови або структури металів і сплавів. Відомо більше 50 чистих металів і безлічі сплавів. Метою металознавства є вивчення структури і властивостей металів і їх сплавів, обґрунтування вибору металів для тих або інших цілей, а також розробка або дослідження нових металевих матеріалів, що володіють потрібними властивостями. «Матеріалознавство» ще більше розширило охоплювані питання.

Ця наука виникла в практиці російських металургійних заводів. Основоположники її – В.А. Аносов, Д.К.Чернов. В.А. Аносов на Златоустовському заводі займався виробництвом булатної сталі. Всі її властивості пов'язані з виплавною і подальшою тепловою обробкою. Вперше в 1831 р. він застосував мікроскоп для дослідження структури сталі, звернув увагу на залежність властивостей сталі від її структури, основоположник сучасних легованих сталей.

Д.К.Чернов у 1866 р. на Обухівському заводі керував заміною бронзових гармат на сталеві. Зробив ряд теоретичних відкриттів: критичні точки (1869), структура зливка, поліморфізм заліза.

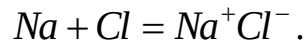
Перша діаграма Чернова. Точка «А» визначена за появою гарту, точка «В» – за перетворенням сталі з великокристалічної будови в дрібнокристалічну будову. Він першим відмітив, що при нагріві існує температура, нижче за яку звичайна сталь не гартується. Визначив температуру точки «В», що відповідає темно-червоному кольору коління і різна для сталей з різним вмістом вуглецю. Визначив точку «Х» – початок плавлення сталі. Точка «С» – кінець плавлення сталі. Відкрив точки «D» і «Е». Точка «D» – приблизно 200°C і відповідає температурі, до якої треба швидко охолоджувати сталь при гарті, щоб отримати високу твердість. Точка «Е» – приблизно 450°C. При цій температурі відбувається повний «відпуск» сталі. Розробив вчення про будову сталевих зливок, вперше вказав на кристалічну будову металів.

# 1 БУДОВА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Характерною особливістю будови атомів металів є мале число електронів на зовнішній орбіті і їх слабкий зв'язок з ядром. Легкість відриву валентних електронів від ядра вважається обумовлюючою всі основні властивості металів.

У твердих тілах існують чотири типи зв'язків:

1. *Іонні*, коли при взаємодії один атом віддає свої електрони іншому і, як результат, один з них стає позитивно зарядженим, а інший – негативно



2. *Ковалентні* зв'язки в однойменних атомів і при утворенні ряду металевих з'єднань. Засновані на тому, що при взаємодії атомів відбувається немовби усупільнення двох або декількох електронів. Ці узагальнені електрони одночасно належать декільком атомам. Стійкою конфігурацією зовнішньої орбіти є така, коли на ній 8 електронів.

3. *Металевий* зв'язок характеризується наявністю як би каркаса з позитивно заряджених іонів і усередині нього вільно переміщуються валентні електрони. При цьому переміщенні вони взаємодіють одночасно з декількома позитивно зарядженими іонами і утворюють зв'язок з ними. Приводить до утворення твердих кристалічних тіл.

4. *Молекулярний* зв'язок (Ван-дер-Ваальса). Існує в ряду речовин між молекулами з ковалентними внутрішньомолекулярними зв'язками. Приклад – парафін, який має низьку температуру плавлення, що свідчить про неміцність кристалічної молекулярної решітки.

*Всі тверді тіла розділяються на дві групи:*

- аморфні;
- кристалічні.

На відміну від аморфних тіл, кристалічні тіла характеризуються трьома особливостями:

- 1) розташуванням атомів або у внутрішній будові;
- 2) у властивостях;
- 3) процесом кристалізації або переходом з рідкого стану в твердий.

На відміну від аморфних тіл, кристалічні тіла володіють закономірним розташуванням атомів. Атоми розташовуються в певному порядку, на певних відстанях один від одного, утворюючи елементарні або кристалічні решітки.

Елементарні решітки (рис.1) – мінімальна група атомів, що утворює правильну геометричну фігуру, переміщенням або трансляцією якої можна побудувати весь кристал.

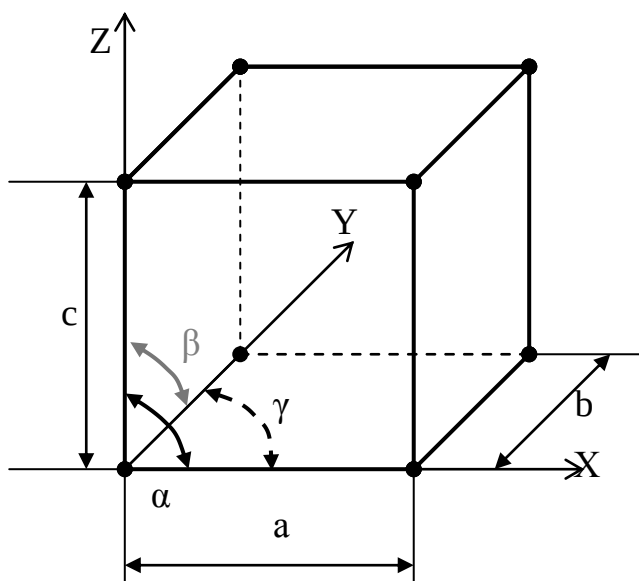


Рис.1 – Елементарні решітки металів

1. Кути між гранями:

$xZ$  -  $\alpha$

$yZ$  -  $\beta$

$xY$  -  $\gamma$

2. Відстань між атомами:

$x \rightarrow a$ ;  $y \rightarrow b$ ;  $z \rightarrow c$ . Це *параметри решіток*.

Існує сім кристалічних систем залежно від кутів і параметрів:

|   |               |                                                |                   |
|---|---------------|------------------------------------------------|-------------------|
| 1 | триклінна     | $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$  | $a \neq b \neq c$ |
| 2 | моноклінна    | $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$        | $a \neq b \neq c$ |
| 3 | ромбічна      | $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$        | $a \neq b \neq c$ |
| 4 | ромбоедрична  | $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$        | $a = b = c$       |
| 5 | кубічна       | $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$           | $a = b = c$       |
| 6 | тетрагональна | $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$           | $a = b < c$       |
| 7 | гексагональна | $\alpha = \beta = 90^\circ \gamma = 120^\circ$ | $a = b < c$       |

Ці сім систем можуть утворювати 14 типів просторових решіток.

*Кубічні системи дають три типи просторових решіток:*

1) звичайний (простий) куб, коли атом розташований тільки по вершинах куба (метали так не кристалізуються);

2) об'ємцентрований куб (ОЦК), коли, окрім 8 атомів у вершинах, є 1 атом в центрі куба. Такі решітки мають багато металів:  $Fe_\alpha, W, Cr, V, Mo, Pb, Nb$ ;

3) *гранецентрований куб (ГЦК)*, коли, окрім 8 атомів у вершинах, є ще атоми в центрі кожної грані. Такі решітки також мають багато металів:  $Fe_\gamma, Ni, Al, Ag, Au, Cu, Pt$ .

Приклади інших типів решіток:

1) тетрагональна об'ємоцентрована (рис.2)

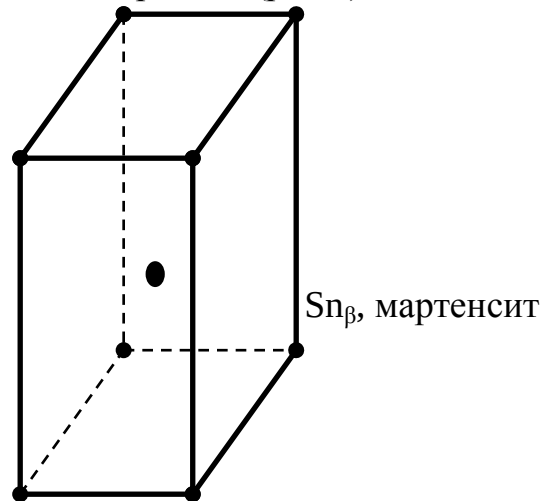


Рис.2 – Тетрагональна об'ємоцентрована решітка

2) гексагональна з центрованими основами (рис.3)

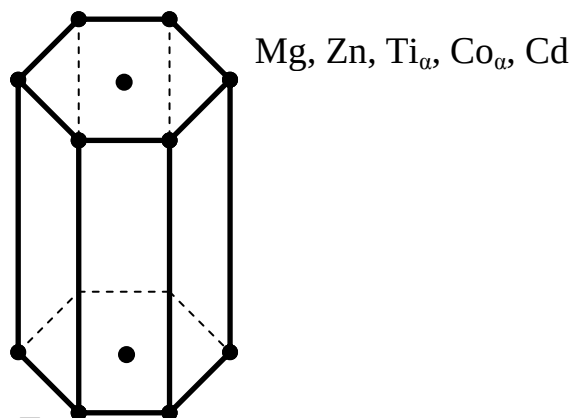


Рис.3 – Гексагональна з центрованими основами

Щільність різних кристалічних решіток різна і характеризується координаційним числом  $K$ , під яким розуміють число атомів, що знаходяться на рівній і найменшій відстані від даного атома. Для *ОЦК*  $K=8$ , для *ГЦК*  $K=12$ .

У кристалах завжди є дефекти (недосконалість) будови, викликані порушенням розташування атомів у кристалічній решітці. Дефекти кристалічної будови за геометричними ознаками підрозділяють на точкові, лінійні й поверхневі.

1. «**Точкові дефекти**» – вакансії і міжвузлові атоми. Окремі атоми мають енергію, що перевершує середню, і можуть переміщуватися з одного місця в інше.

Такі атоми, особливо розташовані ближче до поверхні, виходять на поверхню, а їх місце можуть зайняти атоми, що знаходяться далі від поверхні. Звільнене місце, де знаходився атом, який перемістився, називається «**вакансією**». Число вакансій збільшується з підвищенням температури, при обробці тиском, опромінюванні та інших видах обробки. Вакансії відіграють важливу роль в дифузійних процесах, що відбуваються в металах і сплавах «Міжвузлові дефекти» утворюються в результаті переходу атома з вузла решітки в міжвузол кристалічної решітки. Точкові дефекти приводять до спотворення кристалічної решітки.

2. «**Лінійні дефекти**» – дислокації. Розрізняють два види дислокацій: *крайові* і *гвинтові*. Крайові дислокації є місцеві спотворення кристалічної решітки; гвинтова дислокація утворюється при неповному зрушенні кристала по площині. Дислокації утворюються у процесі кристалізації, при хімічній і хіміко-термічній обробках, пластичній деформації та інших видах дій на структуру сплавів.

3. «**Поверхневі дефекти**» є поверхні розділу між окремими кристалами і їх блоками.

Метали і сплави знаходяться в трьох агрегатних станах: твердому, рідкому, газоподібному. Перехід металу з рідкого стану в твердий називають **кристалізацією**. Цей вид кристалізації називається *первинною кристалізацією* на відміну від *вторинної кристалізації* (перекристалізації), яка має місце в твердому металі. У чистих металах твердий стан переходить в рідкий при температурі плавлення, рідкий в газоподібний – при температурі кипіння. Температура плавлення металів коливається від – 39°C (для ртуті) до 3390°C (для вольфраму). Процес кристалізації складається з двох елементарних процесів:

- 1) зародження центрів кристалізації (утворення зародків кристалів);
- 2) зростання кристалів навколо цих зародків.

Не всяка частинка твердої фази може бути центром кристалізації. Їм можуть бути частинки, збільшення розмірів яких приводить до зменшення вільної енергії, тобто центром кристалізації є частинки з розміром  $r > r_k$ , а всі частинки менші, ніж  $r_k$ , розчинятимуться. Процес кристалізації, тобто число зародків (ч.з.) і швидкість кристалізації (ш.к.) залежать від ступеня переохолодження.

Число зародків – це число центрів кристалізації, що виникають в одиницю часу в одиниці об'єму.

Швидкість кристалізації – лінійні зміни розмірів кристалів в одиницю часу.

Ступінь переохолодження – це різниця між теоретичною і дійсною температурою кристалізації.

Кристал – це геометрично правильна фігура з плоскими гранями, що природно утворилася, форма якої залежить від типу просторової решітки.

Зерно – неповногранний кристал із закругленими гранями. Утворюється в результаті зіткнення сусідніх зерен при кристалізації.



Дендрит – спотворений кристал деревовидної форми. Швидко росте в одному вертикальному напрямі. Можуть виникати осі другого порядку, третього і т.д. У результаті дендрит перетворюється на зерно.

## 2 КРИСТАЛІЗАЦІЯ І БУДОВА МЕТАЛЕВОГО ЗЛИТКА

*У структурі зливка розрізняють три основних зони:*

- 1) зовнішня зона дрібних рівновісних кристалів;
- 2) зона шестовидних крупних кристалів, витягнутих перпендикулярно до поверхні зливка;
- 3) центральна частина зливка (зона крупних рівновісних кристалів).

**Усадочні раковини** утворюються завдяки тому факту, що перехід переважної більшості металів з рідкого стану в твердий супроводжується суттєвим зменшенням об'єму.

**Поліморфізмом, або алотропією**, називають здатність металу в твердому стані при зміні температури перебудовувати свою кристалічну решітку. Поліморфні перетворення супроводжуються виділенням або поглинанням теплоти, а також зміною властивостей металу. Різні алотропічні стани називають модифікаціями. Кожній модифікації властиво залишатися стійкою лише в межах визначеного для даного металу інтервалу температур. Алотропічні форми позначають грецькими буквами  $\alpha, \beta, \gamma$  і т.д. На кривих охолодження і нагріву перехід з одного стану в інший характеризується зупинкою (для чистих металів) або зміною характеру кривої (для сплавів). При алотропічних перетвореннях, окрім змін властивостей (теплопровідність, електропровідність, механічні, магнітні властивості), спостерігають зміни об'єму металу і розчинності (наприклад, вуглецю в залізі). Алотропічні перетворення властиві багатьом металам ( $Fe, Sn, Ti$  та ін.).

Для заліза крива охолодження має наступний вигляд (рис.4).

В інтервалі 911 - 1392°C  $Fe$  має ГЦК, а в інтервалі від 0 до 911°C і від 1392°C до 1539°C - ОЦК. Змінюються також магнітні властивості при температурі 768°C.

$Fe_{\delta}$  – ОЦК  $a = 2,93A^{\circ}$ ;

$Fe_{\gamma}$  – ГЦК  $a = 3,64A^{\circ}$  – немагнітні;

$Fe_{\beta}$  – ОЦК  $a = 2,90A^{\circ}$  – немагнітні;

$Fe_{\alpha}$  – ОЦК не супроводжується змінами решітки, але змінюються магнітні властивості.

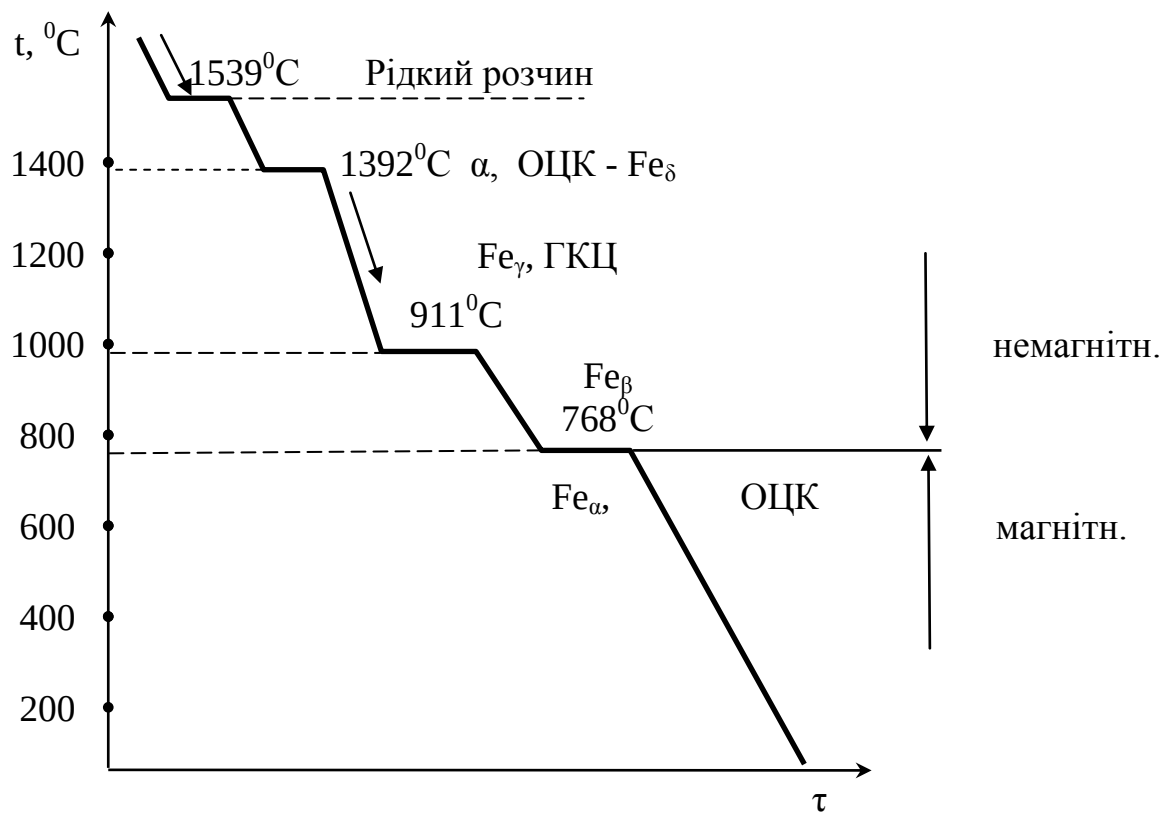


Рис.4 – Крива охолодження заліза

### 3 МЕТАЛЕВІ СПЛАВИ

Металевий сплав отримують сплавом двох або більш металів; сплавом переважно металів з неметалами; спіканням порошків декількох металів. Отримане з'єднання володіє вищими властивостями, ніж чисті метали.

Елемент, що входить до складу сплаву, називається *компонентом*. Компонент, переважаючий в сплаві кількісно, називається *основним*. Компоненти, що вводяться в сплав для додання йому потрібних властивостей, називаються *легуючими*. Сукупність компонентів сплаву називається *системою*.

Сплави класифікують за числом компонентів – на подвійні (бінарні), потрійні, четверні і багатокомпонентні; за основним елементом – залізні, алюмінієві, магнієві, титанові, мідні і т. д.; за використанням – конструкційні, інструментальні, жароміцні, антифрикційні, пружинні, шарикопідшипникові і т. д.; за щільністю – важкі (на основі вольфраму, ренію, свинцю та ін.), легкі (алюмінієві, магнієві, берилієві та ін.); за температурою плавлення – тугоплавкі (на основі ніобію, молібдену, тінталу, вольфраму та ін.), легкоплавкі (припої, бабіти, друкарські сплави та ін.); за технологією виготовлення напівфабрикатів і виробів – ливарні, деформовані, спечені, гранульовані, композиційні і т.д.

Залежно від природи компонентів і від співвідношення їх масових кількостей сплави після твердіння можуть утворювати механічні суміші, тверді розчини і

хімічні сполуки. Завжди виходять з випадку необмеженої розчинності металів в рідкому стані.

### 3.1 Взаємодія металів у твердому стані

1. *Механічні суміші* утворюються, коли з рідкого розплаву одночасно випадають кристали складових його компонентів. Це має місце, коли компоненти не здібні до взаємного розчинення у твердому стані або володіють обмеженою розчинністю.

2. *Тверді розчини* утворюються тоді, коли кристалі сплаву містять одночасно декілька компонентів, які можуть входити до складу кристалів у довільних вагових кількостях. При утворенні твердих розчинів кристалічна решітка розчинника зберігається, змінюються тільки її параметри. Якщо кристалічні решітки компонентів однакові і атомні розміри відрізняються не більше ніж на 15%, то такі компоненти утворюють тверді розчини (необмежений розчин).

*Розрізняють три типи твердих розчинів:*

- 1) заміщення;
- 2) впровадження;
- 3) віднімання.

*Тверді розчини заміщення мають три різновиди:*

- 1) тверді розчини заміщення необмеженої розчинності;
- 2) тверді розчини заміщення обмеженої розчинності (хоча б одна з перерахованих умов не виконується);
- 3) впорядковані тверді розчини, або надструктури, в яких атоми речовини, які розчиняються, займають тільки певні місця в решітці розчинника ( $CuAg, Cu_3Au$ ).

*Тверді розчини впровадження* – атоми речовини, які розчиняються, впроваджуються в просторову решітку розчинника. При цьому атоми розчиняючої речовини значно менше атомів розчинника:

$$\frac{d_{\text{розчинююч.}}}{d_{\text{розчинника}}} \leq 0,59.$$

$Fe, C, N$  можуть бути тільки обмеженої розчинності.

*Тверді розчини віднімання* утворюються на основі хімічних сполук, коли в решітці хімічної сполуки не вистачає атомів однієї зі складових елементів, наприклад, “Вюстит” твердий розчин  $O_2$  в  $FeO$ .

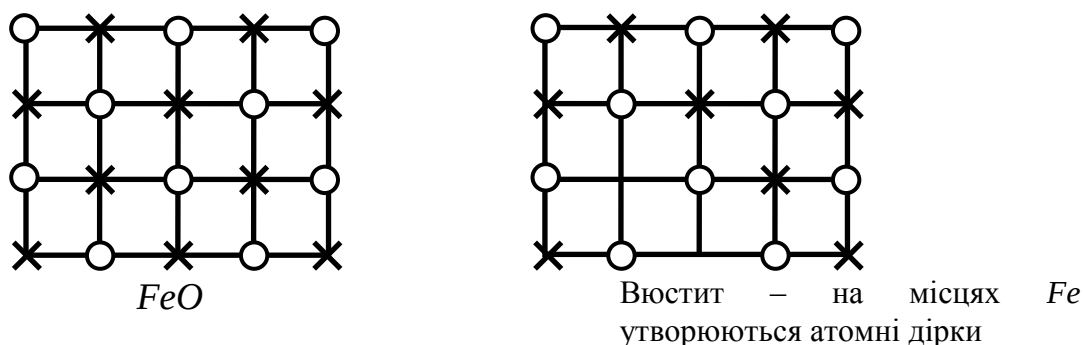
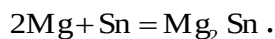
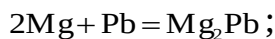
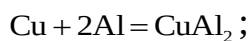


Рис.5 – Решітка твердого розчину «віднімання»

#### 4 УТВОРЕННЯ ХІМІЧНИХ СПОЛУК

Хімічні сполуки є самостійними елементами. Мають власні решітки, часто не схожі на решітки металів, які утворили дані з'єднання:



Виходить нова речовина, яка має власну просторову решітку, володіє своїми особливими фізико-хімічними властивостями і поводить себе як чистий елемент.

*Хімічні сполуки діляться на дві групи:*

1) хімічні сполуки, що підкоряються законам валентності, таким чином в молекулі хімічної сполуки число валентних електронів повинне бути однаковим:  
 $Mg_2^{-2}Si^{+4}$ ;

2) переважне число інтерметалевих з'єднань не підкоряються законам валентності і ці хімічні сполуки виділяють в особливу групу – група проміжних фаз (їх багато типів).

*Правило фаз* – встановлює залежність між числом компонентів, числом змінних зовнішніх факторів рівноваги і числом фаз.

$$C = K + P - \Phi ,$$

де  $C$  – число ступенів свободи – це число зовнішніх і внутрішніх чинників рівноваги, які можна змінювати, не змінюючи стан системи.

1.  $X$  – внутрішні фактори (концентрація або склад);

$\left. \begin{matrix} 2.t^{\circ} \\ 3.P \end{matrix} \right\}$  зовнішні фактори.

*Фаза* – це однорідна складова в неоднорідній системі, відокремлена фізичною щільністю розділу.

*Компонент* – складова системи. Можуть бути чисті метали й стійкі хімічні сполуки.

$C = K + 1 - \Phi$  – для металів.

## 5 ОСНОВНІ ТИПИ ДІАГРАМ СТАНУ СПЛАВІВ

Для характеристики змін структури сплавів залежно від складу і температури будують діаграми стану. Вони є графічним зображенням рівноважного або нерівноважного стану сплавів і будують їх в координатах температура - стан.

Знання діаграм стану дозволяє науково обґрунтовано вибирати сплави із заданими властивостями, режими литва, термічної обробки і обробки тиском.

Діаграми стану звичайно будують за допомогою термічного методу аналізу. Суть цього методу – визначення критичних точок.

Будують криві охолодження, які виражають графічну залежність між зміною температури металу (сплаву) при охолодженні й часом, протягом якого ці зміни відбуваються. Ці криві будують в координатах:  $t^{\circ}C$  – вісь ординат,  $\tau$  (час охолодження) – вісь абсцис.

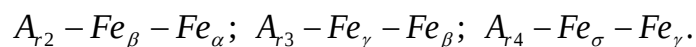
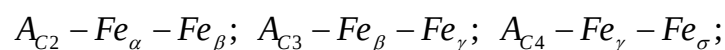
Фазові перетворення в металах і сплавах супроводжуються тепловими ефектами і на кривих охолодження можна спостерігати зупинки (площинки) або перегини. Поява площадок говорить про те, що фазові перетворення відбуваються при постійній температурі. Перегини з'являються в результаті зміни швидкості охолодження, в цьому випадку фазові перетворення протікають в інтервалі температур.

Деякі критичні точки, будучи визначені при нагріві й охолодженні, мають різну температуру. Тому вводять два умовних знаки:

$r$  – якщо критичні точки визначені при охолодженні;

$C$  – при нагріві.

Критичні точки в сплавах заліза з вуглецем позначають буквою  $A$  із значком  $C$  або  $r$ :



Початок і кінець фазових перетворень температури, визначувані по кривих охолодження, називаються *критичними*. Відповідні ним точки на кривих охолодження називаються *критичними точками*. На основі кривих охолодження будується діаграма стану сплавів.

Діаграма стану подвійних сплавів першого типу, які створюють при твердінні механічну суміш, характеризує сплави, компоненти яких в рідкому стані необмежено розчинні один в одному, а в твердому стані не розчинні і не утворюють хімічної сполуки. Приклади:  $Pb - Sb$ ;  $Pb - Sn$ ;  $Zn - Sn$ . Ці діаграми утворюють *евтектику*.

**Евтектика** – це механічна суміш кристалів, що утворилася в результаті їх одночасної кристалізації.

Евтектика володіє трьома основними властивостями:

- 1) постійна концентрація або склад;
- 2) постійна температура кристалізації;
- 3) найнижча температура кристалізації в даній системі сплаву.

*Лінія ABC (ліквідус)* – геометричне місце точок початку кристалізації.

*Лінія EBD (солідус)* – геометричне місце точок кінця кристалізації сплаву. Це ж лінія евтектики.

*Приклад побудови діаграми  $Pb - Sb$*

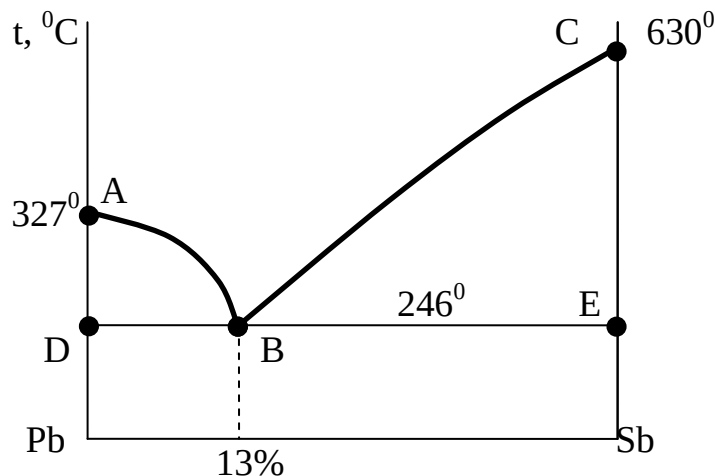


Рис.6 – Діаграма стану сплавів I типу

Сплави, що кристалізувалися по такій діаграмі, діляться на три групи:

- 1) *евтектичні* – концентрація точки В. Їх структура – евтектика;
- 2) *доевтектичні* – сплави, розташовані зліва від точки В. Їх структура – кристали  $Pb$  + евтектика;
- 3) *заевтектичні* – сплави, розташовані праворуч від точки В. Їх структура – кристали  $Sb$  + евтектика.

Кристали *Pb* і *Sb*, що випали самостійно, називаються структурно-вільними, а ті, що випали одночасно, в евтектиці називаються структурно-зв'язаними, оскільки вони разом утворюють одну структуру.

*Структурна складова* – це окрема відособлена частина сплаву, що має під мікроскопом певну будову з властивими їй особливостями.

*Структура і фаза* – це різні поняття, правда, вони іноді співпадають.

Діаграма стану подвійних сплавів другого типу характеризує сплави, компоненти яких володіють повною взаємною розчинністю, як в рідкому, так і в твердому стані і не утворюють хімічних сполук.

Приклад: *Cu – Ni*; *Fe – Ni*; *Fe – Cr*; *Bi – Sb* та інші. Розглянемо *Cu – Ni*.

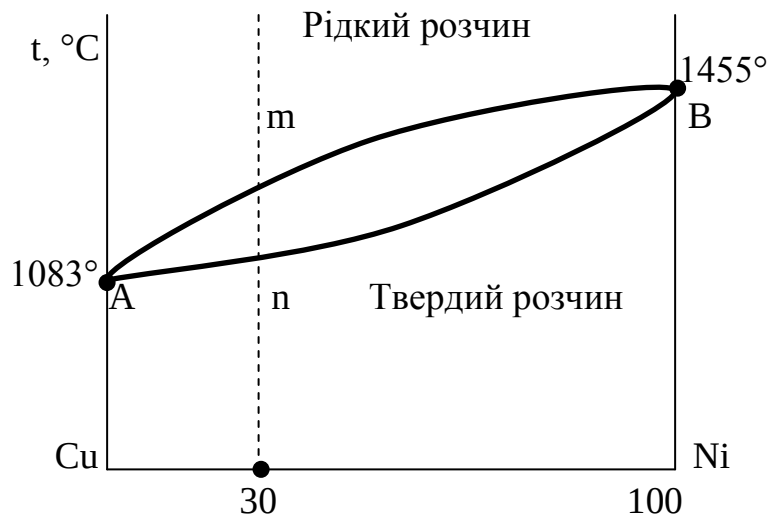


Рис.7 – Діаграма стану сплавів II типу

*Лінія AmB* – лінія ліквідус, *лінія AnB* – лінія солідус, нижче за цю лінію сплави знаходяться у вигляді твердого розчину. Між лініями ліквідус і солідус знаходиться двофазна область, в якій одночасно існують кристали твердого розчину і рідкі розчини. Бувають випадки розпаду твердих розчинів з утворенням евтектоїда і перетектоїда, а також інші випадки, які вказують на перетворення в твердих сплавах (поліморфні).

Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю у твердому стані третього типу характеризує сплави, в яких обидва компоненти необмежено розчинні в рідкому стані, обмежено – в твердому і утворюють при кристалізації евтектику. Приклад: *Al – Cu*; *Fe – C*; *Mg – Al*; *Mg – Zn* та ін.

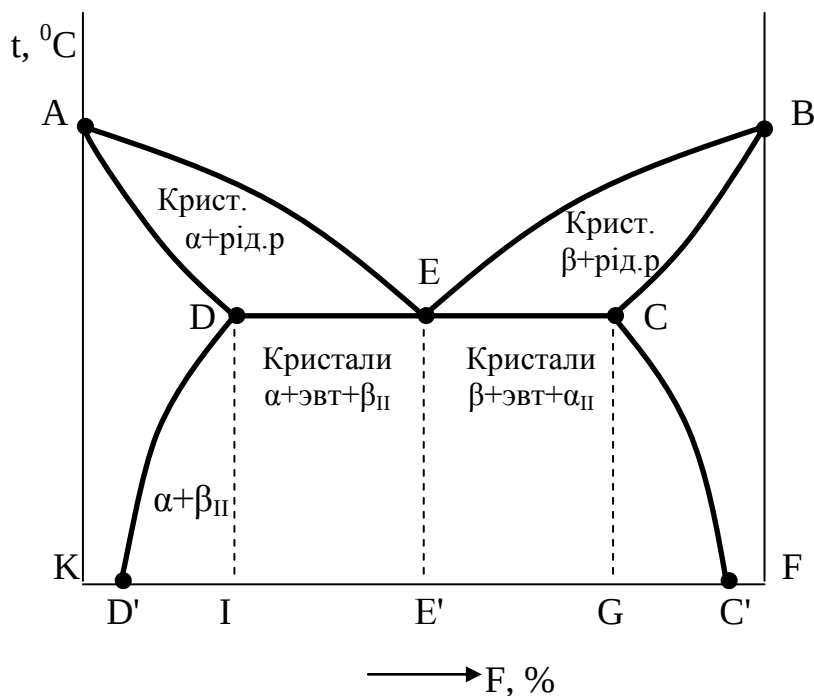


Рис.8 – Діаграма стану сплавів III типу

Лінія  $AEB$  – лінія ліквідус, вище за неї всі сплави в рідкому стані. Лінія  $ADECB$  – лінія солідус, нижче за цю лінію всі сплави в твердому стані.

По лінії  $AE$  виділяються кристали твердого розчину компонента  $F$  в  $K$ , якому привласнена назва твердого  $\alpha$  - розчину. По лінії  $BE$  виділяються кристали твердого розчину  $K$  в  $F$ , який позначають  $\beta$  - розчин. Гранична розчинність  $F$  в  $K$  визначається лінією  $DD'$ , а гранична розчинність  $K$  в  $F$  – лінією  $CC'$ .

Як видно з діаграми, розчинність  $F$  в  $K$  і  $K$  в  $F$  міняється із зміною температури. Може бути такий випадок, коли компонент  $F$  розчинимо в  $K$  і розчинність змінюється із зміною температури (лінія  $DD'$ ), розчинність  $K$  в  $F$  не змінюється із зміною температури (лінія  $CG$ ). Область  $ADEA$  є рідкий розчин і кристали твердого  $\alpha$  - розчину; область  $BECB$  – рідкий розчин і кристали твердого  $\beta$  - розчину; область  $ADD'KA$  – кристали твердого  $\alpha$  - розчину; область  $BCC'FB$  – кристали твердого  $\beta$  - розчину; область  $DEE'I$  – евтектика, кристали  $\alpha$  - розчину і  $\beta_{II}$  - фази; область  $ECGE'$  – евтектика, кристали  $\beta$  - розчину і  $\alpha_{II}$  - фази.

Діаграма стану із стійкою хімічною сполукою четвертого типу характеризує сплави, компоненти яких необмежено розчинні в рідкому стані, не розчинні в твердому і утворюють стійку хімічну сполуку.

Приклад:  $Mg - Cu$ .



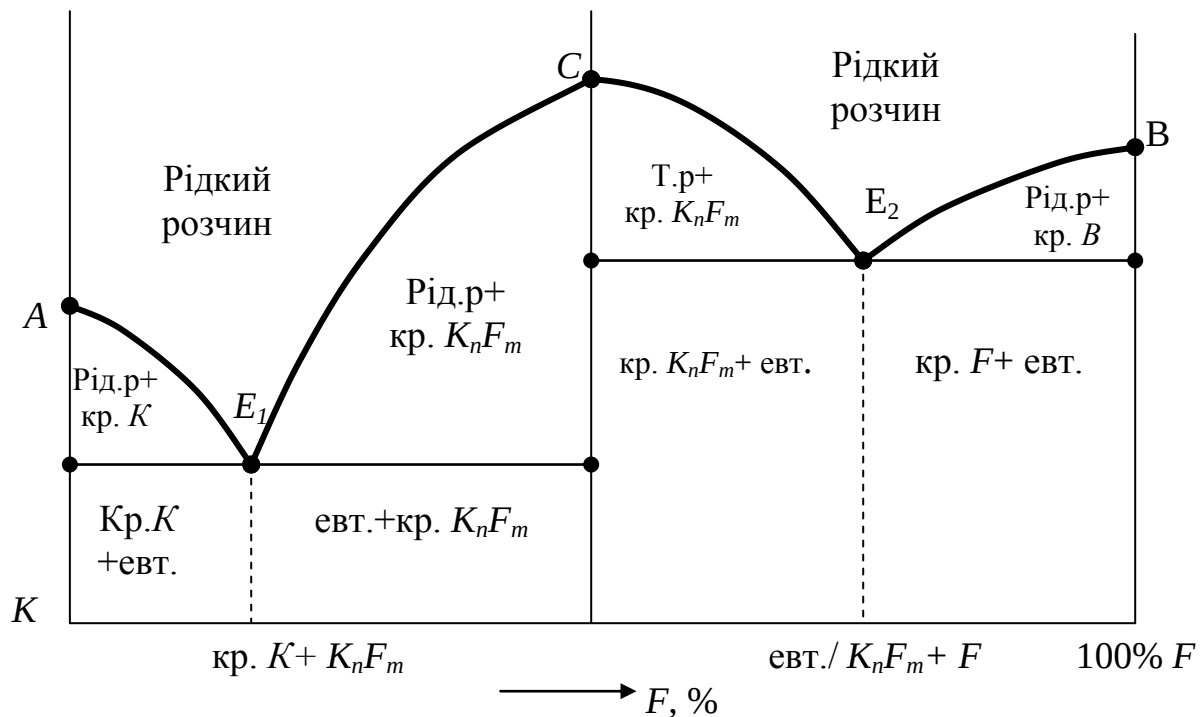


Рис.9 – Діаграма стану сплавів IV типу

Лінія  $AE, CE_2B$  – лінія ліквідус. Ця діаграма складена з двох діаграм першого типу. Хімічний сполучі  $K_n F_m$  відповідає точка  $C$ . На діаграмі евтектичний сплав, відповідний точці  $E_1$ , є механічною сумішшю кристалів  $K$  хімічної сполуки  $K_n F_m$ , а евтектичний сплав, відповідний точці  $E_2$ , – суміш кристалів  $F$  і хімічної сполуки  $K_n F_m$ . Фазовий склад за діаграмою визначається за аналогією з діаграмою 1-го типу.

### 5.1 Правило фаз і відрізків

Коли прийняти, що всі перетворення відбуваються при постійному тиску, рівняння набуде вигляду:  $C = K + 1 - \Phi$ , де  $1$  – зовнішній змінний фактор (температура).

Користуючись правилом фаз, розглянемо, як відбувається зміна числа ступенів свободи однокомпонентної системи для випадку розплавленого чистого металу ( $K=1$ ;  $\Phi=1$ ):  $C=1-1+1=1$ , тобто температуру можна змінювати, не міняючи числа фаз. Такий стан системи називають «моноваріантним» (одноваріантним).

У процесі кристалізації  $\Phi=2$  (дві фази – рідка і тверда), а  $K=1$ , тоді  $C=1+1-2=0$ . Це означає, що дві фази знаходяться в рівновазі при строго певній температурі (температура плавлення) і вона не може бути змінена, поки одна з фаз не пропаде. Такий стан системи називають «нонваріантним» (безваріантним). Для двокомпонентної системи, що знаходиться в рідкому стані ( $K=2$ ;  $\Phi=1$ ), правило фаз Гіббса має вигляд:  $C=2+1-1=2$ , така система називається «біваріантною»

(двоваріантною). У цьому випадку можлива зміна двох факторів рівноваги (температури і концентрації), число фаз при цьому не міняється.

Для цієї ж системи при існуванні двох фаз (рідкої або твердої)  $K=2$ ;  $\Phi=2$ , згідно з правилом фаз  $C=2+1-2=1$ , тобто із зміною температури концентрація повинна бути строго визначеною.

Для характеристики будови сплавів важливим є кількісне визначення їх складових. Якщо подивитися діаграму  $Pb - Sb$ , то видно, що всі заевтектичні сплави в твердому стані складаються з кристалів  $Sb$  і евтектики, але їх кількість залежно від складу буде різною, отже, і властивості цих сплавів будуть різними.

Для визначення кількості складових користуються «правилом відрізків». З точки  $K$  проводять перпендикуляр, відповідний сплаву  $80\%Sb$  і  $20\%Pb$ . Потім при заданій температурі  $t$  через точку  $d$  проводять горизонтальну пряму до перетину з лініями, що обмежують дану область діаграм, отримуючи точки  $e$  і  $b$ . Якщо позначити масу рідини буквою  $Ж$ , а масу всього сплаву буквою  $B$ , то можна записати:

$$\frac{Ж}{B} = \frac{db}{eb}.$$

Якщо масу всього сплаву прийняти за 100%, то кількість рідкої фази визначається співвідношенням

$$Ж = 100\% \cdot (db / eb).$$

Аналогічно для твердої фази:  $T = 100\% \cdot (ed / eb)$ . Перпендикуляр  $I - I$  ділить лінію  $eb$  на 60 одиниць (від 40 до 100%) по осі концентрацій на відрізки  $ed = 40$  од. і  $db = 20$  од. Таким чином, з наведених виразів знаходимо, що шуканий сплав при температурі  $t$  містить 33% рідкого сплаву і 67% твердої фази.

Правило відрізків дозволяє визначити також і концентрацію компонентів у фазах. Так, вище за точку  $L$  сплав знаходиться в однофазному стані, і концентрація компонентів у рідкому сплаві визначається проекцією цієї точки на вісь концентрацій. При температурі  $t$  концентрація  $Sb$  в рідині визначається проекцією точки  $L$ . Кристали, які виділяються, є чистою сурмою, оскільки точка  $b$  лежить на вертикальній осі  $Sb - 100\%$ .

Таким чином, «правило відрізків» дозволяє вирішити:

- 1) які існують фази двох- і багатофазних областей;
- 2) визначити хімічний склад або концентрацію фаз для певних температур;
- 3) встановити кількісне співвідношення між фазами.

Для визначення того, які існують фази, з точки  $K$  треба по горизонталі (по ізотермі) піти вліво і вправо до перетину з першими лініями діаграми і подивитися, які однофазні області визначають ці лінії. Ці фази і існуватимуть.

Хімічний склад фаз: точка перетину ізотерми з лінією ліквідус  $L$  показує хімічний склад рідкої фази і визначається кількісним співвідношенням:

$$\frac{Ql}{Qs} = \frac{kS}{kl},$$

де  $Q$  – вага всього сплаву;  
 $Ql$  – вага рідкої фази;  
 $Qs$  – вага твердої фази.

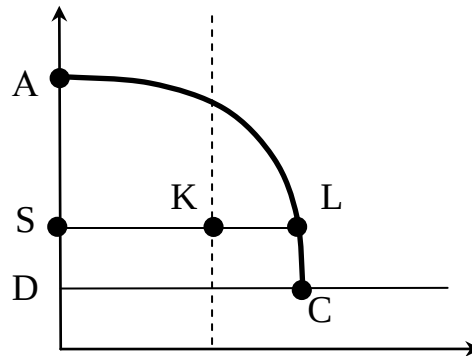


Рис.10 – «Правило відрізків»

Кількісне співвідношення між фазами обертово пропорційно до прилеглих відрізків:

$$Ql = Q \cdot \frac{kS}{kl};$$

$$Ql = Q \cdot \frac{kl}{kS}.$$

## 5.2 Зв'язок властивостей сплавів з типом діаграм станів

Зв'язок властивостей сплавів з типом діаграм стану вперше показав Н.С.Курніков, далі роботи в цьому напрямку проводив А.А. Бочвар.

По осях ординат на графіках відкладають властивості сплавів (твердість, міцність, електропровідність та ін.), а по осях абсцис – зміст компонента  $F\%$ .

I. У разі утворення механічної суміші властивості сплавів міняються за лінійним законом.

II. У разі утворення твердих розчинів властивості змінюються за криволінійною залежністю. При невеликих добавках другого твердого компонента електроопір стає вищим, ніж властивості компонентів, електропровідність і магнітна проникність знижуються.

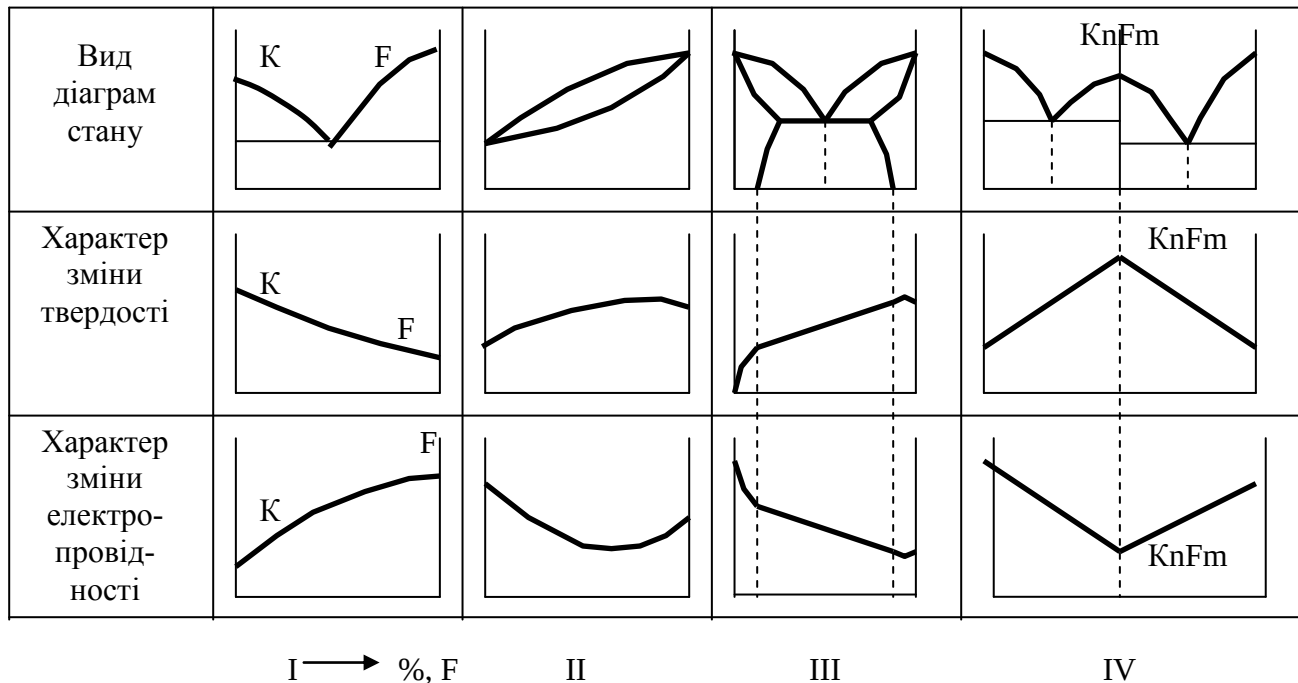


Рис.11 – Зв'язок властивостей сплавів з типом діаграм станів

III. Обмежені тверді розчини. Властивості однофазних твердих розчинів змінюються за криволінійною залежністю, а двофазних – за прямолінійним законом.

IV. Утворення хімічних сполук – властивості змінюються стрибком. Хімічна сполука відповідає *max* або *min* властивостям на прямій. Ця точка називається «*сингулярною точкою*».

Знаючи діаграму стану, можна визначити і технологічні властивості сплаву (ливарний, обробка різанням та ін.). Наприклад, тверді розчини мають низькі ливарні характеристики, а двофазні, особливо евтектичні, мають хороші ливарні властивості. Краще деформуються в холодному і гарячому стані однофазні сплави. Двофазні сплави легко обробляти різанням. У однофазних сплавів краща координатна стійкість.

## 6 ДІАГРАМА СТАНУ “Fe - C”

Залізо (Fe) належить до металів, що зазначають алотропічні перетворення, в цьому його цінність. 1539 °С - температура плавлення заліза, щільність 7,8 мг/м<sup>3</sup>.

Залізо з вуглецем утворює хімічну сполуку Fe<sub>3</sub>C – цементит – 6,67%С, це метастабільна фаза, може розпадатися з виділенням вільного вуглецю. Температура кристалізації цементиту 1535 °С. Решітка цементиту ромбічна ( $a \neq b \neq c$ );  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

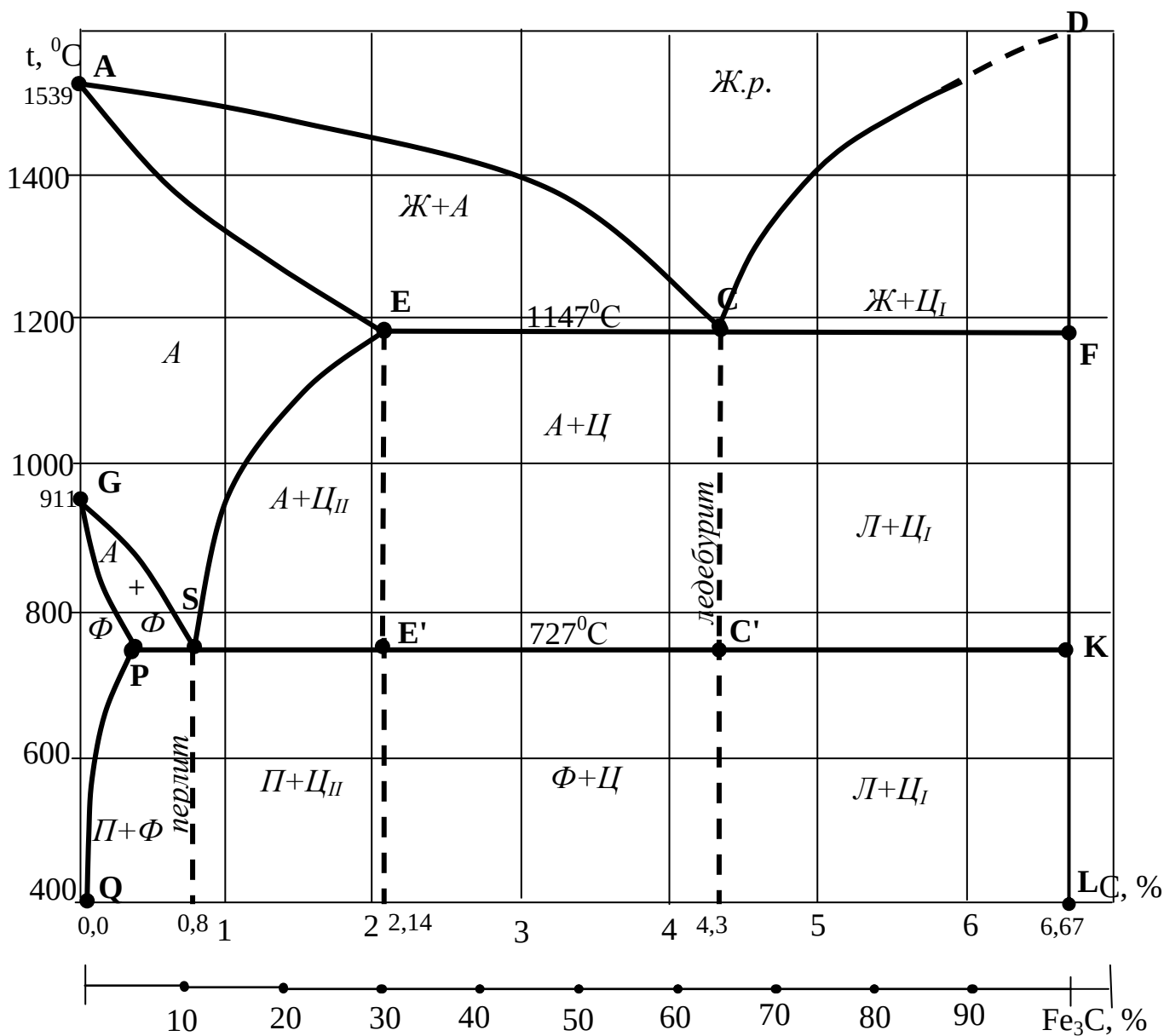


Рис.12 – Діаграма стану “Fe - C”

Вуглець в деяких модифікаціях Fe обмежено розчиняється. 1-й розчин – ферит – твердий розчин C в  $Fe_{\alpha}$ .

Максимальна розчинність C в  $Fe_{\alpha}$  – 0,02% при  $t=723^{\circ}\text{C}$ .

При кімнатній температурі ( $20^{\circ}\text{C}$ ) розчинність падає до 0,006%.

2-й розчин  $Fe_{\beta}$  – практично не розчиняє вуглець.

3-й розчин А – аустеніт – твердий розчин C в  $Fe_{\gamma}$ .

2%С – максимальна розчинність при  $t=1130^{\circ}\text{C}$ .

4-й розчин –  $Fe_{\delta}$ , максимальна розчинність C  $\approx 0,1\%$  при  $1485^{\circ}\text{C}$ .

Основою для визначення структури і властивостей залізовуглецевих сплавів є діаграма стану “залізо-вуглець” (цементит). Представимо її спрощений варіант, вісь концентрацій подвійна, вона відображає вміст вуглецю і цементиту.

Діаграма Fe-Fe<sub>3</sub>C є діаграмою метастабільної рівноваги. Залежно від вмісту C і температури залізовуглецеві сплави утворюють ряд структурних складових (фаз) - ферит (*Ф*), аустеніт (*А*), цементит (*Ц*), графіт (*Гр*), перліт (*П*), ледебурит (*Л*).

**Графіт** є вільний вуглець, він м'який, володіє низькою міцністю і електропровідністю. У чавунах і графітізованих сталях міститься у вигляді включень. Форми графітових включень впливають на механічні й технологічні властивості сплавів.

**Перліт** – евтектоїдна механічна суміш фериту і цементиту, яка містить 0,83%С; утворюється при 727 °С в результаті розпаду аустеніту в процесі його охолодження  $Fe_{\gamma}(C) \rightarrow Fe_{\alpha}(C) + Fe_3C$ . Перліт буває пластинчастий і зернистий, що визначає механічні властивості сплавів заліза.

При кімнатній температурі зернистий перліт має міцність  $\sigma_B = 800 \text{ МПа}$ , пластичність  $\delta \approx 15\%$ , твердість HB160-200.

**Ледебурит** – механічна суміш (евтектика) аустеніту і цементиту, що утворюється з рідкого розплаву при 1147 °С і при вмісті 4,3%С. Твердість HB600-700, крихкий. Оскільки при температурі нижче евтектоїдної (нижче 727 °С) аустеніт перетворюється на перліт, то ледебурит нижче евтектоїдної прямої *ЕК* складається з цементиту і перліту.

Окрім згаданих складових, у сплавах Fe–C можуть бути неметалічні включення (з'єднання CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, S, P та ін.), які із залізом утворюють різні фази.

Критичні точки на лініях діаграми прийнято позначати буквою *А* з індексом - *r* (при охолодженні) і *С* (при нагріві). При індексах ставлять цифру, що вказує положення цієї точки на лініях 211 °С - AC<sub>3</sub> – при нагріві і Ar<sub>3</sub> – при охолодженні.

Точка *А* на діаграмі відповідає температурі плавлення заліза, точка *Д* – цементиту. У точці *С* (4,3%С і 1147 °С) утворюється евтектика (ледебурит).

**Лінія ACD** – **лінія ліквідус** (вище за неї існує рідкий розчин *L*) показує початок первинної кристалізації; по лінії *AC* з рідкого розчину починає кристалізуватися аустеніт, а по лінії *CD* – **цементит**. Тому в області ACE існує рідкий розчин і кристали аустеніту (*L+A*), а в області CDF – рідкий розчин і кристали цементиту (*L+Ці*).

Точка *Е* показує максимальну розчинність вуглецю в аустеніті при 1147 °С, вона прийнята межею ділення залізовуглецевих сплавів на сталі (до 2,14%С) і чавуни (зверху 2,14%С).

**Лінія AECF** – **лінія солідус** – характеризує кінець первинної кристалізації. Вона також є початком вторинної кристалізації (перекристалізації), характерна для твердої фази. Пряма *ECF* називається лінією евтектичних перетворень.

Алотропія (поліморфізм) заліза визначає перетворення у сталях при їх охолодженні від аустенітного стану. Точка *Г* діаграми відповідає температурі

алотропічного перетворення чистого заліза ( $911^{\circ}\text{C}$ ). З підвищенням вмісту вуглецю до  $0,8\%$  температура перетворення аустеніту у ферит, поступово знижуючись, досягає  $727^{\circ}\text{C}$ . Лінія  $GS$  – початок, лінія  $GP$  – кінець перетворення аустеніту у ферит ( $\Phi$ ). Лінія  $GS$  може розглядатися як геометричне місце точок  $AC_3$ ,  $Ar_3$ . У точці  $S$  (з концентрацією  $0,8\%\text{C}$  і температурою  $727^{\circ}\text{C}$ ) протікає реакція розпаду аустеніту, продуктом якої є евтектоїдна суміш, що називається перлітом. Тому пряма  $PSK$  називається прямою евтектоїдних перетворень, крім того, вона є геометричним місцем точок  $AC$  і  $Ar$ . В області  $GSP$  існує аустеніт і ферит ( $A+\Phi$ ), а в області  $QPS$  – перліт і ферит ( $P+\Phi$ ).

Лінія  $SE$  є лінією обмеженої розчинності вуглецю в аустеніті; із зниженням температури розчинність падає з  $2,14$  до  $0,8\%\text{C}$ . У зв'язку з цим у сплавах при їх охолодженні надмірний вуглець виділяється з аустеніту у вигляді карбиду заліза  $Fe_3C$ . Тому в області  $SEE'$  існують аустеніт і цементит вторинний ( $A+Ц_{II}$ ). Він називається вторинним тому, що утворюється з твердої фази. Крива  $SE$  також є геометричним місцем точок  $Acm$ ,  $Arm$ . В області  $0,8 SE' 2,14$  існує перліт і цементит ( $P+Ц_{II}$ ).

Залежно від вмісту вуглецю сталі ділять на доевтектоїдні ( $C<0,8\%$ ), їх можна також назвати конструкційними; евтектоїді ( $C=0,8\%$ ) і заевтектоїдні ( $C>0,8\%$ ), останні дві групи можна назвати інструментальними сталями.

Структура доевтектоїдних сталей складається з фериту (білі включення) і перліту (темні включення). Із збільшенням вмісту вуглецю кількість фериту зменшується, а перліту – збільшується. Структура евтектоїдної сталі складається з перліту, а заевтектоїдних – з перліту (темні ділянки) і цементиту (світлі ділянки у вигляді сітки або голок).

У чавунах первинний аустеніт і аустеніт у складі евтектики до кінця кристалізації містять максимальну кількість вуглецю  $2,14\%$ . Із зниженням температури до  $1147^{\circ}\text{C}$  і більш надмірний вуглець (по лінії  $SE$ ) випадає з аустеніту у вигляді вторинного цементиту. Тому в області  $ECC'E'$  існує аустеніт, ледебурит і вторинний цементит ( $A+Л+Ц_{II}$ ), а в області  $CFKC'$  – ледебурит і первинний цементит ( $Л+Ц_I$ ). По прямій  $PSK$  і в чавунах аустеніт характеризується перлітовим перетворенням. Звідси в області  $2,14 E'C'$ ,  $4,3$  існує перліт, ледебурит і вторинний цементит – ( $П+Л+Ц_{II}$ ), а в області  $C'K 6,67 4,3$  ледебурит і первинний цементит ( $Л+Ц_I$ ). Лінія  $GPSK$  є кінцем вторинної кристалізації залізовуглецевих сплавів.

Залежно від вмісту  $C$  чавуни діляться на доевтектичні ( $2,14<C<4,3$ ) евтектичні ( $C=4,34\%$ ) і заевтектичні ( $C>4,3\%$ ).

Структура білих чавунів складається з перліту, ледебуриту і цементиту. Свою назву білі чавуни отримали за виглядом зламу – матово-білий колір.

Структура доевтектичного чавуну при кімнатній температурі складається з ледебуриту, перліту і вторинного цементиту (ледебурит – світлі ділянки з розташуванням на них зерен перліту; перліт – крупніші темні зерна; вторинний цементит – світлі ділянки, що зливаються з цементитом ледебуриту).

Структура евтектичного чавуну складається з перліту і первинного цементиту (у вигляді крупних світлих довгастих кристалів). Структура заевтектичного чавуну складається з ледебуриту і первинного цементиту (у вигляді крупних сірих смуг).

## **7 ОСНОВИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ**

### **7.1 Термічна обробка**

Термічною обробкою (Т.о.) називають процеси, пов'язані з нагрівом і охолодженням металу, що знаходиться в твердому стані, з метою зміни структури і властивостей без зміни хімічного складу.

Т.о. характеризують основні параметри: нагрів до певної температури, витримка при цій температурі, швидкість нагріву і швидкість охолодження.

Залежно від температурних режимів Т.о. підрозділяється на види: відпал, нормалізація, гарт, відпуск, хіміко-термічна обробка; термомеханічна обробка.

Залежно від схильності до зростання аустенітного зерна при нагріві сталі бувають дрібно- і грубозернистими. Дрібнозернисті сталі в інтервалі температур нагріву 950-1000 °С майже не змінюють величину зерна. У грубозернистих сталей зростання зерна починається відразу після переходу через критичну точку.

Можливість зміцнення сталей шляхом Т.о. обумовлена наявністю у них алотропічних перетворень у твердому стані. Охолоджуючи аустеніт з різними швидкостями і викликаючи тим самим різний ступінь переохолодження, можна отримати продукти розпаду аустеніту, що різко відрізняються за будовою і властивостями.

Уявлення про перетворення переохолодженого аустеніту можна отримати з діаграми його ізотермічного перетворення (рис.13).

Крива 1 відповідає початку розпаду аустеніту при різних ступенях переохолодження; лівіше за неї знаходиться переохолоджений аустеніт (область А).

Крива 2 показує закінчення процесу розпаду аустеніту на феритоцементитну суміш (область П).

Горизонтальна пряма  $M_n$  характеризує початок, а пряма  $M_k$  – кінець бездифузійного перетворення аустеніту в мартенсит. На діаграмі показані криві швидкостей охолодження сталі. Мала швидкість охолодження  $V_1$  приводить до утворення грубої суміші фериту і цементиту. Чим більше швидкість охолодження, тим більше утворююча дрібнодисперсійна феритоцементитна суміш.



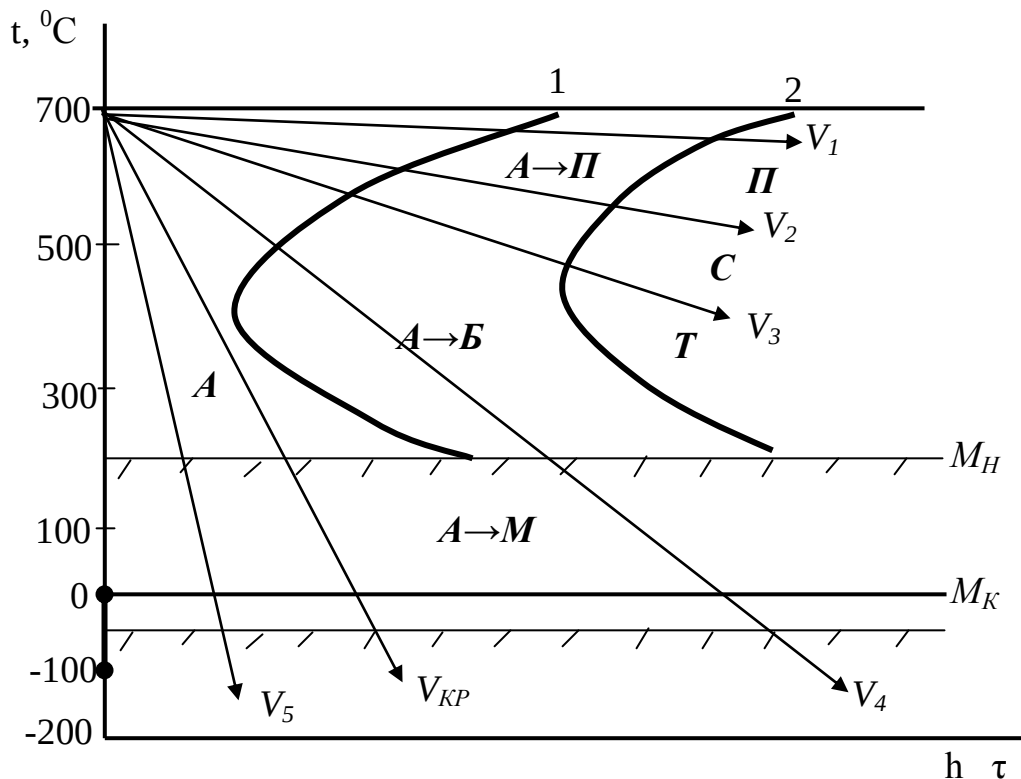


Рис.13 – Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту

**Сорбіт** (перша гартівна структура), який отримують при швидкості охолодження сталі  $V_2$ , є сумішшю фериту і цементиту; він відрізняється від перліту більш тонкодисперсною будовою, його твердість HRC20. Сталі із структурою сорбіту більш зносостійкі, використовуються для виготовлення навантажених деталей машин.

**Троостіт** (друга гартівна структура) отримують при швидкості охолодження  $V_3$  в результаті розпаду переохолодженого аустеніту при 500-550  $^{\circ}\text{C}$ , володіє значною пружністю; є тонкодисперсною сумішшю фериту і цементиту. Твердість його HRC~30. Сталі з такою структурою відрізняються високими значеннями міцності й пружності. Їх використовують для виготовлення пружин і ресор.

Перетворення аустеніту на мартенсит відбувається при дуже швидкому охолодженні ( $V_5 > V_{кр}$ ). При цьому фіксується типова для мартенситу голчаста структура.  $M_{rt}$  - є пересичений твердий розчин вуглецю в залізі  $\alpha$ . Процес йде за бездифузійним механізмом. Це тверда і крихка складова структур, HRC ~ 62-66. При швидкості  $V_4$  структура сталі складається з троостіту і мартенситу.

## 7.2 Відпал. Нормалізація

**Відпал** – нагрів сталі вище за критичні температури ( $A_{C1}$ ;  $A_{C3}$ ), витримці при даній температурі і повільному охолодженні (звичайна разом з піччю).

Залежно від вимог, що пред'являються до властивостей сталі, розрізняють наступні види відпалу: дифузійний (гомогенізація), повний, неповний (для заевтектоїдних сталей називається *сфероїдизацією*), ізотермічний, низький.

*Мета відпалу* – усунути внутрішнє напруження, подрібнити зерно, додати сталі пластичність перед подальшою обробкою і привести структуру в рівноважний стан.

Дифузійний відпал проводиться при  $t^0$  1100-1200  $^{\circ}\text{C}$  протягом 30-50 год для усунення дендритної ліквіації.

Повний відпал застосовують для конструкційних сталей. Нагрів на 30-50  $^{\circ}\text{C}$  вище за точку  $A_{C3}$  з подальшим повільним охолодженням, що забезпечує перетворення аустеніту на феритоцементитну суміш в області температур, близьких до  $A_{C1}$ .

Інструментальні сталі нагрівають на 30-50  $^{\circ}\text{C}$  вище  $A_{C1}$  – неповний відпал (для заевтектоїдних сталей). Цей відпал на зернистий перліт проводиться з метою зниження твердості для кращої обробки різанням і підготовки структури до гарту.

При ізотермічному відпалі конструкційну сталь нагрівають до  $t^0$  на 30-50  $^{\circ}\text{C}$  вище  $A_{C3}$ , а інструментальну – вище  $A_{C1}$  на 50-100  $^{\circ}\text{C}$ , потім йде витримка і повільне охолодження в розплавленій солі до  $t^0$  що нижче  $A_{r1}$  (680-700  $^{\circ}\text{C}$ ). При цій температурі сталь піддають ізотермічній витримці, при якій відбувається повне перетворення аустеніту на перліт з подальшим охолодженням на повітрі.

При холодній пластичній деформації сталь зміцнюється за рахунок наклепу (нагартівки). При цьому відбуваються структурні зміни, утворюються спотворення кристалічної решітки. За необхідності для зняття наклепу проводять *відпал рекристалізації*, що є різновидом *низького відпалу*. А.А. Бочвар встановив зв'язок між  $t^0$  рекристалізації і температурою плавлення, а саме:

$$t_{pk} = \alpha \cdot t_{nl},$$

де  $t_{pk}$  – абсолютна температура рекристалізації;

$t_{nl}$  – абсолютна  $t$  плавлення;

$\alpha$  – коефіцієнт (для технічно чистих металів складає 0.3-0.4, а для сплавів – 0.5-0.6).

**Нормалізацією** сталі називається нагрів доевтектоїдної сталі вище за точку  $A_{C3}$ , евтектоїдної вище  $A_{C1}$ , заевтектоїдної вище за точку  $A_{cm}$  на 30-50  $^{\circ}\text{C}$ , витримка і подальше охолодження на повітрі.

Після нормалізації вуглецеві сталі мають ту ж структуру, що і після відпалу, але перліт більш дисперсний. Мета нормалізації доевтектоїдних і евтектоїдних сталей та ж, що і повного відпалу. Проте після нормалізації твердість і міцність сталі будуть вище, ніж при відпалі. Нормалізація застосовується для усунення

грубозернистої структури, вирівнювання механічних властивостей. У заєвтектоїдних сталях нормалізація усуває цементитну сітку.

Нормалізація – дешевший і простий вид Т.о. На машинобудівні заводи вуглець сталі поставляють з відносно невисокою твердістю для того, щоб забезпечити хорошу обробку різанням. Конструкційні сталі поставляють в відпаленому або нормалізованому стані, інструментальні – після сфероїдизуючого відпалу.

### 7.3 Гарт і відпуск

Зміцнююча термічна обробка – гарт, для вуглецевих сталей із вмістом вуглецю більше 0,3% з подальшою відпуском.

**Гарт** – процес нагріву сталі вище за точку  $A_{с3}$  (повний гарт) або  $A_{с1}$  (неповний) на 30-50 °С з подальшим швидким охолодженням. **Мета гарту** – отримання високої твердості і заданих фізико-механічних властивостей. Здатність сталі приймати гарт зростає із збільшенням вмісту в ній вуглецю. При вмісті менше 0,2%С сталь практично не гартується (рис.14).

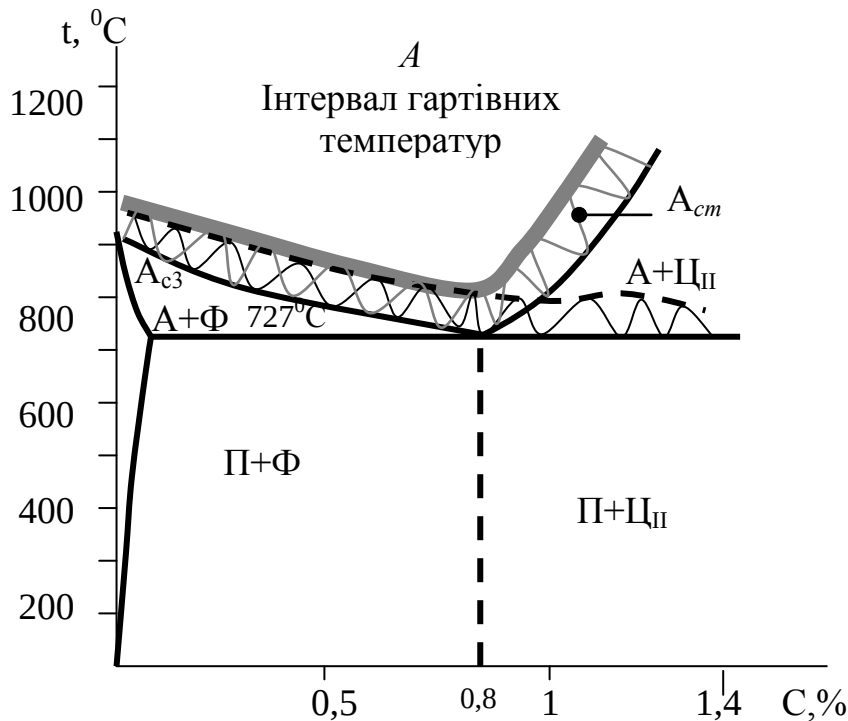


Рис.14 – Діаграма інтервалів гартівних температур для гарту залізобуглецевих сталей

Доевтектоїдні сталі піддаються повному гарту. Після охолодження у воді в структурі утворюється дрібногольчастий мартенсит і невелика кількість залишкового аустеніту (1-2%). Нагрів сталі при гарті значно вище критичної точки

$A_{C3}$  (на 150-200 °C) приводить до її перегріву. В результаті виходить великогольчастий мартенсит і сталь набуває зниженої ударної в'язкості. Нагріваючи доевтектоїдні сталі вище за точку  $A_{C1}$ , але нижче за точку  $A_{C3}$ , приходить до неповного гарту. У структурі такої сталі разом з мартенситом присутні ділянки фериту.

Якщо заевтектоїдну сталь нагрівати вище за точку  $A_{cm}$ , то в структурі її буде великогольчастий мартенсит з підвищеною кількістю залишкового аустеніту, що призведе до зниження твердості сталі. Тому всі заевтектоїдні сталі піддають неповному гарту, отримуючи в структурі мартенсит і цементит.

Швидкість нагріву і час витримки деталей залежать від розмірів, маси деталей, їх конфігурації, хімічного складу, від типу нагрівальних пристроїв і нагрівальних середовищ.

При гарті як охолоджуючий засіб використовують воду, мастила, розплавлені солі й метали. Для гарту суттєве значення має швидкість охолодження в інтервалі температур, де аустеніт найменш стійкий (650-550 °C). Цей інтервал треба пройти швидко. Важливе значення має і інтервал 300-250 °C, коли відбувається утворення мартенситу. У цьому районі температур потрібне повільне охолодження, щоб уникнути виникнення напруження і гартівних тріщин.

**Способи гарту:** Гарт в одному охолоджувачі, застосовують для нескладних деталей з вуглецевих і легованих сталей.

Гарт у двох середовищах (переривчастий гарт). Спочатку в швидко охолоджуючому середовищі (вода), а потім переносять в інше середовище (мастило, селітра, повітря), де відбувається охолодження до кімнатної температури. Застосовують для інструменту з високолегованої сталі.

Ступінчастий гарт – нагріта деталь охолоджується в середовищі при  $t^0$  230-250 °C, а потім після невеликої витримки охолоджується на повітрі.

Ізотермічний гарт – аустеніт розпадається на високодисперсну суміш фериту і карбід заліза - бейніт.

Гарт з обробкою холодом – охолодження нижче 0 °C деталей із загартованої сталі, що має в структурі залишковий аустеніт ~70 °C. Застосовується для високовуглецевих >0,6%C і спеціальних сталей (інструмент, шарикопідшипникові сталі).

**Дефекти гарту:** недогрів, перегрів, перепал, знеуглецювання, викривлення, тріщини.

Є дефекти, що усуваються (відпал, перегартування, рихтування і т.д.), і є непоправні - перепал, тріщини і т.п.

**Відпуск** – нагрів сталі нижче за температуру точки  $A_{C1}$  з витримкою при даній температурі і подальшим охолодженням. **Мета відпуску** – перевести структури в більш рівноважний стан, зменшити напруження, отримати необхідне поєднання фізико-механічних властивостей.

Основне перетворення при відпуску – розпад мартенситу, тобто виділення вуглецю з пересиченого твердого розчину у вигляді найдрібніших кристалів карбиду заліза.

Розпад мартенситу завершується при температурі  $\sim 400^{\circ}\text{C}$ , утворену феритоцементитну суміш називають *трооститом відпуску*. При вищій температурі нагріву відбувається коагуляція кристалів карбиду заліза, дисперсність феритоцементитної суміші знижується і при  $t^{\circ} 500-650^{\circ}\text{C}$  утворюється сорбіт відпуску. Крім цих перетворень, в інтервалі  $t^{\circ} 200-300^{\circ}\text{C}$  відбувається розпад залишкового аустеніту з утворенням відпущеного мартенситу.

*Існують три види відпуску залежно від  $t^{\circ}$  нагріву.*

Низький відпуск при  $t^{\circ} 120-150^{\circ}\text{C}$  (відпуск на відпущений мартенсит). Застосовують після гарту інструмента, цементованих виробів, а також після поверхневого гарту. При цій Т.о. зменшується залишкове гартівне напруження, твердість практично не знижується.

Середній відпуск (відпуск на троостит) при  $t^{\circ} 350-450^{\circ}\text{C}$  твердість знижується. Рекомендують для пружин і ресор.

Високий відпуск (відпуск на сорбіт) при температурі  $500-650^{\circ}\text{C}$ . Застосовують для виробів з конструкційних сталей з метою забезпечення достатньої міцності, в'язкості й пластичності. Поєднання гарту з високим відпуском на сорбіт називається «поліпшенням». Застосовують для середньовуглецевих сталей (0,35-0,6%С).

Для підвищення твердості, межі витривалості й зносостійкості деталі машин піддають поверхневому зміцненню – поверхневий гарт, для якого використовують газоплазмовий гарт, гарт струмом високої частоти (СВЧ), лазерну обробку і т.п.

**Гартіваність** – здатність сталі піддаватися гарту.

**Прокалюваність** – здатність сталі гартуватися на певну глибину. Прокалюваність залежить від хімічного складу, розмірів деталі і умов охолодження. Чим більше стійкість переохолодженого аустеніту, тим більше прокалюваність. Характеристикою прокалюваності є критичний діаметр, тобто максимальний діаметр циліндрового прутка, який повністю гартується в охолодженню середовищі.

Приклад: для вуглецевих сталей критичний діаметр складає 10-20 мм. Леговані сталі можуть прокалюватися в перетині до 250-300 мм.

Термомеханічна обробка (ТМО) – це сукупність операцій пластичної деформації і термічної обробки – нагрів, пластична деформація і охолодження. Підвищуються механічні властивості за рахунок підвищення густини і правильнішого розташування недосконалості кристалічної решітки металів.

Розрізняють високотемпературну термомеханічну обробку (ВТМО) і низькотемпературну (НТМО): ВТМО при температурі вище за температуру рекристалізації, деформація 20-30%, гарт і низький відпуск. НТМО при  $t^{\circ}$  нижче за температуру рекристалізації  $400-600^{\circ}\text{C}$ , деформація 75-95%, гарт, низький відпуск.

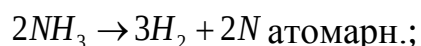
## 7.4 Хіміко-термічна обробка

**Хіміко-термічна обробка (ХТО)** – процес поверхневого насичення сталі різними елементами з метою додання їй відповідних властивостей. Окрім структурних змін, відбувається зміни складу і будови поверхні за рахунок дифузії в неї елементів в атомарному стані із зовнішнього середовища при високих температурах. *Мета* – зміцнення поверхні, підвищення твердості, зносостійкості, втомленої міцності і т.д.

Відносяться: цементація, азотування, нітроцементація, ціанування, алітування, хромування, силіціювання, борування.

*Існують три одночасних процеси:*

1 – дисоціації молекул  $2CO \rightarrow CO_2 + C$  атомарн.



2 – абсорбції;

3 – дифузії.

**Цементація** – процес насичення поверхні сталі вуглецем. Тверда поверхня, м'яка серцевина. Піддають низьковуглецеві сталі – не більше 0,25%С. Товщина шару 0,1-3-4мм,  $t^0$  - 900-970 °С. Проводять у твердих, рідких і газоподібних середовищах - карбюризаторах. У шарі 0,8-1%С.

**Азотування** – процес насичення сталі азотом. *Мета* – підвищення твердості, зносостійкості, втомленої міцності,  $t^0$  процесу 500-600 °С. Азатований шар за рахунок нітридів володіє твердістю до HRC70 і зберігає її до 400-600 °С. Товщина шару 0,25-0,75мм. Азотуванню підлягають леговані сталі. Перед азотуванням – «поліпшення». Час процесу до 60 год.

## 8 МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

### 8.1 Класифікація сталей (загальна)

***I Класифікація за хімічним складом, на дві групи:***

- 1) прості вуглецеві сталі, в яких, окрім Fe і C,  $Mn < 1\%$  і  $Si < 0,5\%$ ;
- 2) леговані сталі, в яких спеціально вводять різні елементи для додання певних властивостей:  $Mn > 1\%$ ;  $Si \geq 0,5\%$ , Ni, Cr, W, V, Mo, Cu, Al, Ti, Co, B.

***II За способом виробництва, на три групи:***

- 1) Сталі звичайної якості, які виплавляють в конвертерах або в кислих крупних мартенівських печах. У них допускається підвищений вміст S і P. S до 0,065%; P до 0,085%.

- 2) Якісні сталі – виплавляють в малих і середніх основних мартенівських печах, вони чистіші по S і P – до 0,05%.

3) Високоякісні сталі – виплавляють в електропечах, в них обмежується вміст шкідливих домішок  $S$  і  $P$  до 0,03%.

**III За застосуванням, дві групи :**

1) конструкційні сталі –  $C$  до 0,7%,

2) інструментальні сталі –  $C$  0,7-2,0%

Вуглецеві конструкційні сталі: Мартенівські (М), конверторні (К), бесімерівські (Б).

*Конструкційні сталі звичайної якості діляться на три групи:*

1) групу А приймають від заводів за механічними властивостями;

2) групу Б приймають від заводів за хімічними складом;

3) групу В приймають і за хімічним складом і за механічними властивостями.

Сталі групи А. Від  $Ст0$  до  $Ст7$ .

$Ст0$  – різні конструкції без напруження;

$Ст1$  – покрівельне залізо;

$Ст2$  – котельна сталь (товстий лист);

$Ст3$  – швелери, балки, крани;

$Ст4$  – кріплення, шпонки;

$Ст5$  – осьова;

$Ст6$  – рейкова сталь;

$Ст7$  – ресори, пружини.

Сталі групи Б – на машинобудівних заводах проходять теплову обробку.

Сталі мартенівські і конверторні ( М і К ).  $Мст1$ - $Мст7$   $P > 0,045\%$   $S > 0,055\%$ .

Бесімерівські:  $Бст0$ – $Бст6$ .

У сталях групи В лімітується ударна в'язкість  $a_n$ . Бесімерівські сталі цієї групи не випускають  $ВМст1$ ,  $ВКст1$ .

**Вуглецеві сталі якісні.** Всі якісні сталі звичайно маркують за вмістом вуглецю. Вони можуть бути або мартенівської плавки, або електроплавлення. *За хімічним складом якісні вуглецеві сталі ділять на дві групи:*

1) з нормальним вмістом  $Mn < 1\%$ ;

2) з підвищеним вмістом  $Mn_{1,4-1,8\%}$ .

Сталь 0,8; 10; 15; 20 і т.д. – вміст  $C$  в сотих %.

Інтервал 5 сотих до марки сталь 70 - ці сталі із звичайним вмістом  $Mn$ . З підвищеним вмістом  $Mn$ : Сталь 10Г, Сталь 15Г.

*За вмістом  $C$  якісні вуглецеві сталі умовно ділять на чотири групи:*

1 – низьковуглецеві конструкційні сталі з великою пластичністю і малою міцністю - сталі 0,8 і 10. З них роблять листи, стрічки, дріт, тобто невідповідальні деталі, які виготовляються шляхом холодного штампування;

2 – низьковуглецеві конструкційні сталі невисокої міцності, але достатньої в'язкості: сталі 15, 20, 25, 15Г, 20Г, 25Г. З них виготовляють деталі, які потім піддаються цементації;

3 – від марки 30 до 55, як з магнієм, так і без нього. Це покращені сталі, тобто вони піддаються гарту і високому відпуску. Можуть гартуватися ТВЧ;

4 – високої міцності, зносостійкості, з високими пружними властивостями від 60 до 85, як з магнієм, так і без нього.

Після поліпшення, нормалізації і відпуску піддаються гарту ТВЧ. Деталі працюють в умовах тертя за наявності вібрацій.

**Листова сталь для холодного штампування.** Для холодного штампування і витяжки застосовують киплячі сталі, вони володіють високою пластичністю через знижений вміст  $C$  і  $Si$ . Здатність сталі до витяжки визначається:

$$\frac{\sigma_T}{\sigma_B} = 0,65 \div 0,70.$$

Витяжка буває: глибока (ВГ), глибока (Г), нормальна (Н). Маркування сталі 0,5КП; 0,8КП.

**Автоматні сталі.** З них виготовляють вироби на автоматичних верстатах. Дають довгу стружку. Потрібно, щоб вони володіли оброблювальною крихкістю, тобто давали дрібну стружку, яка ламається. Підвищують вміст  $S$  до 0,2%. Отримують включення  $MnS$  – крихкі, які забезпечують ломку стружки, або додають  $Pb$  – за рахунок його включень стружка ламається. Маркірування за вмістом  $C$  в сотих %: А12, А15 до А35 0,12%С; 0,15%С.

**Сталі для фасонного литва.** Маркірують за вмістом  $C$  в сотих %, додають літеру Л: 15Л до 55Л.

**Маркірування легованих конструкційних сталей.** Буквено-цифрове. Буквами позначається легуючий елемент, цифрами – вміст елемента.

Кожен легуючий елемент має своє буквене позначення, як правило, це початкова буква російської назви елемента:

$Cr - X$ ;  $W - B$ ;  $Mo - M$ ;  $Cu - D$ ;  $Ni - H$ ;  $V - \Phi$ ;  $Mn - \Gamma$ ;  $Co - K$ ;  $Al - Ю$ ;  $B - P$ ;  $Si - C$ ;  $Ti - T$ .

Приклад: 20X2H4A.

Вміст  $C$  0,2;  $Cr$  -2%;  $Ni$  4% – високоякісна – понижений вміст  $S$  і  $P$ . Коли після букви немає цифри, це означає, що елемента менше 1%.

**Шарикопідшипникові сталі.** ШХ6, ШХ9, ШХ15. Всі мають 1%С, а  $Cr$  відповідно 0,6; 0,9; 1,5%.

**Вуглецеві інструментальні сталі.** У7А – 0,7%С високої якості;

У – вуглецева інструментальна сталь;

У7А – ударний інструмент (молотки, зубила, штампи гарячого штампування);

У8А – для ударних виробів (букви - клейма, для холодного штампування - пуансони, матриці);

У9А – твердіша, для інструмента з обробки дерева (пили, долота, стамески);

У10А ; У11А – напилки, різці, свердла, плашки;



У12А – крихка сталь для виготовлення фрез і хірургічного інструменту, 1,2%С;

У13А – волочильні інструменти, 1,3%С.

## 8.2 Чавуни

Сплав в змістом вуглецю від 2,14 до 6,67% називається чавунами. *Залежно від стану вуглецю діляться на три групи:*

1 – білі чавуни, в яких весь вуглець знаходиться у зв'язаному стані у вигляді  $Fe_3C$  - цементиту,

2 – сірі чавуни – основна маса вуглецю знаходиться у вільному стані у вигляді графіту,

3 – половинчасті чавуни – проміжні, в них є і цементит, і графіт.

**Білі чавуни.** Повне уявлення про структуру білого чавуну дає діаграма  $Fe - Fe_3C$ . Підрозділяють:

1. *Доевтектичні чавуни* –  $C=2-4,3\%$ . Їх структура – ледебурит  $(\Pi + Fe_3C) + Fe_3C_{II} + \Pi$ .

2. *Евтектичні чавуни*.  $C=4,3\%$ . Структура ледебурит  $(\Pi + Fe_3C)$ .

3. *Заевтектичні чавуни*.  $C=4,3-6,67\%$ . Їх структура – ледебурит  $(\Pi + Fe_3C) + Fe_3C_I$ .

*Білі чавуни* – твердий і крихкий матеріал, в машинобудуванні має обмежене застосування. Застосовують там, де деталям потрібна висока твердість, а інші механічні властивості не цікавлять. Механічній обробці майже не піддається (колеса вагонів, лемеша плугів). Ці чавуни є граничними – переробляють у сталь або в *ковкі чавуни (КЧ)*.

**Сірі чавуни.** Основна маса вуглецю знаходиться у вигляді графіту. Всі сірі чавуни – сталева основа + графіт.

**Половинчасті чавуни.** У них мережа структури характерна як для білого чавуну, так і для сірого. *Ледебурит+Гр+П*.

**Структура і властивості сірих чавунів.** Твердість чавуну залежить від структури металевої основи, тобто від кількості зв'язаного вуглецю. На механічні властивості цих чавунів впливає розмір графіту, тому механічні властивості залежать як від будови металевої основи, так і від кількості й розмірів графітних включень. Необхідно підрозділяти сірі чавуни у зв'язку з впливом обох складових чавуну на механічні властивості по металевій основі і по графіту.

*Класифікація структури:*

|                                      |        |        |       |     |
|--------------------------------------|--------|--------|-------|-----|
| 1. За площею зайнятий перлітом $\Pi$ | П95    | П85    | ..... | П1  |
| >98%                                 | 98-90% | 90-80% |       | <2% |

2. За дисперсністю перліту або його будовою

Пд 0,2 ; Пд 0,5 ; Пд 1,0 ; Пд 1,4 ; Пд 1,6

а б в г д

а – тонкопластинчастий, сорбітоподібний, міжпластинчасті відстані <0,3 мкм;

б – тонкопластинчастий, міжпластинчасті відстані 0,3-0,8 мкм;

в – дрібнопластинчасті 0,8-1,3 мкм;

г – середньопластинчасті 1,3-1,6 мкм;

д – великопластинчасті >1,6 мкм.

*За графітом сірі чавуни підрозділяють:*

1. За довжиною графітних включень : Гд 1, Гд 2 ..... Гд 10  
< 5 мкм < 10 мкм > 1000 мкм

2. За кількістю графіту, за площею шліфа, зайнятого графітом в % :

Г02 ; Г04 ; Г06 ; Г10 ; Г12

<3 3-5 5-8 8-12 >12

3. За формою графітних включень – 10 класів: Гф 1, Гф 2 .... Гф10.

4. За характером розподілень графіту. Гр1, Гр2....Гр10 (ізолювані включення, колонки, сітчастий, точковий, розетковий і т.п.).

Є класифікації сірих чавунів за кількістю і площею, зайнятою цементитом. Завжди в сірих чавунах спостерігається фосфідна евтектика. Всі фактори, що впливають на графітоутворення чавуну, ділять на дві групи:

1. Умови відливання:  $t^0$  нагріву рідкого чавуну, час витримки, швидкість охолодження відливання.

2. Внутрішні фактори: хімічний склад чавуну – C, Si, Mn, S, P. C і Si – сприяють графітизації.

**Механічні властивості сірого чавуну.** Найлегше визначається твердість. Від твердості можна припускати решту властивостей. Для звичайних сталей:  $\sigma_B = 0,36HB$ . Такі ж залежності для чавунів:  $\sigma_{B \text{ чавуна}} = 0,11 \div 0,17HB$ ;  $\sigma_{uzg} = 1,75\sigma_{B \text{ чавуна}}$ ;  $\sigma_{сж} = 3,5\sigma_B$  чавуну – для оцінки міцності чавунів у першому наближенні.

**Маркірування сірих чавунів.** Проводиться за механічними властивостями СЧ 12-28 – цифри механічних властивостей. Перша пара  $\sigma_B$ , друга пара  $\sigma_{uzg}$ . Є марки СЧ: СЧ-00; СЧ 12-28; СЧ 15-32; СЧ 18-36 до СЧ 38-60.

**Високоміцний чавун (ВЧ)** виходить присадкою в рідкий сірий чавун добавок магнію, церію та деяких інших елементів. Під впливом цих добавок (модифікаторів) в чавуні утворюється графіт кулястої форми. Процес модифікації супроводжується піроефектом, тому для введення модифікаторів у рідкий чавун використовують спеціальні пристрої або обладнання (автоклави). ВЧ мають вищі механічні властивості, вони можуть бути використані замість поковок і відливок з вуглецевої сталі для деталей машин, що працюють в тяжких умовах.

Позначення: ВЧ, потім йдуть цифри, перші вказують межу міцності при розтягуванні, а другі – відносне подовження при розтягуванні. ВЧ 45-5 -  $\sigma_B = 450 \text{ МПа}$ ,  $\pi = 5\%$ .

З ВЧ виготовляють колінчасті вали і поршні автомобільних, тракторних і двигунів тепловозів, шестерні, гальмівні диски, деталі прокатних верстатів, корпуси насосів, вентилі і т.д. ВЧ використовують у вузлах тертя з високими коловими швидкостями.

*Ковкий чавун* отримують з білого шляхом тривалого нагріву при високих температурах (відпал, томління). У результаті виходить графіт хлоп'євидної форми. Маркують буквами КЧ і цифрами. Перші дві цифри вказують межу міцності чавуну при розтягуванні, а другі – відносне подовження. КЧ застосовують в автомобільній, сільськогосподарській, текстильній та ін. галузях машинобудування. З нього виготовляють деталі, які працюють при середніх і високих статичних і динамічних навантаженнях (підшипники, кронштейни, картери редукторів, поршні, маточини).

Його широке застосування пов'язане з тим, що він дешевше сталі і володіє високою стійкістю проти корозії.

### 8.3 Пластична деформація і рекристалізація металів

**Пластична деформація.** Якщо до тіла прикласти силу, неперпендикулярну до перетину, то загальне виникаюче напруження теж буде не перпендикулярне до перетину.

*Існують три типи напруження:*

- 1) загальне напруження,
- 2) нормальне напруження,
- 3) дотичне напруження.

Під дією напруження тіла деформуються. Деформацією називається зміна форми і розмірів тіла під впливом або зовні прикладених сил або внутрішніх сил або напруження, що виникають у матеріалах з тих чи інших причин.

*Існують три типи деформації:*

- 1) пружна,
- 2) пластична,
- 3) руйнуюча.

Пружна деформація - це деформація, що усувається після зняття навантаження, виникає під впливом нормального напруження. При пружній деформації металів відбувається зміна відстані між атомами, спотворення просторових решіток, але мікроструктура при цьому не змінюється. Для металів в області пружної деформації між напруженням і деформацією існує лінійна залежність згідно із законом Гука:  $G = E \cdot \sigma$ . Пружні властивості є структурно нечутливими, вони закладені в природі самого металу.

Межу пружності не можна відносити до пружних властивостей, оскільки вона характеризує перехід від пружної деформації до пластичної, тобто опір малим пластичним деформаціям, а ця величина є структурно чутливою.

Пластична деформація - це залишкова деформація або та, що зберігається в металах після зняття навантаження. Відбувається під впливом дотичного напруження.

Руйнування металів - це залишкова деформація, що приводить до порушення суцільності металу і до розриву зв'язків між атомами. Руйнування настає тоді, коли зовнішні сили перевищать сили міжатомного тяжіння.

Розрізняють два види руйнувань: *крихке і в'язке*.

*Крихке руйнування* не супроводжується помітною пластичною деформацією, отже такий вид руйнування настає раніше, ніж буде досягнута межа текучості матеріалу. Крихке руйнування - це розрив зв'язків між атомами під впливом нормального напруження якоїсь площини.

*В'язке руйнування* супроводжується певною пластичною деформацією. Отже в'язке руйнування настає після того, коли буде перевищена межа текучості, відбудеться якоюсь мірою пластична деформація, а після цього настає розрив зв'язків між атомами. У зв'язку з тим, що пластична деформація відбувається під впливом дотичного напруження, то спочатку останнє перевищує межу текучості, відбувається певна пластична деформація і після цього здійснюється розрив зв'язків між атомами.

Навантаження металу вище за межу текучості приводить до його пластичної деформації під впливом дотичного напруження. При кімнатній температурі характерними особливостями поведінки металів при пластичній деформації є наступні :

1 - у міру збільшення ступеня пластичної деформації опір металу пластичній деформації збільшується;

2 - у міру збільшення ступеня пластичної деформації здатність металів пластично деформуватися зменшується. Ці два явища називаються **наклепом** або **зміцненням**;

3 - під впливом пластичної деформації відбувається суттєва зміна мікро- і субструктури металу.

Пластична деформація монокристалів у переважній більшості випадків відбувається шляхом ковзання. Ковзання полягає в тому, що монокристал розбивається на шари або пластини, або пачки ковзання, які зміщуються або ковзають один відносно до одного.

1. Ковзання відбувається по певних кристалографічних площинах - площинах найменшого опору.

2. Площинами ковзання є площини найгустіше усіяні атомами.

3. Ковзання зовні виявляється в тому, що на поверхні кристала виникає ступінчаста неоднорідність, так звані смуги ковзання.

4. Смуги ковзання співпадають з дефектами в кристалічній решітці, тобто в місцях скопчення точкових дефектів, дислокацій і т.д.

5. Одночасно з ковзанням одних об'ємів по відношенню до інших відбувається поворот площин ковзання навколо осі, перпендикулярній до напрямку діючого зусилля.

Двійникування. Пластична деформація не завжди відбувається шляхом ковзання. У деяких випадках воно відбувається шляхом *двійникування*, яке полягає в тому, що частина кристалу зміщується щодо якоїсь площини в нове положення, симетричне залишеній частині кристалу. Ці дві частини кристалу є віддзеркаленням один одного. Пластична деформація шляхом двійникування відбувається в тих випадках, коли шляхом ковзання вона не може реалізуватися. Це такі випадки :

- 1 - при дуже швидкому додаванні навантаження (удари);
- 2- при багатовісному напруженому стані,
- 3 - при низьких температурах (нижче  $0^{\circ}\text{C}$ ),
- 4 - коли прикладене навантаження не може викликати критичного напруження, необхідного для ковзання.

При двійникуванні має місце зсув цілої групи атомних шарів. Це відбувається при відносно малій пластичній деформації. Звичайно це залишкова деформація порядку першої між атомної відстані.

У процесі пластичної деформації реальних металів можна розрізнити такі зміни структури і властивостей:

1. при відносно малих ступенях пластичної деформації відбувається загустіння металу, йде запресування порожнеч і пар, порушуються межі зерен, але зерно ще не міняє свою форму;
2. при вищому напруженні відбувається витягування зерен, при цьому існують два типи ліній:
  - а) лінії Розенгайна - це смуги ковзання, розташовані в межах окремих зерен,
  - б) лінії Чернова-Людерса, що характеризують процеси ковзання в мікрооб'ємах, які найчіткіше виявляються при напрузі відповідних  $\sigma_T$  ;
3. відбувається при вищому напруженні дроблення зерна на дрібні осколки;
4. при ще більшому напруженні відбувається поворот кристалів щодо діючого зусилля і створюється «текстура» - переважна орієнтація кристалів по відношенню до сил, що діють. При цьому починає виявлятися анізотропія властивостей;
5. під впливом пластичної (холодної) деформації відбуваються суттєві зміни субмікроструктури, що полягають в подрібненні фрагментів та блоків і збільшенні кутів їх роз орієнтації;
6. виникає суттєве внутрішнє напруження під впливом нерівномірності пластичної деформації в окремих зернах.

Таким чином під впливом холодної пластичної деформації відбувається «наклеп» - підвищення міцності і зниження пластичності.

**Рекристалізація.** Рекристалізацією називається процес зняття в холоднодеформованому металі спотворень і недосконалості його кристалічної будови, який супроводжується зняттям внутрішнього напруження, зародженням нових зерен і повним оновленням зерна і його подальшим зростанням. При цьому властивості повертаються до результатних, тобто знімається наклеп. Наклепаний метал знаходиться в метастабільному - нестійкому стані. Для переведення його в стабільний стан необхідно збільшити рухливість атомів, це досягається підвищенням температури, зміною структури і властивостей холоднодеформованому металу в процесі його нагріву.

I повернення 1-го роду (відпочинок). Для Fe цей період 100-200 °C. Зміна властивостей не відбувається, не змінюються також мікро- і субструктури металу. Відбувається зменшення кількості точкових дефектів. Змінюється тільки одна властивість - електропровідність різко збільшується.

II повернення 2-го роду (полігонізація) 200-300 °C. Властивості не змінюються. Відбувається планомірне переміщення дислокацій і угруповання їх в ряди, ці ряди утворюють межі блоків.

III - первинна рекристалізація (обробка рекристалізації). В інтервалі 300-500 °C. Повністю оновлюється зерно. Механічні властивості повертаються до результатних. Встановлено, що температура рекристалізації металів залежить від температури їх плавлення. Формула А.А. Бочвара є такою

$$T_p = K \cdot T_s,$$

де  $T_p$  - абсолютна температура рекристалізації, в градусах Кельвіна;

$T_s$  - абсолютна температура плавлення, в градусах Кельвіна;

$K = 0,2$  - для хімічно чистих металів ( $K \approx 0,4$  - для технічно чистих металів  
 $K = 0,5 \div 0,6$  - для сплавів заліза).

*Приклад:*  $Pb : T_s = 327^\circ C = 600K ; T_p = 0,4 \cdot 600 = 240K \cdot t_p^0 = -33^\circ C$ .

IV. Вторинна або збірна рекристалізація. Для  $Fe > 500^\circ C$ . Властивості не міняються, але укрупнюються зерна, відбувається інтенсивне зростання зерен.

**Гаряча пластична деформація.** Це пластична деформація, що відбувається при температурі вище за температуру рекристалізації. Поняття холодної і гарячої пластичної деформації є відносним. Одна і та ж температура може для одних металів бути температурою холодної пластичної деформації, а для інших температурою гарячої пластичної деформації.

*Приклад:*

|    |                                              |    |                                          |
|----|----------------------------------------------|----|------------------------------------------|
|    | $\frac{20^\circ C}{}$                        |    | $\frac{20^\circ C}{}$                    |
| Fe | $t_p^0 \sim 450^\circ C$   холодна пластична | Pb | $t_p^0 = -33^\circ C$   гаряча пластична |
| Cn | $t_p^0 = 270^\circ C$   деформація           |    | деформація                               |

**Механічні властивості.** До них відносяться: твердість; властивості визначувані при статичному розтягуванні; ударна в'язкість, межа витривалості.

**Твердість** - це здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього стороннього тіла.

**Метод Брінеля** - під дією сили  $F$  у випробовуване тіло впроваджується кулька діаметром  $D$ . Число твердості  $HB$  представляє відношення сили  $F$  до площі відбитку діаметром  $d$ .

**Метод Роквелла** - у випробовувану поверхню вдавлюється індентор - діамантовий конус з кутом при вершині  $120^\circ$  або сталева кулька малого діаметра. Число твердості  $HR$  зворотно пропорційне до глибини впровадження індентора. Шкали приладу  $HRA$ ;  $HRB$ ;  $HRC$ . Шкала  $C$  і  $A$  - для твердих тіл, шкала  $B$  - для м'яких.

**Метод Віккерса** - вимірює як м'які, так і дуже тверді матеріали. Твердість  $HV$  визначається за діагоналлю відбитку  $d$  від вдавлюваної діамантової піраміди.

**Зміцнені характеристики.** Напруження  $\sigma_T (F_T / S_0)$  відповідає виникненню площадки текучості на записаній у процесі випробувань діаграмі в координатах  $\sigma - \delta$  і  $E$  називається фізичною межею текучості.

За відсутності площадки визначають умовну межу текучості  $\sigma_{0,2}$ , яким є напруження, що приводить до залишкової деформації 0,2% від довжини зразка.

Напруження, попереднє руйнуванню зразка, називається тимчасовим опором або межею міцності  $\sigma_B$ .

**Пластичні характеристики.** Їх знаходять, вимірюючи зразки до і після випробувань. Визначають попередню руйнуванню пластичну деформацію, що виражається відносним подовженням чи відносним звуженням  $\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%$ .

Крім статистичних проводять динамічні випробування на ударний вигин. Спеціальні зразки руйнують на маятниковому копії за один удар.

**Ударна в'язкість**  $a_u$  уявляє собою роботу (необхідну для руйнування), віднесену до робочої площі поперечного перерізу зразка. Випробування ударним вигином при негативних температурах визначають температури порогу холодноламкості.

Властивості металів протистояти втомі називають витривалістю. Межа витривалості  $\sigma_{-1}$  відповідає максимальному напруженню, що не викликає руйнування зразка при нескінченно великому числі циклів навантаження  $N$ . Введені бази випробувань: для сталі  $N \geq 10 \cdot 10^6$  для кольорових сплавів  $N \geq 100 > 10^6$  циклів.

## 9 КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ

Умовно всі метали діляться на дві групи - *чорні й кольорові*.

**Чорні метали** - темно-сірий колір, велика щільність, висока температура плавлення, висока твердість, володіють поліморфізмом. Типовим представником є залізо.

**Кольорові метали** - характерне забарвлення: червоне, жовте, біле. Велика пластичність, мала твердість, низька температура плавлення, відсутність поліморфізму. Найбільш типовим представником є мідь.

Їх підрозділяють на :

- 1) легкі метали - берилій, магній, алюміній, з малою щільністю до 3 г/см<sup>3</sup>;
- 2) благородні метали - золото, срібло, платина - група і мідь - напівблагородний метал. Висока стійкість проти корозії;
- 3) легкоплавкі метали - цинк, кадмій, ртуть, олово, свинець, вісмут, талій, сурма.

Відносна вартість кольорових металів:

|         |            |
|---------|------------|
| Fe -1   | Cr -25     |
| Pb -2,5 | Hg -65     |
| Al -3   | Ti -160    |
| Cu -7,5 | Ag -270    |
| Mg -8   | Au -11000  |
| Ni -17  | Pt -27000. |
| Sn -22  |            |

### 9.1 Алюміній і його властивості

Густина - 2,7 г/см<sup>3</sup>; температура плавлення - 660°C. Об'єм виробництва - друге місце після заліза. Входить до складу глини. Запропонований в 1808 р. англійцем Деві, який і дав назву елементу. У Росії в XIX ст. називався глінієм.

У 1825 р. датчанин Ерстед отримав перші крупинці алюмінію. Автором сучасного способу виробництва алюмінію (електроліз розплавлених солей) були американський вчений Хол і французький учений Еру. У 1886 р. вони отримали незалежно один від одного патент на промисловий метод отримання алюмінію.

До 1890 р. у всьому світі було виготовлено 200т алюмінію. Тепер, в основному застосовують не чистий Al, а його сплави (дюралюміній). До 1906 р. алюміній застосовували в чистому вигляді. Вільм випадково знайшов спосіб зміцнення сплаву Al – Cu в результаті гарту і старіння, а запропонований ним сплав



(4% Cu, 0,5% Mg, 0,5% Mn) дюралюміній і зараз є найпоширенішим ( $\gamma = 2,6 \div 3 \text{ г/см}^3$ ,  $\sigma_B = 300 \div 600 \text{ МПа}$ ).

Алюміній широко застосовується там, де потрібна мала густина і велика питома міцність ( $\sigma_{B/p}$ ).

Прокатаний і відпалений алюміній високої чистоти має  $\sigma_B = 60 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{0,2} = 0,2 \div 20 \text{ МПа}$ , НВ - 25,  $\Psi$  - 85%,  $\delta$  - 40%. Al - гранецентровані решітки. Не має алотропічних модифікацій. Має високу теплопровідність, електропровідність і приховану теплоту плавлення. Слабко піддається корозії, оскільки утворюється щільна плівка  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Al особливої чистоти: А 999 - 99, 999% Al;  $\text{Fe} + \text{Si} = 0,001$ .

Al високої чистоти: А 995; А 99; А 37; А 95.

Al технічної чистоти: А 85; А 8; А 7; А 6; А 5; А 0.

*Існує три напрями застосування технічного Al:*

1) висока пластичність дозволяє проводити з Al глибоке штампування, плющення дуже тонкої товщини;

2) висока електропровідність (65% від Cu) для технічних цілей (провідниковий метал);

3) висока корозійна стійкість за рахунок плівки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (100А). Стійкий в органічних кислотах (застосовується в побуті, для транспортування і зберігання продуктів живлення). У неорганічних кислотах Al стійкий лише при невеликих концентраціях.

*Сплави на основі Al за способом виробництва розділяють на дві групи:*

1) що деформуються (в т.ч. спечені), йдуть на виготовлення напівфабрикатів - лист, профіль, поковки;

2) ливарні, призначені для фасонного литва.

Ті, що деформуються, складають 80% об'єму виробництва. Вони діляться на зміцнювані і незміцнювані термічною обробкою.

До термічних не зміцнюваних сплавів відносяться сплави Al з марганцем (Амц) і магнієм - магналії (АМг2, АМг3, АМг6 та ін.). Ці сплави володіють середньою міцністю, хорошою пластичністю і зварюваністю, а також високою корозійною стійкістю. Вони застосовуються в судно-, авіабудуванні, у виробництві зварних ємкостей, холодильників і т.д.

Механічні властивості Амц. Марганець покращує корозійну стійкість алюмінієвого сплаву. Al – Mn - сплави перевершують чистий алюміній більшою міцністю і корозійною стійкістю.

Магній - корисний легований метал, який підвищує корозійну стійкість і зменшує щільність алюмінію сплаву (оскільки він легше Al), підвищує міцність, не знижуючи пластичності.

Ці сплави у вигляді листів або просоченого, пресованого матеріалу поставляють у стані, що відпалює (м'якому) (маркувальне позначення М); після

невеликого наклепу - в напівнагартіваному стані (позначенні *П*), після сильного наклепу - нагартування (позначення *Н*).

Склади, вживані в авіабудуванні

|      | Mn, %     | Mg, %       |
|------|-----------|-------------|
| АМц  | 1,0 – 1,6 | Меньше 0,05 |
| АМг2 | 0,2 – 0,6 | 1,8 – 2,8   |
| АМг3 | 0,3 – 0,6 | 3,2 – 3,8   |
| АМг5 | 0,3 – 0,6 | 4,8 – 5,5   |
| АМг7 | 0,5 – 0,8 | 5,8 – 6,8   |

Сплав АМц

| Состояние              | М   | П   | Н   |
|------------------------|-----|-----|-----|
| $\sigma_B, \text{МПа}$ | 130 | 160 | 220 |
| $\delta, \%$           | 23  | 10  | 5   |

**Зміцнювані термічною обробкою.** До них відносяться наступні сплави: *Al – Cu – Mg* (дюралюміні Д1, Д16 та інші;  $\sigma_B = 410 - 540 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 11 \div 15\%$ ); на основі *Al – Cu – Mg – Si* (авіалі типу АВ:  $\sigma_B = 220 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 22\%$ ); на основі *Al – Cu – Mg – Zn* (високоміцні сплави В95, В96,  $\sigma_B = 550 - 700 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 7 - 8\%$ ); на основі *Al – Mg – Ni – Si* (жароміцні сплави АК4 - 1, Д20,  $\sigma_B = 430 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 12\%$ ); на основі *Al – Cu – Mg – Mn* (кувальні сплави АК6, АК8,  $\sigma_B = 470 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 10\%$ ) та інші.

**Дюралюміній** - деформація+термічна обробка, включає 4% *Cu* і 0,5% *Mg*, а також *Mn* і *Fe*. Винахідником дюралюмінію є вчений Вільм. Цей сплав має  $t_{\text{зак}}^{\circ} = 500^{\circ}\text{C}$ , охолоджується у воді, а потім відбуваються природні і штучні процеси старіння (рис.15).

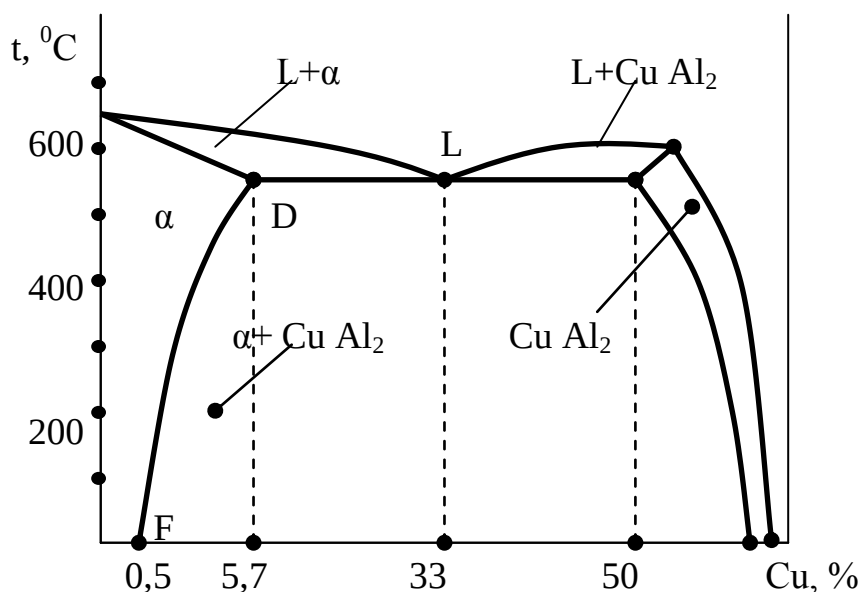


Рис.15 - Діаграма стану сплаву алюміній - мідь

Максимальна розчинність  $Cu$  в  $Al$  в твердому стані складає 5,7% при  $t=548^{\circ}C$ . При кімнатній температурі - 0,2-0,5%. Це вказує на те, що сплави, обмежені лінією  $DF$ , можуть термічно оброблятися і зміцнюватися. Зміцнення відбувається за рахунок розпаду термодинамічно нестійкого пересиченого  $\alpha$  - розчину  $Cu$  в  $Al$ . Шляхом дифузії усередині зерен  $\alpha$  - твердого розчину утворюються зміцнені ділянки, збагачені  $Cu$  (зони Гіне - Престона). Крім того, в сплаві виникають дисперсні частинки надмірної фази  $CuAl_2$  (що зміцнює). Цей процес називається старінням (рис.16). Старіння може бути штучним і природним (кімнатна температура).

При природному старінні  $\max \sigma_B$  настає через 4-5 діб. В інкубаційний період загартовані деталі можна піддавати різним технічним операціям (заклепка, гнучка). Швидкість старіння залежить від температури. При  $50^{\circ}C$  загартований стан стійкий. Якщо недовго витримувати природно постарений сплав  $Al$  при температурі  $200-250^{\circ}C$ , то він роззміцнюється і набуває властивостей, характерних для свіжозагартованого стану, набуваючи здатності до природного старіння. Це «повернення».

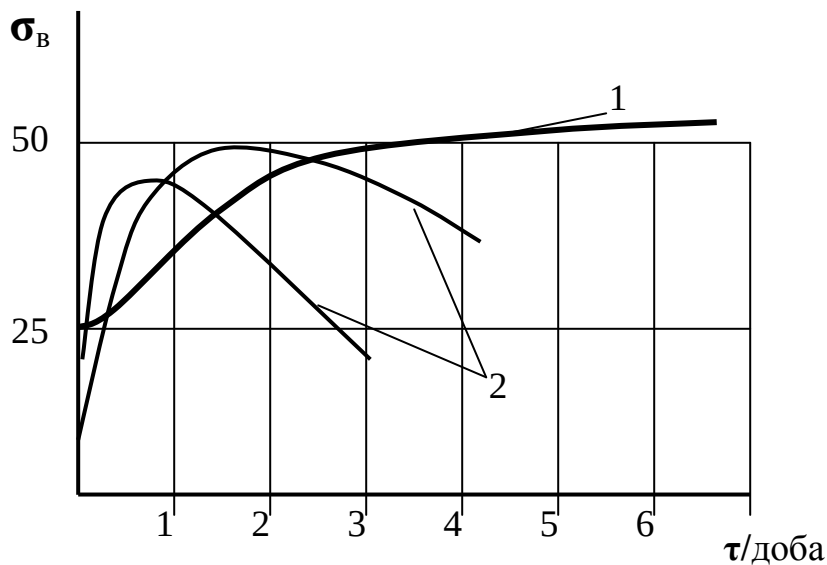


Рис.16 - Графік старіння дюралюмінію:  
1 - природне старіння; 2 - штучне старіння.

**Ливарні сплави.** Силуміни - ливарні сплави на основі  $Al$ ,  $Si$ , що містять і деякі інші елементи ( $AL2$ ;  $AL4$ ;  $AL9$ ;  $\sigma_B = 180 - 260 МПа$ ,  $\delta = 14\%$ ).

$Al$  і  $Si$  дають евтектику 11,7%  $Si$ . Застосовують тільки в литому вигляді (в авто- і авіабудуванні).

Як ливарні сплави  $Al$  рідше застосовують сплави  $Al$  з  $Cu$ ,  $Mg$ ,  $Zn$ .

Ряд деталей з  $Al$  сплавів виготовляють ковкою (лопаті гвинта). Окрім високих механічних властивостей від сплаву вимагається хороша пластичність в гарячому стані. У таких випадках застосовують або дюралюміній звичайного складу, або інші сплави, близькі за складом до дюралюмінію ( $AK6$ ;  $AK8$ ).

Термічна обробка литих деталей з  $Al$  сплавів покращує механічні властивості цих сплавів. Після гарту і природного старіння механічні властивості збільшуються в два рази.

Термічна обробка має ряд особливостей (через відмінності хімічного складу і грубішу структуру, грубозернисту).  $t_{нагр}^{\circ}$  під гарт декілька вище, ніж у деформованого, витримка велика для розчинення грубих інтерметалевих з'єднань, вирівнювання - за всім обсягом.

Ливарні  $Al$  сплави майже не схильні до природного старіння. Максимальну міцність отримують після штучного старіння протягом 10-20р. при 150 - 200°C. Можна суттєво підвищити їх властивості за рахунок особливої обробки в рідкому стані (модифікації). Перед самим відливанням в сплав вводять незначну кількість  $Na$  або ( $\frac{2}{3} NaF + NaCl$ ), що різко змінює структуру. Сплав стає доевтектичним. Структура уявляє собою з'єднання світлих первинних виділень  $Al$  і дрібнозернистої евтектики.

**Маркірування**  $Al$  означає наступне:  $A$  - сплав  $Al$ ,  $L$  - ливарний, цифра - порядковий номер в ГОСТі.

$AL2$  - нормальний силумін.  $AL4$  і  $AL9$  - силуміни із зниженим вмістом  $Si$  і невеликими добавками  $Mg$ ,  $Mn$ .

$AL3$ ,  $AL5$ ,  $AL6$  - низькокремнієві силуміни леговані  $Cu$ .

$Si$  в силумінах складає 6 - 13%.

$AL11$  - цинкований сплав, має кращі ливарні властивості, застосовується для особливо важливих цілей.

Поширені гранульовані й порошкові сплави  $Al$ . Гранульовані виробляються розпилюванням розплаву, при цьому виходять частинки сферичної або овальної форми - гранули. Швидкість охолодження залежить від товщини частинок, яка складає від долей до сотень мікрометрів. Достатня швидкість охолодження становить  $10^5 - 10^8 C/c$ . У гранульованих сплавах  $Al$  підвищуються механічні й фізичні властивості. Гранули брикетують, а потім піддають пластичній деформації.

Методами порошкової металургії виготовляють спечені  $Al$  порошки (САП) і спечені  $Al$  сплави (САС). Перші складаються з порошку  $Al$  і дисперсних частинок  $Al_2O_3$ , які підвищують міцність сплаву і знижують його пластичність. Сплави володіють високою жароміцністю (до 500°C). Вміст  $Al_2O_3$  в САПах 6 - 22 %.

Спечені сплави (САС - 1, САС - 2 та інші) відносяться до сплавів системи  $Al - Si - Ni$ . Використовують в приладобудуванні як матеріали з низьким

коефіцієнтом лінійного розширення. САСи у вигляді порошків отримують пульверизацією рідких сплавів при високих швидкостях охолодження. У структурі САС є дрібні включення  $Si$  і інтерметалеві з'єднання. Механічні властивості САС визначаються формою і розмірами частинок ( $\sigma_B = 230 - 460 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 0,5 - 4\%$ ).

## 9.2 Мідь

$Cu$  - метал червоного або ясно-рожевого кольору.  $\gamma = 8,9 \text{ мг/м}^3$ ,  $t_{пл} = 1083^\circ$ , решітка ГЦК, не має алотропічних перетворень.

Цінні властивості: висока електро- і теплопровідність, пластичність, корозійна стійкість, ливарні властивості.  $Cu$  і її сплави добре обробляються тиском, зварюються всіма видами зварки, піддаються паянню.

Механічні властивості чистої міді (прокатаної і відпаленої):  $\sigma_B = 250 - 270 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 40 - 50\%$ ;  $\psi = 75\%$ ;  $HB = 45$ .

На структуру і властивості міді суттєвий вплив роблять домішки. Наприклад,  $Al$ ,  $Fe$ ,  $P$ ,  $Sb$  знижують електро- і теплопровідність. Нерозчинні в міді домішки негативно позначаються на її властивостях. Вісмут викликає холодноламкість, кисень знижує пластичність і корозійну стійкість, водень робить її крихкою і при деформації викликає розтріскування (воднева хвороба), свинець приводить до гарячеламкості міді, оскільки утворює легкоплавку евтектику ( $326^\circ\text{C}$ ).  $S$  утворює  $Cu_2S$ , приводить до холодноламкості і знижує пластичність при гарячій і холодній деформації.  $P$  підвищує механічні властивості й рідинотекучість, сприяє зварці і застосовується як розкислювач. Селен і телур утворюють  $Cu_2Se$  і  $Cu_2Fe$ , які погіршують зварюваність, знижують пластичність, але покращують обробку різанням.

**Латуні.** Латунь - це сплави міді з цинком (до 45%). Колір - від червонуватого до ясно-жовтого. Колір і механічні властивості змінюються із збільшенням вмісту цинку. Латунь маркірують буквою «Л» і цифрою, яка вказує процентний зміст міді: Л68. Наприклад, ЛАЖМц - 66-6-3-2 означає: мідь, 66%; А - алюміній, 6%; Ж - залізо, 3%; Мц - марганець, 2%; остатні - цинк.

За призначенням латуні можуть бути деформовані (листи, стрічки, дріт, труби і т.д.) і ливарні (відливки, злитки і т.д.).

Латунь з 15 - процентним вмістом цинку має золотистий колір. З неї виготовляють медалі, художні вироби.

При добавці 1,5%  $Sn$  латуні набуває стійкість у воді.

При вмісті цинку більше 20 - 30% латунь схильна до корозійного розтріскування. Це явище називають «сезонною хворобою», яка пов'язана з насиченням вологою атмосфери.

Для уникнення розтріскування латунь піддають відпалу ( $250 - 300^\circ\text{C}$ ) для зняття внутрішнього напруження.

Механічні властивості латуні залежать від вмісту цинку,  $\sigma_B$  зростає від 30%, потім падає, НВ до 40% збільшується трохи, а потім різко.

Механічні характеристики деформованих подвійних латуней марок Л96, Л90, Л80, Л70, Л68, Л59 є наступними:  $\sigma_B = 450 - 600 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 2 - 5\%$  (у згартваному стані) і  $\sigma_B = 240 - 380 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 52 - 44\%$  (у відпаленому  $\delta = 2 - 5\%$  стані).

Спеціальна багатокомпонентна деформована латунь характеризується майже такими ж механічними властивостями.

Ливарна латунь (ЛК 80-3, ЛАЖМц 66 - 6-3-2, ЛМцНЖА 60-2-1-1-1 та ін., де К - кремній, Н - нікель) за міцністю не поступається відповідним деформованим латуням, але гірше за них за пластичністю.

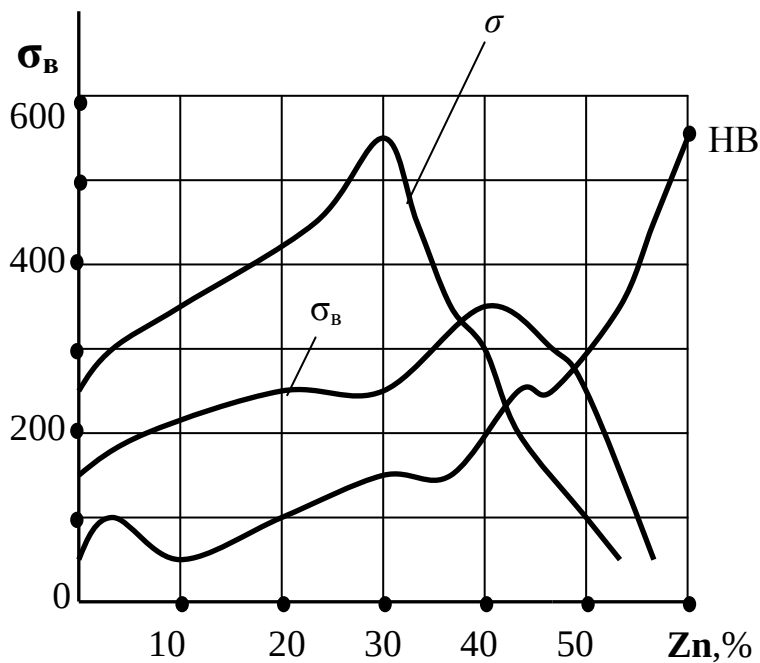


Рис.17 - Залежність механічних властивостей від вмісту цинку в латуні

**Бронзи.** Бронза - це сплави міді з оловом, алюмінієм, кремнієм, берилієм, кадмієм, хромом та іншими елементами. Бронзу називають за основними легуючими елементами: олов'яні, алюмінієві, берилієві, крем'янисті і т.д. Позначають двома буквами «Бр», потім ставлять перші букви основних легуючих елементів (О - олово, Ж - залізо, Ф - фосфор, Б - берилій, Х - хром) і цифри, що показують процентний вміст. Наприклад, БрОФ10-1 містить 10% олова, 1% фосфору, остатні - мідь.

Широке застосування має олов'яниста бронза. Її використовують для виготовлення водяної і парової апаратури, підшипників, зубчастих коліс, пружин. Олово змінює властивості бронзи: 5% Sn різко знижує пластичність; змінює колір бронзи: 5% Sn додає жовтий колір, 10 - 12% - оранжевий, з 28% - білий.

Бронза характеризується високою стійкістю проти стирання. Це один з кращих антифрикційних матеріалів. Вона характеризується малою усадкою, а

також високою хімічною стійкістю. В олов'яну бронзу вводять добавки:  $Zn$  5-10% - для здешевлення,  $Pb$  3-5% - для кращої оброблюваності,  $P$  1% - для додання пластичності.

Найчастіше використовують олов'яну бронзу марок: ливарні БрО10 ( $\sigma_B = 250 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 5\%$ ); БрОЦС 5-5-5 ( $\sigma_B = 170 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 8\%$ ); деформувані: БрОЦ4-3 ( $\sigma_B = 320 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 40\%$ ); БрОЦС4-4-2,5 ( $\sigma_B = 325 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 40\%$ ).

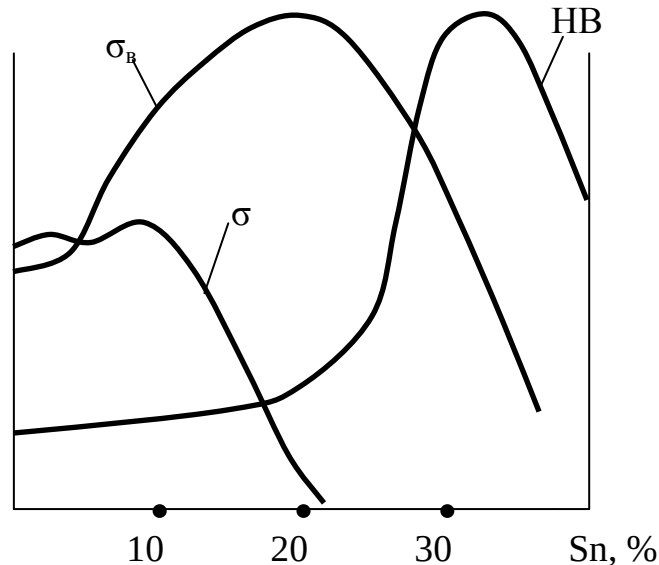


Рис.18 - Залежність механічних властивостей бронзи

Застосовують також безолов'яні бронзи.

Найбільш поширені алюмінієві бронзи (подвійні й складні). Вони перевершують олов'яні за механічними властивостями.

БрА7 у відпаленому стані ( $\sigma_B = 420 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 70\%$ );

БрАЖН10-4-4 ( $\sigma_B = 650 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 40\%$ ). Виготовляють деталі для машин.

Відливання з крем'янистої бронзи відрізняються вищою корозійною стійкістю, механічними властивостями і щільністю.

БрКЦ4-4 є замінником БрКЦС5-5-5.

Берилієва бронза (БрБ2 та ін.) характеризується високою міцністю ( $\sigma_B = 1200 \text{ МПа}$  в загартованому і зістареному стані) і пружністю, хімічною стійкістю, зварюваністю, обробкою різанням. З неї виготовляють мембрани, пружини.

Свинцева бронза (БрС30) є хорошим антифрикційним матеріалом для підшипників.

Окрім латуні й бронзи знаходять застосування **мідно-нікелеві сплави**, що мають високі електричні властивості. До них відносять  $Cu + 18 \div 30\%Ni + 0,8\%Fe + 1\%Mn$  (мельхіор);  $13 \div 16\%Ni + 18 \div 22\%Zn$  (нейзільбер);  $39 \div 41\%Ni + 1 \div 2\%Mn$  (константан);  $2,5 \div 3,5\%Ni + 11,5 \div 13,5\%Mn$  (манганін).

### 9.3 Інші кольорові метали

**Титан** - сріблясто-білий метал,  $\gamma = 4,5$ ,  $t_{пл} = 1672^\circ\text{C}$ . Має 2 модифікації:

1.  $\alpha$  - низькотемпературний, ГПУ
2.  $\beta$  - високотемпературний ( $t$  більше  $882^\circ\text{C}$ ), ОЦК.

Титан легкий, міцний, тугоплавкий, володіє високою корозійною стійкістю за рахунок оксидної плівки  $\text{TiO}_2$ . Обробляється тиском в холодному і гарячому стані, добре зварюється, але погано утворюється різанням. Використовується як розкислювач, модифікатор, легуюча добавка.

За структурою розрізняють:

- 1)  $\alpha$  - сплави;
- 2)  $\alpha + \beta$  - сплави;
- 3)  $\beta$  - сплави.

Найчастіше застосовують 1 і 2 сплави.

1 - а група ВТ 4, ВТ 5, ВІД 4, ВТ 18 - легують алюміній, іноді додають  $\text{Mn}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Sn}$  і т.д. Мають підвищену міцність при  $t_{ком}$  і підвищену  $t$ , а також низьку технологічну пластичність. Термічно не зміцнюють, використовують рекристалізацію, відпал при  $t=650-850^\circ\text{C}$  ( $\sigma_B = 650 \div 880 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 15 \div 40\%$ ).

2 - а група ВТ 6, ВТ 8, ВТ 14 та інші. Вони містять  $\text{Al}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{V}$ . Володіють високою міцністю, яку можна ще підвищити за рахунок гарту і старіння. Головний ефект зміцнення йде за рахунок легування. Має наступні механічні властивості: ( $\sigma_B = 800 \div 1150 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 8 \div 15\%$ ).

3 - а група ВТ 31, ВТ 22, ВТ 15. Це найбільш пластичні, але найменш міцні сплави.

**Застосування:** хімічна промисловість, суднобудування, машинобудування, авіація, ракетна техніка, легка і харчова промисловість. У криогенній техніці: компресори, холодильники, відцентрові насоси, магістральні газопроводи для північних районів, ємкості для зберігання рідкого водню, азоту, гелію і т.д.

**Магнієві сплави:**  $\gamma = 1,74$ ,  $t_{пл} = 651^\circ\text{C}$ , алотропічних перетворень не має.

Хімічна активність: метал. Окислюється з утворенням плівки  $\text{MgO}$ , не володіє захисними властивостями. У злитках, виробках і сплавах магній не вогнебезпечний. Безпечний у вигляді стружки, порошку або пилу. Взаємодія води з гарячим і розплавленим магнієм супроводжується вибухом.

Магній і його сплави добре обробляються різанням. Пластичні. Обробляються при підвищеній температурі. Легко зварюються аргонодуговою зваркою. Механічні властивості прокатаного магнію: ( $\sigma_B = 180 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 15\%$ ,  $HB = 30$ ).



Домішки *Fe, Ni, Co, Cu* знижують корозійну стійкість.

Магній використовують для отримання сплавів на його основі і легування алюмінієвих сплавів.

На основі сплавів магнію виготовляють аноди, деталі машин з високими деформаційними властивостями.

Сплави магнію можуть бути з алюмінієм, цинком і марганцем.

Магнієві сплави можуть бути ливарні й деформовані. З ливарних сплавів отримують деталі методом фасонного литва. Маркують *МЛ*.

Сплави, що деформуються, використовують для отримання напівфабрикатів і виробів пластичної деформації (плющення, кування, штампування). Маркують *МА*. За цими буквами ставлять цифри, вказуючи номер сплаву.

Ливарні: *Mg – Al – Zn* (*МЛ3, МЛ5*,  $\sigma_B = 147 \div 225 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 3\%$ ); на основі *Mg – Zn – Zr* (*МЛ12*  $\sigma_B = 200 \div 220 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 3 \div 6\%$ ).

Деформовані: *Mg – Mn* (*МА1, МА8*,  $\sigma_B = 240 \div 260 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 5 \div 12\%$ ). - *Mg – Al – Zn, МА2, МА5; Mg – Nb, МА12*.

*Mg – Zn – Zr* (*МА14*,  $\sigma_B = 350 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 14\%$ ).

Властивості: легкість, на 20-30% знижують металоємність, добре поглинають вібрації.

**Олов'яні сплави.** Це підшипникові сплави на основі *Sn, Pb, Zn, Al*. Їх називають *бабітами*. Вони володіють неоднорідною (гетерогенною) структурою, яка характеризується наявністю твердих включень і (м'якої пластичної) основи. Така структура забезпечує швидке прироблення деталей, які труться, і утворення мережі мікроскопічних каналів, по яких циркулює мастило і відходять продукти зносу.

Кращі олов'яно-сурм'яні бабіти марок *Б83* і *Б89*. У них основою служить *Sn*, містить 7 - 10% сурми і 2,5 - 6,5% міді ( $\sigma_B = 90 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 6 \div 9\%$ ). Температура плавлення  $380\text{--}342^\circ\text{C}$ . Мікроструктура - пластична основа, що складається з  $\alpha$  - твердого розчину сурми і міді в олові, в яку вкраплені світлі тверді включення *SnSb* і включення *Cu<sub>3</sub>Sn*.

Замінниками *Б83* і *Б89* є свинцево-олов'яно-сурм'яні бабіти марки *Б6, Б11, Б16*, в яких основою служить *Pb* (олова - від 5 до 17%, сурми - 13 - 17%, міді - 0,7 - 3%).

Механічні властивості:  $\sigma_B = 70 \div 80 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 0,5\%$ . У цих сплавах м'якою основою є свинець, а твердими хімічними сполуками *SnSb, Cu<sub>3</sub>Sn*.

## 10 НЕМЕТАЛІЧНІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

У промисловості широко застосовуються неметалічні матеріали: пластичні маси, композиційні й гумові матеріали, клеї, лакофарбні покриття, деревина, кераміка та ін.

Основною складовою неметалів є полімери - з'єднання, що складаються з макромолекул, схожих на витягнуті ланцюжки, окремі ланки яких є атомними угрупованнями (*мономери*).

Макромолекули можуть містити однакові або різні мономери, а іноді - блоки мономерів, що чергуються.

У зв'язку з цим матеріали називають *гомополімерами* (або полімерами), *сополімерами* і *блокосополімерами*.

За походженням полімери діляться на природні (натуральний каучук, азбест, целюлоза та ін.) і синтетичні (поліетилен, полістирол, поліаміди та ін.).

Низькомолекулярні речовини (етилен, стирол та ін.) переробляють в синтетичні полімери трьома способами:

- 1) полімеризацією,
- 2) поліконденсацією,
- 3) хімічним перетворенням.

Полімеризація є процесом з'єднання молекул (мономерів) без виділення побічних продуктів і зміни елементарного складу.

При поліконденсації з'єднуються молекули однакової або різної будови з виділенням побічних низькомолекулярних речовин.

Хімічні перетворення направлені на формування в полімерах нових структур і додання нових властивостей.

За хімічним складом полімери діляться на *органічні*, *елементоорганічні* й *неорганічні*. Основну масу складають органічні полімери: смоли і каучук. Їх молекулярний ланцюжок в основному утворений атомами вуглецю. Атоми різних елементів, які вводяться в основний ланцюг, додають полімерам специфічні властивості (кисень - гнучкість, фтор - хімічну стійкість, хлор - вогнестійкість).

До складу основного ланцюга *елементоорганічних* полімерів входять неорганічні атоми кремнію, титану, алюмінію та ін. До цього класу відносяться більш теплостійкі смоли, каучуки, але менш пружні й еластичні, ніж органічні полімери.

Основою *неорганічних полімерів* служать оксиди кремнію, алюмінію, магнію та ін. металів. До них відносяться силікатне скло, кераміка, слюда, азбест, графіт, що відрізняються щільністю, крихкістю і тривалою теплостійкістю.

*Полімери* характеризуються особливістю будови - наявністю ланцюгових молекул, в яких атоми уздовж ланцюга зв'язані міцними хімічними зв'язками. Між макромолекулами існують слабкіші електростатичні й водневі зв'язки, що

забезпечує полімерам гнучкість. У деяких полімерів можуть існувати хімічні зв'язки і між макромолекулами, що різко знижує їх еластичність і підвищує міцність.

За структурою макромолекул полімери діляться на лінійні або ланцюгоподібні, розгалужені, стрічкові, просторові, паркетні. Лінійні полімери (поліетилен, поліамізин) відрізняються еластичністю, великою щільністю укладання макромолекул.

Розгалужені полімери (поліізобутилен і різні сополімери) володіють меншою щільністю, менш міцні, більш розчинні і легко плавляться.

Різновидом просторового полімеру є, наприклад, графіт з пластинчастою або паркетною структурою. За фазовим складом полімери аморфні й кристалічні. Перші мають невисоку міцність, але хорошу еластичність, другі можуть мати просторові решітки кристалів. Як правило, співіснують аморфна і кристалічна сфери. Остання додає полімерам теплостійкість, жорсткість і міцність. Відношення об'єму, займаного кристалічною фазою, до загального об'єму полімера, називають ступенем кристалічності.

За поведінкою при нагріві полімери діляться на *термопластичні* й *термореактивні*. Термопластичні полімери при підвищених температурах розм'якшуються, а при знижених - тверднуть. Їх можна переробляти у виробі неодноразово, структура полімерів лінійна або розгалужена. Термореактивні полімери на першому етапі переробки у виробі мають лінійну структуру і при нагріві розм'якшуються. При зростанні температури макромолекули «зшиваються», полімер твердне і залишається твердим, тобто можлива лише одноразова його переробка.

Багато полімерів володіють малою щільністю і теплостійкістю, а також високою хімічною і корозійною стійкістю. Це гарні електроізоляційні матеріали, що до того ж володіють хорошими оптичними властивостями. Вони відзначаються достатньою міцністю, пружністю, еластичністю, високою технологічністю.

Залежно від температури нагріву полімери можуть знаходитися в одному з трьох фізичних станів: склоподібному, вискоеластичному і в'язкотекучому.

*Склоподібний* стан характеризується коливальними рухами лише атомів, що входять до складу мономерів. Ні ланки, ні макромолекули полімеру не переміщуються. Це стан властивий всім полімерам, а полімери з просторовою структурою бувають тільки в склоподібному стані. Переважна деформація полімерів в цьому стані - пружна.

*Вискоеластичний стан* забезпечується за рахунок коливання ланок і вигинів макромолекул, що може призвести до значних оборотних змін форми полімера за рахунок сумісних пружних і вискоеластичних деформацій. Подібний стан досягається у лінійних, розгалужених і рідкосітчастих (типу гум) полімерів.

*В'язкотекучий стан* (рідкий) спостерігається у лінійних і розгалужених полімерів за рахунок високої рухливості макромолекул. У в'язкотекучому стані проводяться переробки полімерів і матеріалів на їх основі у виробі. Полімери у

високоеластичному або в'язкотекучому стані піддають повільному розтягуванню. При цьому макромолекули набувають направленої орієнтації і впорядкованої структури, що, у свою чергу, приводить до підвищення міцності й пружності полімерів.

Полімери схильні до теплового, світлового, озонного і атмосферного старіння - процесу мимовільної необоротної зміни властивостей. При цьому полімери або розм'якшуються, або підвищують свою твердість і крихкість.

## 10.1 Типові термопластичні матеріали

**Пластмасами, або пластиками** називають матеріали, які отримують на основі природних або синтетичних полімерів, які при певній температурі і тиску набувають пластичності, а потім тверднуть, зберігаючи форму при експлуатації. Пластмаси можуть бути з одного полімеру або мати складну композицію. Окрім полімеру до складу пластмас входять також наповнювачі, пластифікатори, затверджувачі, каталізатори, фарбники та ін.

**Термоласти.** Поліетилен залежно від методу виготовлення може мати низьку щільність ( $0,9 - 0,95 \text{ г/см}^3$ ) і ступінь кристалічності 55 - 65%, або високу щільність ( $0,95 - 0,98 \text{ г/см}^3$ ) і ступінь кристалічності 74 - 95%. Хімічно стійкий, температурний інтервал експлуатації складає  $70-100^\circ\text{C}$ . Кристалічна фаза додає поліетилену теплостійкість і високу механічну міцність ( $\sigma_B = 8,5 \div 45 \text{ МПа}$ ). Для підвищення стійкості проти старіння в нього вводять 2-3% сажі. Використовується для виробництва плівок, труб, ізоляції проводів і кабелів, покриттів на метал та ін.

**Поліпропілен** ( $\gamma = 0,9 \div 0,92 \text{ г/см}^3$ ) має значну кількість кристалічної фази. Температура експлуатації від  $-15$  до  $+150^\circ\text{C}$ . Високі фізико-механічні властивості  $\sigma_B = 25 \text{ МПа}$ . Застосовують у виробництві текстильних виробів, плівок, конструкційних деталей і різних ємкостей.

**Полістирол** ( $\gamma = 1,05 \div 1,1 \text{ г/см}^3$ ) - твердий, жорсткий і прозорий аморфний пластик. Розчиняється в бензолах, але стійкий до слабких кислот, лугів, спиртів, не розчиняється в мастилах і бензині. Використовується в інтервалі температур  $-20 - +80^\circ\text{C}$ ;  $\sigma_B = 35 \div 40 \text{ МПа}$ . Схильний до старіння і утворення тріщин. Використання: деталі радіо і телетехніки, фотоапаратури, корпусів і ручок різних машин, волокон, деталі автомобілів, труб та ін.

**Фторопласт - 4** ( $\gamma = 2,15 \div 2,35 \text{ г/см}^3$ ), містить кристалічну і аморфну фази. Термічно стійкий ( $-269$  до  $+250^\circ\text{C}$ ),  $\sigma_B = 14 \div 35 \text{ МПа}$  зберігається до  $t = 250^\circ\text{C}$ . Має високу хімічну стійкість проти кислот, лугів, окислювачів і розчинників; не змочується водою, має малий коефіцієнт тертя. Недоліки: холодотекучість, виділення фтору при підвищених температурах. Застосування: деталі хімічної апаратури, труби для хімікатів, антифрикційні покриття на метали та ін.

**Полівінілхлорид** ( $\gamma = 1,4 \text{ мг/м}^3$ ), аморфна структура, хороша хімічна стійкість, негорючий, атмосферостійкий,  $\sigma_B = 40 \div 60 \text{ МПа}$ .

**Вініпласт** - різновид полівінілхлориду, застосовується у виробництві труб для агресивних середовищ, захисних покриттів металів, гальванічних ванн і т.п. *Недоліки*: низька тривала міцність, термостійкість під навантаженням.

**Пластикат** - різновид полівінілхлориду. *Використання*: у вигляді плівки або як початковий матеріал для виготовлення друкарських валів, прокладок ущільнювачів, конвеєрних стрічок, труб та ін.

**Поліаміди** ( $\gamma = 1,12 \div 1,16 \text{ мг/м}^3$ ) - пластики, що кристалізуються, відомі як капрон, нейлон та ін. Стійкі до бензину, спирту, лугів. Робоча температура  $60\text{--}110^\circ\text{C}$ ,  $\sigma_B = 50 \div 100 \text{ МПа}$  (хороший конструкційний матеріал). Висока зносостійкість, ударна міцність, демпфуючі властивості і низький коефіцієнт тертя. *Недоліки* - гігроскопічність і старіння за рахунок окислення. *Застосування*: шків, зубчасті колеса, підшипники, ущільнювачі, трубопроводи, волокна, канати, антифрикційні й антикорозійні покриття металів.

**Лавсан** ( $\gamma = 1,12 \text{ мг/м}^3$ ) - складний поліефір, кристалічний полімер, при швидкому охолодженні може стати аморфним. Володіє хорошою хімічною стійкістю і морозостійкістю ( $-70^\circ\text{C}$ )  $\sigma_B = 17,5 \text{ МПа}$ , яка може бути збільшена за рахунок заданої орієнтації молекул. *Застосування*: волокна, тканини, плівки, канати, реміні, зубчасті колеса та ін.

**Термостійкі пластики** -  $300^\circ\text{C}$  і більше - поліаміди - ароматичні термопластичні пластики. Стійкі до розчинників, масел, слабких кислот,  $\sigma_B = 90 \div 130 \text{ МПа}$ , низький коефіцієнт тертя. *Застосування*: плівки, різні деталі машин.

Наповнювачі додають в термопласти в кількості 40 - 70% для підвищення механічних властивостей, зниження вартості й зміни інших параметрів. Наповнювачі - це органічні й неорганічні речовини у вигляді порошків (деревна мука, сажа, слюда,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ , тальк графіт), волокон (бавовняне, скляне, азбестове, полімерне), листів (папір, тканини, деревний шпон).

Стабілізатори - різні органічні речовини, які вводять в кількості декількох відсотків для збереження структури молекул і стабілізації властивостей, що уповільнює старіння.

Пластифікатори - додають в кількості 10 - 20% для зменшення крихкості й поліпшення формованості. Пластифікаторами часто служать ефіри, а іноді полімери з гнучкими молекулами.

Спеціальні добавки - змащувальні матеріали, фарбники, добавки для зменшення статичних зарядів і горючості, для захисту від цвілі, прискорювачі й сповільнювачі затвердіння - служать для зміни або посилення яких-небудь властивостей.

Затверджувачі в кількості декількох відсотків додають до термореактивних пластмас. Як затверджувачі використовують органічні перекиси та ін. речовини, сірку (в гумах).

Основою класифікації пластмас служить хімічний склад полімера. Залежно від полімера пластмаси розділяють на *фенолоформальдегідні (фенопласти), епоксидні, поліамідні, поліуретанові, стиролові* та ін.

## 10.2 Типові термореактивні матеріали

У **термореактивних пластмасах (реактопластах)** зв'язуючими є термореактивні полімери, найчастіше це епоксидні (склопластики на їх основі здатні до тривалої експлуатації при  $t$  до  $200^{\circ}\text{C}$ ), фенолоформальдегідні (до  $260^{\circ}\text{C}$ ), кремнійорганічні (до  $370^{\circ}\text{C}$ ), поліамідні (до  $350^{\circ}\text{C}$ ) смоли, а також неорганічні поліефіри (до  $200^{\circ}\text{C}$ ). Зв'язуючі повинні володіти високою адгезією, теплостійкістю, хімічною стійкістю, малою усадкою, технологічністю.

У порошкових пластмасах, прес - порошках ( $\gamma = 1,4 \div 1,45 \text{ мг} / \text{м}^3$ ) наповнювачами служать органічні (деревна мука, целюлоза) або мінеральні (графіт, тальк, кварц) порошки. Ці пластмаси володіють хімічною стійкістю, теплостійкістю до  $110^{\circ}\text{C}$ , міцністю  $\sigma_B = 30 \div 60 \text{ МПа}$ , але низькою ударною в'язкістю.

*Застосування:* електроізоляційні деталі, елементи несилкових конструкцій. Прес - порошки, які вироблені на основі епоксидних смол, знайшли застосування в інструментальній справі, виробництві штампів і пристрою, для усунення дефектів литва та ін.

У волокнистих пластмасах, волокнітах ( $\gamma = 1,35 \div 1,45 \text{ мг} / \text{м}^3$ ) наповнювачем є вичоси бавовни. Виготовляють шківи, рукоятки, фланці і т.п.

Азболокніти ( $\gamma = 1,95 \text{ мг} / \text{м}^3$ ), як наповнювач використовується волокнистий азбест, більш теплостійкий (до  $200^{\circ}\text{C}$ ), стійкий до кислот, володіє високими фрикційними властивостями. Використовують для створення гальмівних пристроїв.

Скловолокніти - хімічно стійкі, негорючі, температура експлуатації до  $280^{\circ}\text{C}$ , мають  $\sigma_B = 80 \div 500 \text{ МПа}$ , технологічні. Із скловолокнітів роблять високоточні, будь-якої конфігурації кріпильні вироби і деталі машин.

У складних пластмасах застосовують листові наповнювачі.

Гітенакси ( $\gamma = 1,3 \div 1,45 \text{ мг} / \text{м}^3$ ) з паперовими наповнювачами підрозділяють на електротехнічні і декоративні. Витримують температуру до  $150^{\circ}\text{C}$ ,  $\sigma_B = 80 \div 100 \text{ МПа}$ . Застосовують для виготовлення різних щитків, панелей, облицьовування приміщень.

Текстоліти ( $\gamma = 1,3 \div 1,45 \text{ мг/м}^3$ ) мають наповнювач з бавовняних тканин, випускають марки ПТК, ПТ та ін. Працюють при температурі 80 - 125<sup>0</sup>С,  $\sigma_B = 65 \div 100 \text{ МПа}$ , хороший демпфуючий матеріал. *Застосування*: зубчасті колеса, вкладиші підшипників.

Деревно-шаруваті пластики (ДСП) ( $\gamma = 1,3 \div 1,4 \text{ мг/м}^3$ ), містять наповнювачі у вигляді деревної шпони. Експлуатуються при температурі до 140- 200<sup>0</sup>С,  $\sigma_B = 130 \div 300 \text{ МПа}$ , безшумні в роботі й довговічні. З них виготовляють підшипники, шківів, деталі швейних і текстильних машин, автомобілів, вагонів.

В азботекстолітах як наповнювач використовують азбестову тканину. Це конструкційний, фрикційний і термовитримний матеріал, застосовується для гальмівних пристроїв.

До шаруватих пластиків відносяться і склотекстоліти ( $\gamma = 1,4 \div 1,9 \text{ мг/м}^3$ ) в яких використовують скляні тканини. Склопластики здатні до тривалої експлуатації при  $t = 200\text{-}400^0\text{С}$ , а короткочасно - до декількох тисяч градусів. Хімічно стійкі,  $\sigma_B$  до 600 МПа, мають достатню ударну в'язкість і вищу порівняно з металами працездатність. *Недоліки*: анізотропія і невисокий модуль пружності. *Застосування*: корпуси човнів, суден, кузови автомашин та ін.

### 10.3 Гумові матеріали

**Гумою** називають продукт вулканізації суміші каучуку з сіркою та іншими добавками.

Основою гуми служить каучук натуральний або синтетичний. Для поліпшення фізико-механічних властивостей каучуків вводять різні добавки (*інгредієнти*).

1. Як вулканізуючі речовини, що беруть участь в утворенні просторово-сіткової структури вулканізату, звичайно застосовують сірку і селен. Для гум електротехнічного призначення замість елементарної сірки, яка взаємодіє з міддю, застосовують органічні сірчисті сполуки (тіурам).

2. Протистарителі - альдоль, нізон, віск, парафін.

3. Пом'якшувальні засоби (пластифікатори) - парафін, вазелін, стеаринова кислота, бітум, рослинні масла та ін.

4. Наповнювачі - сажа, крейда, тальк і т.п., підвищують механічні властивості й здешевлюють гуму.

5. Фарбники.

*Гуми* - хімічно стійкі матеріали, які володіють газо- і водонепроникністю, високою стійкістю до стирання і хорошими електроізоляційними властивостями. Ці матеріали мають низький модуль пружності ( $E = 1 \div 10 \text{ МПа}$ ); є малостискальними, схильні до зниження працездатності за рахунок дії теплоти

внаслідок внутрішнього тертя, яке виділяється, при багатократному навантаженні виробу.

До гум загального призначення відносяться натуральний каучук (НК) ( $\gamma = 0,91 \div 0,92 \text{ мг/м}^3$ ). Це аморфний полімер, але в ньому може бути утворена і кристалічна фаза, що приводить до зміцнення НК. Розчиняється в бензині, бензолі та інших розчинниках, утворюючи клеї. Температурний інтервал використання від 70 до 130<sup>0</sup>С. Механічні властивості НК:  $\sigma_B = 24 \div 34 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 600 \div 700\%$ , залишкове подовження 25 - 40%.

До цієї групи належать гуми марки СКБ, СКС, СКІ, що володіють властивостями, близькими до властивостей натурального каучуку. З гум загального призначення проводять ремені, рукави, шини, ізоляцію кабелів та ін.

До спеціальних відносять декілька груп гум. До групи мастилобезостійких входить гума наїрит ( $\gamma = 1,225 \text{ мг/м}^3$ ), для якої властиві висока еластичність, вібростійкість, озоностійкість. Поступається гумам загального призначення за морозо- і теплостійкістю. Існують марки мастилобензостійких гум СКН ( $\gamma = 0,94 \div 0,99 \text{ мг/м}^3$ ) і тіокол ( $\gamma = 1,3 \div 1,4 \text{ мг/м}^3$ ), останній є хорошим герметиком.

Гума СКТ ( $\gamma = 1,7 \div 2,0 \text{ мг/м}^3$ ) відноситься до теплостійких, її температурний інтервал експлуатації від 60 до 200<sup>0</sup>С.

Світлоозоностійкі гуми випускають марок СКФ ( $\gamma = 1,8 \div 1,9 \text{ мг/м}^3$ ), СКЕП і бутілкаучук. Зносостійкі гуми отримують на основі каучуку СКУ. Із спеціальних гум виготовляють ремені, транспортні стрічки, мастилобензостійкі ущільнювачі, діафрагми, гнучкі шланги та ін.

Застосування неметалічних матеріалів призводить до значного зниження матеріаломісткості машин і зменшення маси конструкції в 4 - 5 разів. Застосування цих матеріалів забезпечує скорочення виробничого циклу. Трудомісткість виготовлення деталей зменшується в 5 - 6 разів, а собівартість продукції знижується в 2 - 3 рази.

## 10.4 Композиційні матеріали

**Композиційні матеріали** є композицією з м'якої матриці і високоміцних волокон. Волокна армують матрицю і сприймають все навантаження. У цьому полягає принципова відмінність композиційних матеріалів від звичайних сплавів, зміцнених, наприклад, дисперсними частинками. У сплавах основне навантаження сприймає матриця (твердий розчин), а дисперсні частинки гальмують в ній рух дислокацій, сильно знижуючи тим самим її пластичність. У композиційних матеріалах навантаження сприймають високоміцні волокна, зв'язані між собою пластичною матрицею. Матриця навантажена слабо і служить для передачі й



розподілу навантаження між волокнами. Композиційні матеріали відрізняються високим опором розповсюдження тріщин, оскільки при їх утворення, наприклад, через руйнування волокна тріщина «в'язне» в м'якій матриці. Крім того, композиційні матеріали, що використовують високоміцні й високомодульні волокна і легку матрицю, можуть володіти високими питомою міцністю і жорсткістю.

Рівень заданого комплексу властивостей проектується заздалегідь і реалізується у процесі виготовлення матеріалу. При цьому матеріалу надають по можливості форму, що максимально наближається до форми готових деталей і навіть окремих вузлів конструкції.

**Композиційними** називаються складні матеріали, до складу яких входять ті, що сильно відрізняються за властивостями нерозчинні або малорозчинні один в одному компоненти, розділені в матеріалі яскраво вираженою межею. Принцип запозичений у природи - стовбури і стеблини рослин, кістки людей і тварин. Властивості композиційних матеріалів в основному залежать від фізико-механічних властивостей компонентів і міцності зв'язку між ними. Відмітна особливість - в них виявляються достоїнства компонентів, а не їх недоліки. Разом з тим для них властиві риси, якими не володіють окремо взяті компоненти, що входять до їх складу. Для оптимізації властивостей композицій вибирають компоненти з властивостями, що різко відрізняються, але доповнюють один одного.

Основою композиційних матеріалів (матриць) служать метали або сплави (композиційні матеріали на металевій основі), а також полімери, вуглецеві й керамічні матеріали (композиційні матеріали на неметалічній основі).

Матриця зв'язує композиції і надає їй форму. Від властивостей матриці залежать технологічні режими отримання композиційних матеріалів, а також такі важливі експлуатаційні характеристики, як робоча температура, опір втомному руйнуванню, дії навколишнього середовища, щільність і питома міцність. Вироблені композити з комбінованими матрицями, що складаються з чергуючих шарів (два і більше) різного хімічного складу.

Композиційні матеріали з комбінованими матрицями називають **поліматричними**. Для цих матеріалів характерний великий перелік набутих властивостей.

У матриці рівномірно розподілена решта компонентів (наповнювачів). Головну роль у зміцненні композиту відіграють наповнювачі, тому їх часто називають **зміцнювачами**. Зміцнювачі повинні володіти високими міцністю, твердістю і модулем пружності. За цими властивостями вони значно перевершують матрицю.

Властивості композиту залежать також від форми або геометрії, розміру, кількості й характеру розподілу наповнювача (схеми армування).

*За формою наповнювача діляться на три групи:*

1) нуль вимірні,

2) одновимірні,

3) двовимірні.

Нульвимірними називають наповнювачі, які мають в трьох вимірах дуже малі розміри одного порядку (частинки).

Одновимірні - мають малі розміри в двох напрямках і розмір, що значно перевершує їх у третьому вимірюванні (волокна).

Двовимірні - мають два розміри, що співвимірні з розміром композиційного матеріалу, значно перевершують третій (пластини, тканина).

За формою наповнювача композити розділяють на дисперсно-зміцнені й волокнисті.

**Дисперсно-зміцненими** називають композити, зміцнені нульвимірними наповнювачами. До **волокнистих** відносять матеріали, зміцнені одновимірними або одно- і двовимірними наповнювачами.

За схемою армування композити підрозділяють на три групи: з одновісним, двовісним і тривісним армуванням.

Для одновісного (лінійного) армування використовують нульвимірні й одновимірні наповнювачі. Нульвимірні розташовують так, що відстань між ними по одній осі (наприклад, по осі X) значно менше, ніж по двох інших. Об'ємний вміст наповнювача в цьому випадку складає 1-5%. Одновимірні наповнювачі розташовують паралельно один одному.

При двовісному (площинному) армуванні використовують нуль-, одно- і двовимірні наповнювачі. Нульвимірні й одновимірні наповнювачі розташовуються в площинах, паралельних один одному. При цьому відстань між ними в межах площини значно менше, ніж між площинами. При такому розташуванні нульвимірного наповнювача його вміст доходить до 15-16%. Одновимірні наповнювачі також розташовані в паралельних площинах. При цьому в межах кожної площини вони розташовані паралельно, а по відношенню до інших площин під різними кутами. Двовимірні наповнювачі розташовані паралельно один одному.

При тривісному (об'ємному) армуванні немає переважного напрямку в розподілі наповнювача. Для армування використовують нульвимірні й одновимірні наповнювачі. Відстані між нуль нульвимірними наповнювачами одного порядку, їх об'ємний вміст може перевищувати 15-16%. Одновимірні наповнювачі вміщують у трьох взаємно перпендикулярних площинах.

Для розширення комплексу властивостей часто використовують одночасно наповнювачів різної форми. Композити, які містять два і більш різних наповнювача, називають **поліармованими**.

**Дисперсно-зміцнені композити.** У них наповнювачами служать дисперсні частинки тугоплавких фаз - оксидів, нітридів, боридів, карбідів ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $BN$ ,  $SiC$  та ін.). Ці матеріали отримують методами порошкової металургії, рідше безпосередньо вводять наповнювачі в рідкий метал перед

розливанням із застосуванням ультразвукової обробки для кращого перемішування. Розміри частинок в межах 0,01 - 0,1мкм, а відстань між ними 0,05 - 0,5мкм.

До цих матеріалів відносять матеріали із *спеченої алюмінієвої пудри* (САП); на нікелевій основі відомі композиції, зміцнені частинками оксидів торія, натрію, гафнію.

*САП* - характеризується високою міцністю, жароміцністю, корозійною стійкістю і термічною стабільністю властивостей. Структура САП - алюмінієва основа з рівномірно розподіленими дисперсними включеннями  $Al_2O_3$ . Добре деформується в гарячому стані, легко обробляється різанням, зварюється контактною, аргонодуговою зваркою. Застосовують *САП-1, САП-2, САП-3*, з них проводять всі види напівфабрикатів: листи, профілі, штамповані заготовки, труби, фольгу. Використовують для деталей, які працюють при температурі 300-500<sup>0</sup>C (поршневі штоки, лопатки компресорів, лопаті вентиляторів і турбін, конденсатори, обмотки трансформаторів в електротехніці).

*Спечені алюмінієві сплави (САС)* виготовляють в основному за тією ж технологією, що і САП, - з порошків, отриманих розпилюванням сплавів заданих складів. Механічні властивості САС -  $\sigma_B = 260 МПа$ ,  $HB = 120$ ,  $\delta = 1,5 \div 1\%$ . Сплав САС складу: 25 - 30% Si, 5 - 7% Ni, решта Al, замінює важчі сталі при виготовленні деталей приладів.

***Композити на нікелевій основі.*** Як матрицю використовують Ni і його сплави з Cr (20%), із структурою твердих розчинів, зміцнювачі - частинки оксидів торія, гафнію та ін. Методи отримання цих матеріалів складні: змішення порошків Cr, і елементів з порошком Ni, що містить дисперсний оксид гафнію, потім холодне пресування і гаряча екструзія брикетів.

***Волокнисті композити.*** У них зміцнювачами служать волокна або ниткоподібні кристали чистих елементів і тугоплавких з'єднань (B, C,  $Al_2O_3$ , SiC та ін.), а також дріт з металів і сплавів (Mo, W, Be високоміцної сталі та ін.). Використовують безперервні й дискретні волокна діаметром від долей до сотень мкм.

Як матриці використовують метали: Al, Mg, Ti жароміцний Ni і сплави на їх основі, а також неметали - полімери, вуглецеві, керамічні матеріали.

Властивості залежать від схеми армування. Високими є значення межі витривалості, оскільки відбувається гальмування розвитку тріщин м'якою матрицею.

Зв'язок між волокнами і матрицею забезпечується за рахунок взаємодії між ними і утворення дуже тонкого шару (1-2 мкм) інтерметалевих фаз. Якщо ж немає взаємодії, то його забезпечують волокна спеціального покриття. Зв'язок між компонентами на неметалічній основі здійснюється за допомогою адгезії, тобто шляхом молекулярної взаємодії.

**Композити на неметалічній основі.** Переваги - хороша технологічність, низька щільність і в ряді випадків вищі питома міцність і жорсткість, висока корозійна стійкість, хороші теплозахисні й амортизаційні характеристики, антифрикційні й фрикційні властивості.

**Недоліки:** низька міцність зв'язку волокон з матрицею, різка втрата міцності при підвищенні температури вище 100 - 200<sup>0</sup>С, мала електрична провідність, відсутність здатності до зварювання.

Найбільшого поширення набули композиції з полімерною матрицею: епоксидною, фенолформальдегідною і поліамідною. Як зміцнювачі використовують високоміцні й високомодульні, вуглецеві й борні, скляні й органічні волокна у вигляді ниток, джгутів, стрічок, нетканих матеріалів.

Композиції з вуглецевими волокнами називають вуглеволоконітами, з боровими - бороволоконітами, скляними, - скловолоконітами, органічними, - органоволоконітами.

**Композити на металевій основі.** Найбільш перспективними для матриць є метали, що володіють невеликою щільністю (*Al, Mg, Ti*) і сплави на їх основі, а також *Ni* - як основний компонент жароміцних сплавів.

**Матеріали з *Al* матрицею** - армують сталевим дротом (КАС), борним волокном (ВКА) і вуглецевим волокном (ВКУ). Як матриця технічний *Al* (АД1) або сплави (*AMrG, B95, D20*). Зміцнення дорожчими волокнами *B, C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>* підвищує вартість, але покращує властивості.

**Матеріали з *Mg* матрицею** (ВКМ), мають меншу щільність, ніж з *Al*, при приблизно такій же високій міцності 1000 ÷ 1200 МПа.

**Матеріали на *Ti* основі** - труднощі при створенні через нагрів до високих температур. Титановий сплав ВТ6 (6% *Al*, 4% *V*, решта *Ti*), армований волокнами *Mo, Be, SiC*.

**Композити на *Ni* основі** (ВКН) - робочі температури до 1000<sup>0</sup>С, тому вводять як зміцнювач вольфрамовий дріт 40 - 70%.

Використання композитів у літальних апаратах знизило їх масу до 40%, збільшило корисне навантаження. Застосовують в турбобудуванні (лопатки турбін)

Особливі властивості дозволяють широко використовувати їх як електроізоляційні матеріали (органоволокніти). У машинобудуванні (корпуси і деталі машин), хімічній промисловості (цистерни, ємкості), суднобудуванні (корпуси човнів, гребні гвинти, підшипники).

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуляев А. П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1986. - 636с.
2. Дриц М. Е.; Москалев М. А. Технология конструкционных материалов и материаловедение.- М.: Высш. шк., 1990. – 256с.
3. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1980. – 527с.
4. Материаловедение./ Под ред. проф. Б.Н.Арзамасова. - М.: Машиностроение, 2000. – 384с.

## **НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ**

Матеріалознавство. Конспект лекцій частина 1 для студентів спеціальності «Експлуатація та ремонт машин і обладнання агропромислового виробництва»

Комп'ютерний набір та верстка: Я.В. Оласюк

Редактор:

Підр. До друку \_\_\_\_\_. Формат 60x84/16. Папір офіс. Гарн. Таймс. Ум. друк, арк 4,75. Обл.- вид. арк. 4,0. Тираж 20 прим. Зам.

Редакційно-видавничий відділ  
Луцького національного технічного університету

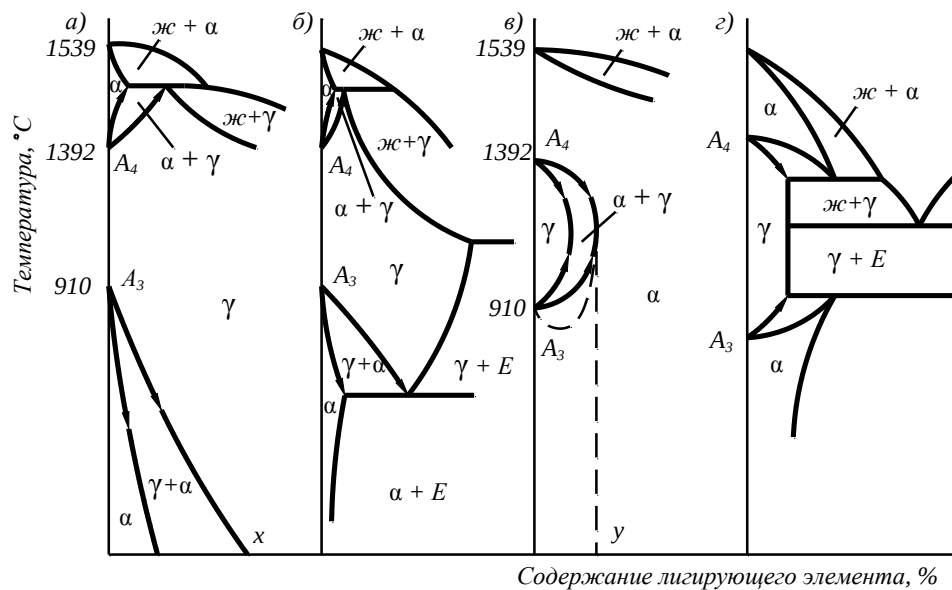
43018, м.Луцьк, вул. Львівська, 75  
Друк – РВВ Луцький НТУ

## 14. ЛЕГОВАНІ СТАЛИ І СПЛАВИ

**Легування - цілеспрямована зміна складу матеріалу шляхом введення легуючих елементів для зміни структури і набуття необхідних властивостей.**

### 14.1. Вплив легуючих елементів на перетворення в сталях

Усі елементи, які розчиняються в залозі, впливають на температурний інтервал існування його алотропічних модифікацій, тобто зрушують точки  $A_3$  і  $A_4$  за температурною шкалою (мал. 14.1). Елементи, які тільки розчиняються у фериті або цементиті, не утворюючи спеціальних карбідів, чинять лише кількісний вплив на процеси перетворення. Карбідоутворювальні елементи вносять не лише кількісні, але і якісні зміни до кінетики ізотермічного перетворення.

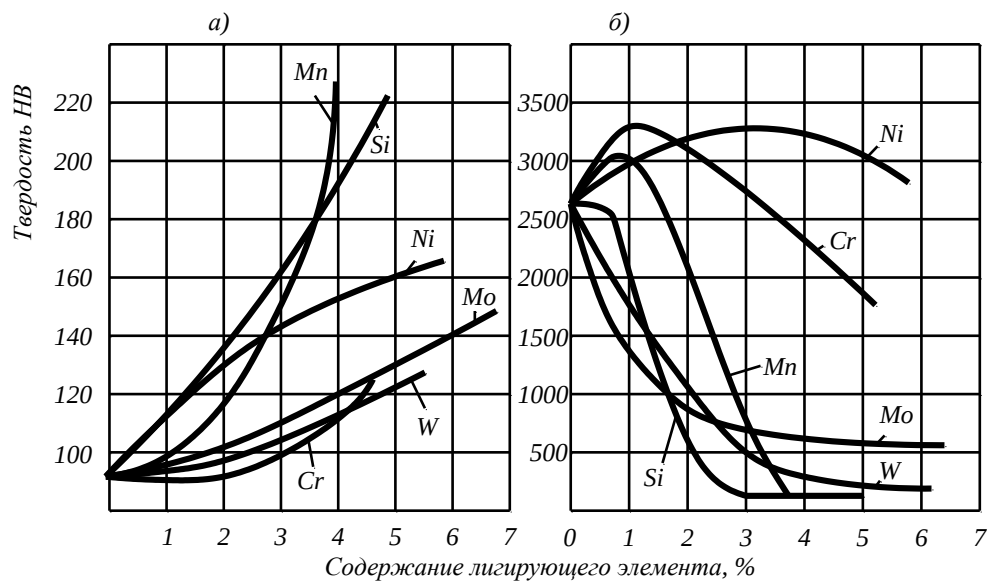


Мал. 14.1. Вплив легуючих елементів на поліморфізм заліза : а - Ni, Mn (аустенітні); б - Mn; у - V, Si, Al, Cr, W, Mo (ферритні); г - B, Zn, Nb

Легуючі елементи чинять великий вплив на положення точок S (0,8 % C) і E (2,14 % C) діаграми "железо-цементит" (мал. 7.1) :

Ni, Co, W, Cr, Mn знижують, а V, Ti, Nb підвищують.

Легуючі елементи в сталі можуть бути в твердому розчині, карбідній фазі або у вигляді інтерметалевих з'єднань і впливають на властивості фериту і аустеніту у міру збільшення їх змісту в сталях (мал. 14.2).



Мал. 14.2. Вплив легуючих елементів на властивості фериту

При високому вмісті легуючих елементів часто утворюються інтерметалеві з'єднання:  $\text{Fe}_7\text{Mo}_6$ ,  $\text{Fe}_2\text{Mo}_6$ ,  $\text{Fe}_2\text{W}$ ,  $\text{Fe}_7\text{W}_6$ ; силіциди:  $\text{FeSi}$ ,  $\text{Fe}_3\text{Si}$ ,  $\text{Fe}_5\text{Si}_3$  ( $\eta$  - фаза),  $\text{Fe Cr}$  ( $\sigma$  - фаза).

По відношенню до вуглецю легуючі елементи діляться на три групи:

- - що графітизують - Si, Ni, C, Al ;
- - нейтральні - Z ;
- - карбідоутворювальні (по зростаючій мірі спорідненості до вуглецю і стійкості карбідних фаз розташовуються в наступному порядку:  $\text{Fe} \rightarrow \text{Mn} \rightarrow \text{Cr} \rightarrow \text{Mo} \rightarrow \text{W} \rightarrow \text{Nb} \rightarrow \text{V} \rightarrow \text{Zn} \rightarrow \text{Ti}$ ).

При малому вмісті Mn, Cr, W, Mo карбідоутворювальні розчиняються в цементиті і утворюють легований карбід типу #003C; #013C. Сильніші карбідоутворювальні - Ti, Zn, V, Nb - утворюють спеціальні карбіди ( $\text{TiC}$ ,  $\text{NbC}$ ,  $\text{ZnC}$ ,  $\text{VC}$ ).

Карбіди в легованих сталях можна розділити на дві групи: карбіди типу (М - метал) -  $\text{M}_3\text{C}_2$ ,  $\text{M}_7\text{C}_3$ ,  $\text{M}_{23}\text{C}_6$  і  $\text{M}_6\text{C}$  ( $\text{M}_4\text{C}$ ), які легко розчиняються в аустеніті при нагріві і карбіди типу  $\text{MC}$  ( $\text{TiC}$ ,  $\text{NbC}$ ,  $\text{ZnC}$ ),  $\text{W}_2\text{C}$  і  $\text{Mo}_2\text{C}$ , впровадження, що є фазами, і які в реальних умовах не розчиняються в аустеніті.

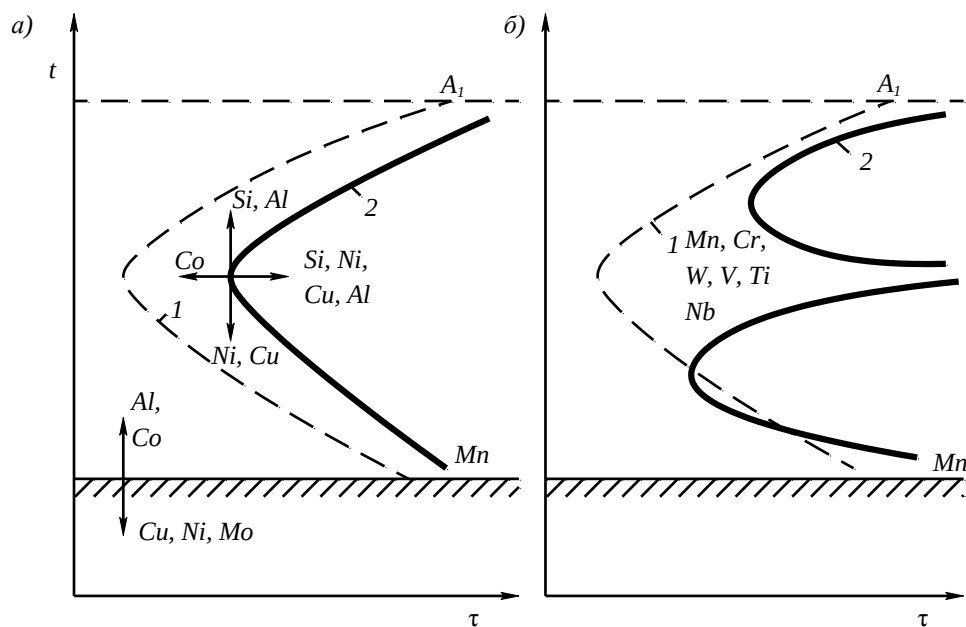
Усі карбіди мають високу температуру плавлення і високу твердість. Чим дисперснее карбіди, тим вище міцність і твердість.

#### 14.2. Вплив легуючих елементів на кінетику розпаду аустеніту

**Некарбідоутворювальні елементи, окрім Z, уповільнюють кінетику розпаду аустеніту (мал. 14.3, а).**

**Карбідоутворювальні елементи вносять не лише кількісні, але якісні зміни до кінетики ізотермічного перетворення аустеніту (мал. 14.3, б).**





Мал. 14.3. Діаграми ізотермічного розпаду аустеніту :  
а - вуглецева (1) і легована некарбідоутворювальними елементами (2); б) -  
вуглецева (1) і легована карбідоутворювальними елементами (2)

Найбільш важливою здатністю легуючих елементів є уповільнення швидкості розпаду аустеніту в районі перлітового перетворення (зміщення лінії управо). Це знижує критичну швидкість загартування і сприяє глибокій прожарюваній.

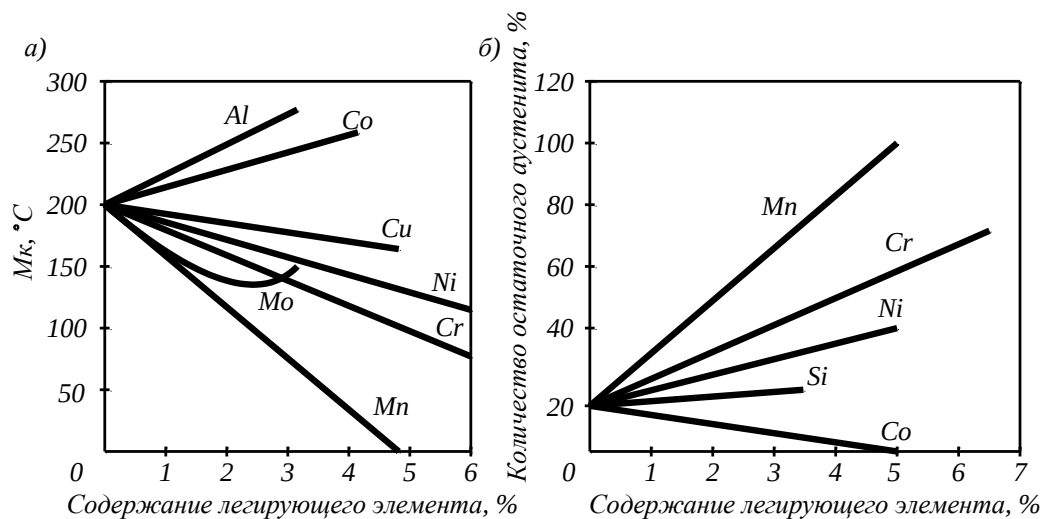
Сильно збільшується прожарювана стали при легуванні Cr, Ni, Mo, Mn, і особливо вона збільшується при спільному легуванні декількома елементами (Cr + Ni + Mo).

Ефективно впливають на прожарювану мала кількість бору (оптимально 0,002 - 0,006 %). При великому змісті бору утворюються борид і прожарювана зменшується.

### 14.3 Вплив легуючих елементів на мартенситне перетворення

Легуючі елементи, міняючи температурний інтервал  $M_n$  і  $M_k$  (мал. 14.4), зменшують або збільшують кількість залишкового аустеніту.

Усі легуючі елементи зменшують схильність аустенітного зерна до зростання; виняток становлять марганець (Mn) і бор (B).



Мал. 14.4. Вплив легуючих елементів на температуру мартенситного перетворення (а) і кількість залишкового аустеніту в сталі з 1,0 % С (б)

Леуючі елементи уповільнюють розпад мартенситу при відпустці (дуже істотно Cr, Mo, Si, Ti) і підвищують температури фазових перетворень, тим самим підвищуючи червоностійкість сталі.

#### 14.4. Класифікація легованих сталей

Класифікація легованих сталей виробляється за наступними ознаками:

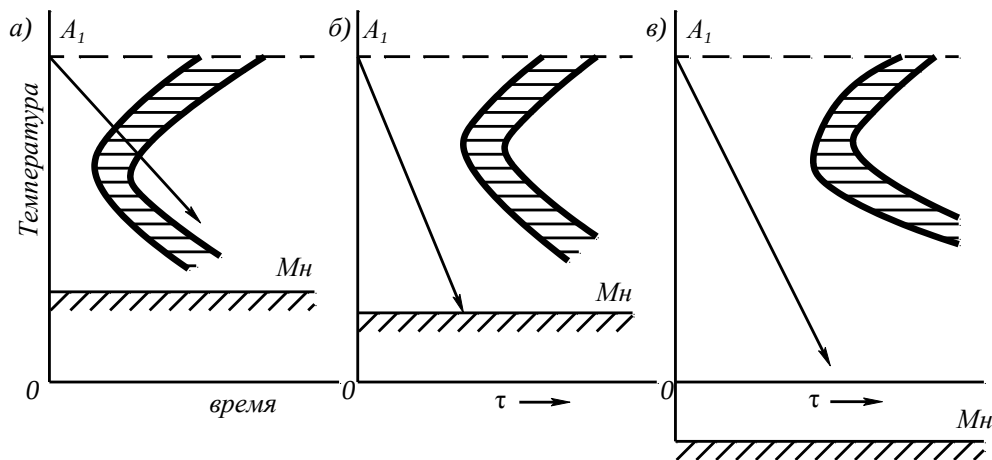
- - по рівноважній структурі;
- - по структурі після охолодження на повітрі;
- - по складу;
- - за призначенням.

**По рівноважній структурі леговані сталі діляться на:**

- - доевтектоїдні сталі, такі, що мають в структурі надлишковий ферит;
- - евтектоїдні, такі, що мають перлітову структуру;
- - заевтектоїдні, такі, що мають в структурі надлишковий вторинний карбід;
- - ледебуритные сталі, первинні карбіди, що мають в структурі, виділяються з рідкої фази.

*Приклад: При змісті 5 % Cr сталь з 0,6 % С є заевтектоїдною, а з 1,5 % С - ледебуритной.*

**По структурі після охолодження на повітрі (мал. 14.5) виділяють три основні класи легованих сталей : перлітовий, мартенситний, аустенітний.**



Мал. 14.5. Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту сталей :

а - перлітового класу (0,1 - 1,5 % С), що містять менше 5 - 7 % легуючих елементів; б) - мартенситного класу (0,3 - 0,6 % С), що містять 10 - 15 % легуючих елементів; у - аустенітного класу (0,1 - 0,5 % С), що містять більше 15 % легуючих елементів

**По складу сталі діляться на:**

- - нікелеві;
- - хромисті;
- - крем'янисті;
- - хромонікельмолибденові.

**За призначенням леговані сталі діляться на:**

- - конструкційні (цементуємі, покращувані), будівельні низьколеговані;
- - інструментальні: для різального інструменту (швидкорізальні); для штампового інструменту; для мерительного інструменту;
- - сталі і сплави з особливими властивостями: нержавіючі, жаростійкі, теплостійкі, з особливостями теплового розширення, з особливими магнітними властивостями.

## 14.5. Принципи комплексного легування

Все частіше в промисловості розробляються і застосовуються нові комплексно леговані сталі і сплави. Такий підхід дозволяє скоротити витрату дорогих легуючих елементів (наприклад, вольфрам) не знижуючи, а, як правило, підвищуючи багато властивостей сталей і сплавів.

Комплексне легування проводиться для того, щоб:

- - підвищити стійкість аустеніту до переохолодження і розпаду, оскільки легуючі елементи знижують критичну швидкість загартування;
- - збільшити прожарювану;
- - зменшити схильність сталі до росту аустенітного зерна;

- - збільшити міру дисперсності карбідних фаз після загартування і відпустки;
- - зміцнити ферит;
- - підвищити температуру рекристалізації;
- - зменшити схильність стали до відпускної крихкості;
- - поліпшити оброблюваність сплаву;
- - зменшити схильність стали до деформації (викривленню) при термічній обробці (оскільки використовуються "м'які" середовища, що охолоджують);
- - збільшити запас в'язкості і опір холодноламкості;
- - збільшити експлуатаційну надійність деталі;
- - поліпшити зварюваність.

Леговані стали без термічної обробки не застосовуються.

#### 14.6. Технологічні особливості термічної обробки легованої сталі

Легування, змінюючи швидкості і температури фазових перетворень, а також теплові характеристики (теплопровідність) стали, істотно впливає на режим термічної обробки.

Нагрівуючи під загартування необхідно проводити повільно, оскільки легування зменшує теплопровідність стали. Час витримки збільшується для завершення фазових перетворень і вирівнювання складу. Температура нагріву під загартування легованої сталі вища, ніж у нелегованої вуглецевої при однаковому змісті вуглецю.

Охолодження легованих сталей після нагріву і витримки проводиться зі значно меншою швидкістю (масло, повітря), чим нелегованих вуглецевих.

Так як легуючі елементи знижують  $M_n$  і збільшують кількість залишкового аустеніту, для повнішого перетворення аустеніту на мартенсит додатково проводять обробку стали холодом, або проводять два або три відпустки. Така обробка підвищує твердість після відпустки за рахунок розпаду залишкового аустеніту на мартенсит відпустки.

#### 14.7. Особливості відпуску легованої сталі

Легуючі елементи чинять кількісний і якісний вплив на фазові перетворення при відпустці.

***Кількісний вплив полягає в зміні швидкостей і температурних інтервалів фазових превращень при відпустці.***

І перетворення в сталі ( $P \rightarrow A$ ) супроводжується виділенням вуглецю з мартенситу ( $z/a \rightarrow 1$ ). У вуглецевих сталях тетрагон грат сталі зникає при 300 °C. З введенням Cг, V, Ti, W, Mo, Si ця температура піднімається до 450 - 500 оC і підвищується красностойкоcть стали.

При II - ом перетворенні в сталі ( $A \rightarrow \Phi + \Psi$ ) легуючі елементи підвищують стійкість переохолодженого аустеніту, тим самим збільшуючи кількість залишкового аустеніту (до 30 %), який при відпустці перетворюється на мартенсит відпустки при вищій температурі, ніж у не легованих сталей. Вольфрам (W) і хром (Cr) підвищують температуру коагуляції до 450 оС, молібден (Mo) - до 550 °С. Карбідоутворювальні елементи уповільнюють процес коагуляції.

***Якісний вплив легуючих елементів при відпустці легованих сталей полягає в появі нових ефектів при відпустці загартованих сталей : карбідного перетворення і вторинної твердості.***

Після III -го перетворення ( $A \rightarrow M$ ), яке йде при вищій температурі (450-500 оС), некарбідоутворювальні елементи (Co, Ni, Si) дифундують з цементита в перліт ( $\Psi \rightarrow P$ ), карбідоутворювальні (Cr, Mn, W, Mo) з фериту в цементит ( $\Phi \rightarrow \Psi$ ).

У момент граничного насичення цементита легуючим елементом відбувається карбідне перетворення; легований цементит перетворюється на спеціальний карбід #003C, #0123C6.

Явище вторинної твердості полягає в підвищенні твердості після відпустки в інтервалі досить високих температур 500 - 600 °С. Це явище пов'язане з перетворенням залишкового аустеніту на мартенсит і освітою високо дисперсних спецкарбідів, які заклинюють площини ковзання і підвищують твердість.

## 15. КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Конструкційними називають матеріали, призначені для виготовлення деталей машин, приладів, інженерних конструкцій, що піддаються механічним навантаженням.

Вибір стали для виготовлення деталей визначається:

- - умовами роботи;
- - величиною і характером напруги, що виникає в процесі експлуатації;
- - розмірами і формою деталі.

Вибрана сталь повинна задовольняти експлуатаційним, технологічним і економічним вимогам.

Експлуатаційні вимоги мають первинне значення, оскільки повинні забезпечити працездатність, надійність і конструктивну міцність матеріалу.

***Конструктивна міцність - це певний комплекс механічних властивостей, що забезпечує тривалу і надійну роботу матеріалу в умовах його експлуатації.***

Конструктивна міцність визначається чотирма основними критеріями: жорсткістю, міцністю, опором крихкому руйнуванню, надійністю.

***Жорсткість конструкції - структурно не чутлива характеристика, залежна тільки від природи матеріалу (міжатомних зв'язків). Показником***

*жорсткості є модуль подовжньої пружності(модуль жорсткості). Зазвичай в сукупності з  $E$  враховують щільність ( $\gamma$ ) матеріалу і використовують критерій питомої жорсткості ( $E/\gamma$ ), що дуже важливо в літакобудуванні.*

*Міцність - здатність конструкції чинити опір деформаціям і руйнуванням. Характеристики міцності визначають в результаті статичного випробування на розтягування ( $\sigma_u$ ;  $\sigma_{0,2}$ ). Ці характеристики залежать від структури сталі і термічної обробки. Міцність змінюється в широких межах від 100 до 3500 МПа. Як і у разі жорсткості, зазвичай враховують щільність матеріалу і оперують поняттями питомої міцності :*

*$\sigma_u / \gamma$ ;  $\sigma_{0,2} / \gamma$ .*

За цими показниками вищі значення мають титанові сплави.

Модуль пружності  $E$  і межа плинності  $\sigma_{0,2}$  є розрахунковими характеристиками, що визначають допустиме навантаження.

*Надійність - властивість виробу виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного проміжку часу або необхідного напрацювання (у годиннику). Головний показник надійності - запас в'язкості матеріалу.*

*Опір матеріалу крихкому руйнуванню є найважливішою характеристикою, що визначає надійність.*

*Довговічність - властивість виробу зберігати працездатність до граничного стану (неможливість подальшої експлуатації). Довговічність залежить від умов експлуатації і визначається:*

- - опором зносу при терті;
- - станом поверхні;
- - корозійною стійкістю матеріалу.

### 15.1. Класифікація конструкційних сталей

Конструкційні сталі за умовами роботи діляться на автоматних, покращуваних, високоміцних, цементуемые, азотуються, пружинно-ресорні, шарикоподшипниковые.

*- - автоматні сталі відрізняються високою оброблюваністю різанням при виготовленні деталей на верстатах-автоматах в масовому виробництві (гвинти, болти, гайки).*

Для поліпшення оброблюваності у вуглецевих сталях допускається підвищена кількість сірки і фосфору (0,08-0,3 % S і 0,06 % P). Марки автоматної сталі - A11, A12, A30, A35 (A - автоматна, цифри - соті долі відсотків угле-рода). Для поліпшення оброблюваності, підвищення стійкості інструменту, підвищення швидкості різання легованих сталей додатково вводять Pb, Ca, Se (селен), Ti (теллур).

Марки сталей : АС 38Г2, АС20ХГНМ (з добавками свинцю 0,15- 0,3 %), АЦ30, АЦ20ХНЗ (з добавками Са 0,002 - 0,008 %), АС40ХЕ (з добавкою Se).

**- - покращувані леговані сталі містять вуглецю 0,3-0,5 % і не більше 5 % легуючих елементів. Поліпшення сталей досягається загартуванням і високою відпусткою. З цих сталей виготовляють відповідальні деталі машин і механізмів, що працюють в умовах циклічних і ударних навантажень, концентрації напруги, при низьких температурах.**

Покращувані сталі повинні мати:

- - висока межа плинності ( $\sigma_{0,2}$ );
- - високу пластичність з малою чутливістю до надрізу;
- - глибоку прожарювану;
- - дрібне зерно;
- - відсутність розвитку відпускнуї крихкості.

По прожарюваній покращувані сталі діляться на 4 групи:

| Глибина загартованого шару, мм | Марка сталі                    |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 25-35                          | 30Х, 40Х, 40ХМНА, 40ХФА;       |
| 50 - 75                        | 40ХГТР, 30ХГС, 35ХГСА;         |
| 70 - 100                       | 30ХН3А, 40ХН2МА, 30ХГСНА;      |
| більше 100                     | 36Х2Н2МФА, 38ХН3МФА, 18Х2Н4МА. |

**- - високоміцні сталі . До них відносяться середньовуглецеві, комплекснолегированні сталі з межею міцності ( $\sigma_B$ ) більше 1400 - 2000 Мпа:**

- - отримані за допомогою загартування і низької відпустки;
- - термомеханічної обробки;
- - мартенситостаріючі сталі.

Si, Mo, W, V знижують разупрочнение при відпустці і змізернюють зерно; Cr, Mn забезпечують глибоку прожарювану; Ni знижує чутливість до надрізів.

Марки високоміцних сталей 30ХГСНА, 40ХГСН3ВА, 30Х2ГН2 ВМ застосовуються в літакобудуванні в силових зварних конструкціях, деталях фюзеляжу, шасі.

Високотемпературна термомеханічна обробка (ВТМО) і низькотемпературна термомеханічна обробка (НТМО) додатково забезпечують наступні властивості:

- - вищу пластичність і в'язкість;
- - знижують поріг холодноламкості;
- - знижують чутливість до відпускнуї крихкості;
- - підвищують втомну міцність;
- - підвищують стійкість до разупрочненню при відпустці;

**- - цементуємі леговані сталі. ці сталі містять малу кількість вуглецю (0,1-0,25 %). Легування (Cr, Ni, Mo, V, Mn, Ti) зміцнює серцевину, карбидообразующі збільшують міру вуглецювання поверхневого шару, змізернюють зерно, підвищують твердість, зносостійкість і контактну**

### **витривалість.**

Обробка сталі проводиться в наступній послідовності: цементация + загартування + низька відпустка. При цьому твердість поверхні складає 58 - 62 HRC, а серцевини - 20 - 35 HRC.

Марки цементуемых сталей : 15X, 20X, 15XФ. З них виготовляють дрібні валики, шестерні, зубчасті колеса.

Стали марок 12ХН3А, 20ХН3А, 12Х2Н4А, 20Х2 Н4А застосовують для виготовлення великих деталей (до 100 мм) відповідального призначення.

Стали марок 18Х2Н4МА, 18Х2Н4ВА мають високий комплекс механічних експлуатаційних властивостей і застосовуються для виготовлення зубчастих коліс судових редукторів, валів.

Стали марок 18ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ використовують для виготовлення зубчастих коліс літаків, автомобілів, шатунів, шпильок;

**- - леговані, що азотуються, стали. Азотування проводиться після поліпшення.**

Мета азотування : підвищити зносостійкість деталей, контактну витривалість, корозійну стійкість, разгаростойкість.

Сталь марки 38ХМЮА застосовується в літакобудуванні для зубчастих коліс, гільз циліндрів, валиків, роликів; сталь марки 38Х2Ю застосовується для виготовлення валиків водяних насосів, плунжерів, копиров.

**- - пружинно-ресорні стали. Ці сталі повинні мати особливі властивості у зв'язку з умовами роботи пружин (циліндричних, плоских) і ресор.**

Основні вимоги до цих сталям:

- - висока межа пружності (опір малим пластичним деформаціям);
- - висока межа витривалості.

Цим умовам задовольняють сталі із змістом вуглецю 0,5 - 0,7 % і стали, леговані Si, Mn, Cr, V, W.

Зміцнення цих сталей досягається загартуванням і відпусткою при 420 - 520 оС з поверхневим наклепанням (обдуванням дробом). Отримана після такої обробки структура трооститу забезпечує відношення  $\sigma_{\text{упр}} / \sigma_{\text{в}}$  приблизно 0,8, що підвищує надійність роботи пружин.

Марки ресорно-пружинних сталей : 70, 65Г, 60С2, 50ХГ, 65С2ВА, 70С3А. Леговані ресорно-пружинні сталі мають підвищену релаксаційну стійкість, забезпечують тривалу роботу машин і приладів.

**- - шарикоподшипниковые стали - заевтектійні стали, такі, що містять більше 0,8 % вуглецю. Після відпалу, загартування в масло і низької відпустки отримують твердість сталі 62 - 65HRC, а структуру - скрытокристаллический мартенсит з дрібними рівномірно розподіленими карбідами, який забезпечує, :**

- - рівномірну твердість;



- - стійкість проти стирання;
- - необхідну прожарювану;
- - достатню в'язкість.

Марки шарикоподшипникової сталі: ШХ15, ШХ15СГ, ШХ6, ШХ9. Для великогабаритних підшипників (діаметром більше 400 мм), що працюють в тяжких умовах при великих ударних навантаженнях, застосовують цементуемую сталь 20Х2Н4А (цементация проводиться при  $t = 930-950$  оС, витримка 50-170 ч; потім слідує загартування і відпустка). Глибина отриманого цементованого шару складає 5-10 мм.

**- - високомарганцевисті зносостійкі сталі - сталі аустенітного класу, які мають високі опір зносу, високу міцність і низьку твердість.**

Марка високомарганцевистої сталі : 110Г13Л.

Висока зносостійкість сталі 110Г13Л пояснюється зміцненням (наклепанням) аустеніту при пластичній деформації в процесі роботи. У поверхневому шарі аустеніт перетворюється на мартенсит. У міру зносу поверхнього шару, мартенсит утворюється в наступному шарі. Сталь 110Г13Л застосовують для трамвайних стрілок, щік каменедробарок, козирків ковшів, черпаків.

**- - мартенсито-старіючі. Це безуглеродисті сталі ( $3 < 0,03$  %), мають в основі Fe і Ni (8 - 25 % Ni) і леговані Co, Mo Ti, Al, Cr, Nb.**

Висока міцність таких сталей досягається поєднанням двох механізмів зміцнення : мартенситного перетворення ( $\gamma \rightarrow \alpha$ ) і старіння мартенситу.

Ni - стабілізує  $\gamma$ - твердий розчин, сильно знижуючи температуру ( $\gamma \rightarrow \alpha$ ) перетворення, і воно протікає по мартенситному механізму (зрушення). Ti, Be, Al, Cu, Mo обмежено розчиняються в  $\alpha$  - Fe. Мартенсито-старіючі сталі гартують з температури 800 - 860 оС на повітрі. Загартування фіксує пересичений мартенсит залізника, який дуже пластичний. Зміцнення досягається при старінні з  $t = 450 - 500$  °З, коли з мартенситу виділяються високодисперсні вторинні фази (Ni<sub>3</sub>Ti, NiAl, Fe<sub>2</sub>Mo, Ni<sub>3</sub>Mo), когерентно пов'язані з матрицею.

Для мартенсито-старіючих сталей характерні:

- - висока межа плинності;
- - низький поріг холодноламкості;
- - високий опір поширенню тріщин;
- - мала чутливість до надрізів;
- - високий опір крихкому руйнуванню;
- - висока конструктивна міцність в широкому діапазоні температур від криогенних до 450 - 500 оС;
- - висока технологічність.

Марки мартенсито-старіючих сталей : 03Н18К9М5Т, 03Н12К15М10, 03Х11 Н10М2Т.

Мартенсито-старіючі сталі використовують для відповідальних деталей в авіації, ракетній техніці, приладобудуванні, суднобудуванні як пружинний матеріал.

## 16. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ СТАЛИ І СПЛАВИ

**Інструментальними називають вуглецеві і леговані сталі, такі, що містять більше 0,7-1,25 % С, мають високу твердість ( 60-65HRC), міцність, зносостійкість і вживані для різного інструменту.**

Класифікацію інструментальних сталей проводять за двома ознаками: за призначенням і за властивостями.

За призначенням інструментальні сталі діляться на різальних (швидкорізальні), ударно-штамповые, мерительные.

За властивостями інструментальні сталі діляться на нетеплостійких (У11, У12, 9ХС, ХВГ, робоча температура яких 200 -300 оС), напівтеплостійких (середньо- і високолеговані сталі, робоча температура яких 300 - 500 °С); теплостійкі (високолеговані, швидкорізальні і тверді сплави і металокераміка, робоча температура яких 500-625 оС).

**Теплостійкість (червоностійкість) - здатність матеріалів зберігати службові властивості (твердість, міцність) при нагріві до робочих температур.**

### 16.1. Різальні сталі

В процесі роботи різальний інструмент працює на знос поверхні.

До зносостійких матеріалів пред'являються вимоги:

- - висока твердість і дрібнозерниста рівномірна структура, що забезпечує великий опір стиранню на контактних поверхнях;
- - висока гаряча твердість і гаряча міцність за відсутності схильності до пластичної деформації;
- - достатня в'язкість при великому опорі зовнішнім силам, діючим на трибосистему;
- - термодинамічна стійкість компонентів структури (твердих фаз);
- - висока міцність меж зерен між кристалами твердої фази і між твердою фазою і зв'язкою;
- - незначна схильність до адгезії з матеріалом -партнером, особливо при пікових параметрах вантаження.

Різні механізми зносу часто діють одночасно (абразивний і дифузійний). Який з них домінує, той і визначає час ефективної роботи різального інструменту (термін служби).

**Різальні сталі містять вуглецю 0,8 -1,25 % . До них відносять:**

- - вуглецеві сталі невеликій прожарювані: У9, У10, У11, У12. З цих сталей

виготовляють різці, свердла, напилки;

- - леговані сталі, основними легуючими елементами яких є Cr, W, V (9ХФ, 9ХС, 9ХВГ, ХВГ, ХВГС).

## 16.2. Швидкорізальні сталі

***Швидкорізальні сталі застосовуються для різноманітного інструменту, що працює при високих швидкостях різання в тяжких умовах.***

Якість (стійкість) інструменту залежить від:

- - якості сталі;
- - ретельності і правильності виготовлення;
- - правильної термічної обробки.

Швидкорізальні сталі мають високу теплостійкість і високу зносостійкість (за рахунок V, Z, W). До них відносяться сталі ледебуритного класу : РІ8, Р12, Р6М5, Р6М5К5, Р10К5Ф5, Р9К10, РОФ2К8М6АТ, РОМ5Ф1, Р12М3К8Ф2-МП.

У вольфрамомолибденових сталях вольфрам замінений молібденом відносно Мо: W (1:1, 4-1,5). Молібден надає сталі велику пластичність і щільність; кобальт підвищує теплостійкість; ванадій підвищує зносостійкість, оскільки карбіди ванадію найтвердіші структурні складові.

Зміцнення (підвищення стійкості) швидкорізальних сталей можна добитися особливою термічною обробкою (дисперсійне тверднення мартенсіту), ціануванням поверхні (0,02-0,07мм), низькотемпературною термомеханічною обробкою (НТМО), плазмовим напиленням.

## 16.3. Тверді режущі сплави

***Тверді різальні сплави отримують методом порошкової металургії шляхом спікання заздалегідь спресованого металевих порошків; вони мають виняткову червоностійкість і високу твердість. До таких сплавів відносяться:***

- - литі сплави - стеллиты, сормайти;
- - металокерамічні сплави - побідити.

Компонентами спекаемых твердих сплавів є:

- - кобальт (З) як зв'язка;
- - карбіди вольфраму (WC), титану (TiC), танталу (TaC), ніобію (NbC), ванадію (VC), хрому (CrC).

Функцією кобальту є регулювання в'язкості твердого сплаву. Карбід вольфраму добре змочується кобальтом, що впливає на схоплювання з твердою фазою.

Карбід вольфраму є основою сплавів, забезпечує міцність на вигин і міцність кромки в системі WC - З.

Карбід титану значно твердіший за карбід вольфраму, менш розчинимо і знижує в'язкість сплаву.

Карбід танталу заміщає карбід вольфраму, підвищує теплостійкість, трохи знижує в'язкість сплаву в порівнянні з карбідом титану.

Промисловістю випускаються три групи металокерамічних твердих сплавів :

- - WC + 3 - група ВК (BK6, BK8);
- - WC + TiC + 3 - група ТК (T15K6)
- - WC + TiC + TaC + 3 - група ТТК (TT7K15).

#### 16.4. Штампові сталі

Для обробки металів тиском застосовують наступні інструменти, що деформують метал: штампи, пуансони, ролики, валики.

Сталі, вживані для виготовлення інструменту такого роду, називають штамповими сталями.

Штампові сталі діляться на дві групи:

- - що деформують метал в холодному стані;
- - що деформують метал в гарячому стані.

Особлива група штампових сталей - сталі для прес-форм литва під тиском.

Сталі для деформації в холодному стані повинні мати високу твердість, міцність, опір пластичної деформації, зносостійкість, в'язкість, теплостійкість.

Сталі з невеликою прокаливаемою, що мають в'язку серцевину (У10, У11, У12, ХВ, 9С) застосовує після загартування і відпустки, ціанування або хромування, що підвищує їх зносостійкість.

Для великих штамів застосовують сталі з підвищеною прожарюваною (ХГС, ХГСВФ).

Сталі для штамів, що працюють при ударних навантаженнях, містять 0,4-0,6 % вуглецю (4ХС, 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С).

Сталі для деформації в гарячому стану працюють в складних умовах і повинні мати високу зносостійкість, міцність, опір пластичної деформації, підвищену теплостійкість, хорошу окислостійкість, високий опір термічної втоми.

Деформація сталей відбувається при ударі (кування, штампування), а при повільному додатку навантаження (витяг, пресування, витискування) штамп сильніше нагрівається.

Залежно від умов роботи штампи діляться на три групи:

- - кувальні;
- - для гарячого протягання, висадки і пресування;
- - для прес-форм литва під тиском.

Сталі кувальних штамів повинні мати високу ударну в'язкість, теплостійкість і хорошу прожарювану. Для таких штамів застосовують сталі

середньовуглецеві (0,5-0,6 %C), леговані Mn, Ni, Cr, V, W (5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГМ, 5ХНСВ, 5ХНТ).

Стали для гарячого протягання, висадки і пресування -высоковольфрамовые з 8-12 % W і 2 % Cr (4Х5В2ФС, 4Х2В5ФМ, 4Х4В4ФМ, 4ХВ2С, 5ХВГ). Ці сталі піддаються особливій термічній обробці.

Стали для прес-форм литва під тиском піддаються зносу, корозії, ерозии і розпалу (утворенню сітки тріщин на поверхні). До таких сталям відносяться 3Х2В8, 4ХВ2С (тепло - разгаростойкие).

## 16.5. Стали для вимірювальних інструментів

Стали для вимірювальних інструментів повинні тривалий час зберігати задані (точні) розміри. Зміна розмірів може виникати з трьох причин:

- - знос;
- - об'ємні зміни із-за структурних перетворень при тривалому вылеживании;
- - теплове розширення із-за коливань температур.

Висока зносостійкість сталей для вимірювального інструменту забезпечується високою твердістю сталі ( 58-64HRC) після термообробки.

Для стабілізації розмірів здійснюється спеціальна термічна обробка (обробка холодом і стабілізуюча відпустка при низьких температурах).

Для виготовлення вимірювального інструменту застосовують сталі марок : X, ХГ, 120ХГ, 50, 55, 38ХВФЮА.

## 17. СТАЛИ І СПЛАВИ З ОСОБЛИВИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

До цієї групи відносять сталі:

- - з особливими хімічними властивостями (нержавіючі, жаростійкі, жароміцні);
- - з особливими фізичними властивостями (магнітні, з малим коефіцієнтом розширення).

### 17.1. Нержавіючі (корозійностійкі) сталі

До цієї групи відносяться сталі, що мають стійкість проти електрохімічної корозії.

Антикорозійні властивості має сталь у тому випадку, якщо вона містить велику кількість хрому ( > 12 %) або хрому і нікелю.

Застосовують три типи хромистих нержавіючих сталей: із змістом хрому 13, 17 і 27 %, що містять вуглецю від 0,1 до 0,04 %.

Стали із змістом хрому 17-18 % і 25-28 % мають добавки Ti, Ni, які вводять для подрібнення зерна.

По виду рівноважної структури нержавіючі сталі діляться на п'ять класів:

- - ферритные;
- - мартенсито-ферритные;
- - мартенситні;
- - аустенітні;
- - аустенито-мартенситные.

Наприклад: сталь 12X13 - мартенсито-ферритного класу (клапани гідравлічних насосів); сталь 40X13 - мартенситного класу (хірургічний інструмент); сталь 12X17 - ферритного класу (устаткування азотнокислих заводів і харчової промисловості); 12X18H9T - аустенітного класу з великою корозійною стійкістю (хімічна, харчова, нафтова промисловість, авіабудування, транспортне машинобудування).

## 17.2. Жаростійкі і жароміцні сталі і сплави

До жаростійких (окалиностійким) відносять сталі і сплави, що мають стійкість проти хімічного руйнування поверхні в газових середовищах при температурі вище 550 °З і в слабонавантаженому стані.

Здатність сталі чинити опір окисленню при високій температурі називається жаростійкістю (окалиностойкістю).

На інтенсивність окислення впливає склад сталі і будова окисної (захисної) плівки, щільність якої підвищують такі хімічні елементи, як Cr, Si, Al.

Сталь 15X5 (5 % Cr) жаростійка до 700 оС, сталь 12X17 (17 % Cr) -до 900 оС, стала 15X28 (28 % Cr) - до 1100 - 1150 оС. Сплави на нікелевій основі з Cr і Al ( ХН70Ю з 26-29 % Cr і 2,8-3,5 % Al ) мають жаростійкість до 1200 °С.

***Жароміцність - здатність матеріалу зберігати необхідну тривалу міцність при високих температурах.***

***Повзучість - це деформація, що безперервно збільшується і завершується руйнуванням під дією постійного навантаження при тривалій дії температури.***

***Межа повзучості - ця напруга, що викликає деформацію заданої величини (зазвичай від 0,1 до 1 %) за певний проміжок часу (100, 300, 500, 1000 ч) при заданій температурі.***

Чинниками, сприяючими жаростійкості, є:

- - висока температура плавлення основного металу;
- - наявність в сплаві твердого розчину і мелкодисперсних зміцнюючих фаз;
- - пластична деформація, що викликає наклепання;
- - висока температура рекристалізації;
- - раціональне легування;
- - термічна і термомеханічна обробка;
- - введення в жароміцних сталі бору, церію, ніобію, цирконію (у десятих, сотих і навіть тисячних долях).

***По температурі експлуатації жароміцні сталі розділяють на групи:***

- - для роботи при температурі до 350 - 400 оС (звичайні конструкційні сталі - вуглецеві і малолеговані);
- - для роботи при температурі 400 - 550 оС (сталі перлітового класу 15ХМ, 12Х1МФ для деталей котлів, труб паропроводів і пароперегрівачів, навантажені порівняно мало, але що працюють до 100 000 ч);
- - для роботи при температурі 500 - 600 оС (сталі мартенситного класу: високохромисті 15Х11МФ для лопаток парових турбін; сильхроми 40Х9 С2 для клапанів моторів; 20Х12ВНМФ для дисків, роторів, валів);
- - для роботи при температурі 500 - 750 оС (сталі аустенітного класу: нестаріючі 09Х14Н16В для труб пароперегрівачів високого тиску; старіючі 40Х15Н7Г7Ф2МС для лопаток газових турбін);
- - для роботи при температурі 800 - 850- 1200 °З (жароміцні сплави на нікелевій основі ХН77ТЮР, ХН55ВМТФКЮ для лопаток турбін).

### 17.3. Кріогенні сталі і сплави

Під кріогенними сталями і сплавами мають на увазі металеві матеріали для машин і устаткування, призначені для отримання, перевезення і зберігання зріджених газів і, отже, експлуатованих до температур кипіння : кисню (- 183 оС), азоту (- 196 оС), неону (- 247 оС), водню (- 253 оС) і гелію (- 269 оС), а також зріджених вуглеводнів(- 80...- 180 °С).

**Сталі, що працюють при низьких кліматичних температурах (до -50оС), - це сталі північного виконання; від кімнатної температури до - 80 оС (4,2 До - температура кипіння рідкого гелію) - це кріогенні сталі аустенітного класу, одночасно нержавіючі.**

Сталь 12Х18Н20 - сталь із стабільним аустенітом, який не зазнає перетворень при низьких температурах. При усіх температурах  $\sigma_{0,2} / \sigma_B = 0,5$  (12Х18 Н10, 12Х13АГ19).

Хромонікелеві сталі мають:

- - високу ударну в'язкість KCV > 2000 кДж/м2 при кімнатній температурі і усіх температурах аж до - 253 °З (кипіння рідкого водню);
- - в'язкий злам.

Нікель знижує поріг холодноламкості, підвищує міцність сталі ( $\sigma_B$ ), збільшує ударну в'язкість (KCV) при - 196 °С.

Сталі 07Х21Г7АН5 з  $\sigma_{0,2} = 400$  МПа і 03Х13Н9Д2ТМ з  $\sigma_{0,2} = 800$  МПа є високоміцними кріогенними сталями.

### 17.4. Магнітні сталі і сплави

Основними характеристиками магнітних сталей і сплавів є магнітні властивості:

- - залишкова індукція  $B_r$  (вимірюється в гаусах (Гс));
- - коэрцетивная сила  $H_c$  (вимірюється в ерстедах (Э));
- - магнітна проникність (вимірюється в Гс/Э).

Магнітна проникність визначається по формулі:  $\mu = B / H_c$ . Якщо  $\mu > 1$ , то матеріал парамагнитен, якщо  $\mu < 1$  - матеріал діамагнитний.

До феромагнітних матеріалів відносяться Fe, Co, Ni, що мають  $\mu \gg 1$ .

**Магнітні сплави залежно від коэрцетивной сили ( $H_c$ ) і магнітної проникності ( $\mu$ ) діляться на:**

- - **магнитотвердые сплавы з великою  $H_c$  і малою  $\mu$ , що застосовуються для виготовлення постійних магнітів. Ці високовуглецеві, леговані сплави (ЕХ, ЕХЗ, ЕХ5К5, сплав ЮНДК24) мають високу твердість, крихкість і не обробляються різанням. Магніти з магнитотвердых сплавів виготовляють литвом або спіканням з порошків;**

- - **магнитомягкие сплавы з малою  $H_c$  і високою  $\mu$ .**

До них відносяться:

- - **електротехнічне залізо (Армко) марок Э, ЭА, ЭАА для виготовлення сердечників, полюсних наконечників електромагнітів, реле;**

- - **електротехнічна сталь, яка за змістом кремнію ділиться на низьколеговану (динамная сталь), середньолеговану (1,8 - 2,8 % Si), підвищено-леговану (2,8 - 3,8 % Si) і високолеговану (трансформаторна сталь);**

- - **сплави (пермалой) залізоникелів, що містять 45-80 % Ni, додатково леговані Cr, Si, Mo і що мають високу магнітну проникність. Пермалой 79НМ (79 % Ni, 4 % Mo) після спеціальної термічної обробки має магнітну проникність  $\mu_0 = 30\ 000$  і  $\mu_{max} = 220\ 000$  Гс/Э. Застосовують ці сплави в телефонах і радіо (слабкі електромагнітні поля).**

- - **ферити, що отримуються спіканням порошків феромагнітного окислу заліза  $Fe_2O_3$  і оксидів двовалентних металів MO ( $ZnO$ ,  $NiO$ ,  $MgO$ ). На відміну від інших магнитомягких матеріалів у феритів дуже високий електроопір ( $10^{12}$  Ом \* см), і працюють вони в області високих і надвисоких частот.**

## 17.5. Сплави з особливостями електроопору

Сплави з особливостями електроопору діляться на три групи:

- - провідникові;
- - з високим електроопором;
- - діелектрики.

До провідникових сплавів пред'являються наступне експлуатаційні і технологічні вимоги:



- - малий електричний опір;
- - висока міцність (для оберігання від провисання);
- - висока пластичність і здатність до холодної і гарячої деформації;
- - хороша корозійна стійкість;
- - легкість пайки і зварювання (при монтажі).

Цим вимогам задовольняють (у різній мірі) Ag, Si, Al, Fe.

Одним з найважливіших провідникових матеріалів є мідь (Cu), яка за властивостями близька до срібла ( щільність  $\rho = 8,9 \text{ г/см}^3$  при 20 °С, питомий електроопір -  $0,017 \text{ (Ом}\cdot\text{мм)}/\text{м}^2$ . Кристалічна решітка міді - ГЦК з параметром  $a = 0,36 \text{ Нм}$ . Питомий електроопір міді береться за еталон.

Марки міді : М1 (99,9 %),  $T_{пл} = 1083 \text{ }^\circ\text{C}$ ; М0 (99,95 %),  $T_{кип} = 2360 \text{ }^\circ\text{C}$ ; М00 (99,99 %). У технічній міді можуть бути присутніми шкідливі домішки: вісмут ( $\leq 0,002 \text{ \%}$ ), свинець ( $\leq 0,005 \text{ \%}$ ), сірка, кисень, які зменшують пластичність міді.

Чиста мідь має малу міцність, тому її легують кадмієм (Cd), що призводить до незначної втрати електропровідності при збереженні досить високої міцності. Провідність таких сплавів складає 80-90 % від провідності чистої міді. Сплав, зміцнений наклепанням, має провідність 98 % від провідності міді.

**Алюміній (Al) має електроопір більше, ніж у міді в 1,7 разу, але він легший. Для ліній передач застосовують сплав альдрей (0,4 % Mg, 0,6 % Si, 0,25 % Fe). До таких сплавів відносяться АД000, АД0.**

Велику міцність мають біметали системи Fe - Al. Біметалічний дріт (сталевий дріт, покритий міддю) використовують при передачі змінних струмів підвищеної частоти.

**Залізо (Fe) має електроопір в 6-7 разів нижче за електроопір міді. Сплави заліза (сталь з 0,1 - 0,15 % C) застосовуються для шин, рейок електричних залізниць і метро.**

## 17.6. Сплави з високим електроопором

Сплави з високим електроопором застосовують для виготовлення елементів опору реостатів і нагрівальних елементів. Структура таких сплавів формується на базі твердих розчинів і до них пред'являються наступні вимоги:

- - вони повинні мати високий питомий електроопір;
- - повинні мати малий температурний коефіцієнт електроопору;
- - повинні володіти високою окислювальною стійкістю (жароміцністю);
- - в них мають бути відсутніми структурні перетворення при нагрівах і охолодженнях.

Для елементів опору реостатів застосовуються сплави:

- - **манганін** - МНМц 3-12 (11,5-13 % Mn, 2,5-3,5 % Ni, решта Cu);
- - **константан** - МНМц 40-1,5 (1-2% Mn, 39-41 % Ni, решта Cu).

Ці сплави мають малий коефіцієнт електроопору : манганін в інтервалі температур від - 60 до +80 °З і константан в інтервалі температур від - 60 до + 350 °С.

Для нагрівальних елементів застосовують сплави:

- - *железоалюминиевые: фехраль - X13Ю4 ( $\leq 0,15$  % З, 13 % Си, 4 % Al), хромаль - OX23Ю5 ( $\leq 0,05$  % З, 23 % Cr, 5 % Al);*
- - *нікелеві: ферронихром - X15Н60 (25 % Fe), ніхром -X20Н80. Сплав для деталей нагрівальних приладів випускається у вигляді дроту або стрічки.*

#### 17.7. Сплави із заданим коефіцієнтом теплового розширення

До сплавів із заданим коефіцієнтом теплового розширення відносяться залізо-нікелеві сплави:

- - *сплав ІНВАР - 36Н ( $\leq 0,05$  % З і 35-37 % Ni). Він майже не розширюється при температурі від - 60 до +100 °З і застосовується в спеціальних приладах (альтиметрах, барографах) високої точності, що працюють при змінних навантаженнях і кліматичних змінах температури;*
- - *сплав КОВАР - 29НК (0,03 % З, 29 % Ni, 17-18 % З). Він має низький коефіцієнт теплового розширення в інтервалі температур від - 70 до + 420 оС і застосовується для деталей, що унаюються в скло при створенні вакуумнощільних спаїв.*
- - *сплав платиніт - Н42 (42-48 % Ni, решта Fe). Він має коефіцієнт теплового розширення, рівний коефіцієнту теплового розширення платини і скла.*

**Технічні сплави залізоникелів відносяться до сталям аустенітного класу.**

#### 17.8. Сплави із заданими пружними властивостями

У приладобудуванні для виготовлення пружних елементів (пружин) вимагається матеріал, що має високе значення пружних властивостей, достатню пластичність, прямолінійний код зміни модуля пружності в широкому інтервалі температур, а також немагнітною і корозійною стійкістю.

До таких сплавів відносяться:

- - *сплав 40КХНМ (0,07-0,12 % З, 15-17 % Ni, 19-21 % Cr, 6,4-7,4 % Мо, 39-41 % З). Це високоміцний, з високими пружними властивостями, немагнітний, корозійностійкий в агресивних середовищах сплав, який застосовується для заводних пружин годинникових механізмів, а також для витих циліндричних пружин, що працюють при температурах до 400 оС;*
- - *сплав 42НХТЮ ( < 0,05 % З, ~42 % Ni). Це високоміцний сплав з*

*низьким температурним коефіцієнтом модуля пружності при температурі до 100 оС, який застосовується для пружних чутливих елементів, що працюють до температури +100 оС.*

## 18. КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ І СПЛАВИ

### 18.1. Мідні сплави

Мідні сплави діляться на дві групи:

*- латунь. Це сплави міді з цинком. Цинк підвищує міцність і пластичність сплаву. Максимальну пластичність має сплав з 30 % Zn.*

Латунь (особливо однофазні) легко піддається деформації і тому з латуні виготовляють катаний напівфабрикат (листи, стрічки, профілі і так далі). Латунь із змістом цинку до 40 % пластичні, добре обробляються тиском в гарячому стані, корозіонностойки.

Окрім простої латуні - сплавів тільки міді і цинку, застосовують спеціальну латунь, в якій для надання тих або інших властивостей додатково вводять різні елементи, : свинець для поліпшення оброблюваності (автоматна латунь ЛС59, що містить 40 % Zn і 1-2 % Pb), олово для підвищення опору корозії в морській воді (морська латунь), алюміній і нікель для підвищення механічних властивостей.

Практично вживана латунь залежно від структури при кімнатній температурі розділяється на дві категорії:

*-  $\alpha$  - латунь, що містить мідь не менше 61 %. Марки цієї латуні Л62, Л68 та ін. Їх виготовляють у вигляді тонких листів, стрічок ін.  $\alpha$  - Латунь з вищим вмістом міді (Л80) має колір золота, і їх застосовують для ювелірних і декоративних виробів. Латунь, що містить високий відсоток міді, називає томпаком.*

*-  $\alpha + \beta$  - латунь, що містить 55 - 61 % міді. Найбільш поширена марка Л59, з якої виготовляють прутки, а з них за допомогою обробки різанням - різні деталі.*

Латунь із змістом цинку до 40 % - пластичні, добре обробляються тиском в гарячому стані, корозіонностойки.

*- бронзи. Це сплави міді з оловом, алюмінієм, кремнієм і іншими елементами, що мають хороші ливарні властивості (малою усадкою) і що використовуються як антифрикційні сплави.*

Маркіровка бронзи : БрОЦС8- 4-3, що містить 8 % Sn, 4 % Zn, 3 % Pb, решта - мідь.

Залежно від виду легуючого елементу розрізняють:

*- олов'яні бронзи, такі, що містять до 5 % Sn. Вони стійкі до дії атмосфери, морської води;*

*- алюмінієві бронзи, такі, що містять 9-11 % Al. Вони мають хороші*

*технологічні і механічні властивості. Їх застосовують для виготовлення зубчастих коліс, сальників, деталей турбін;*

*- - крем'янисті бронзи, такі, що містять 1-3 % Al. Вони мають хороші ливарні і антикорозійні властивості, високу пружність, витривалість;*

*- - берилієві бронзи, такі, що містять 2-2,5 % Be; 0,5 % Ni, решта мідь. Ці бронзи відносяться до розряду дорогих і використовуються в приладобудуванні для виготовлення пружин, мембран та ін.*

*- - мідно-нікелеві сплави, в яких основним легуючим елементом є нікель. Ці сплави можна розділити на конструкційних і електротехнічних.*

До першої групи відносяться корозійностійкі і високоміцні сплави типу мельхіор (МНЖМц30- 1-1), нейзильбер (МНЦ15- 20), куніаль (МНА13- 3). Як додаткові легуючі елементи в них додають Mn, Al, Zn, Fe, Co, Pb. Виготовляють з цих сплавів прикраси, столові і чайні прилади.

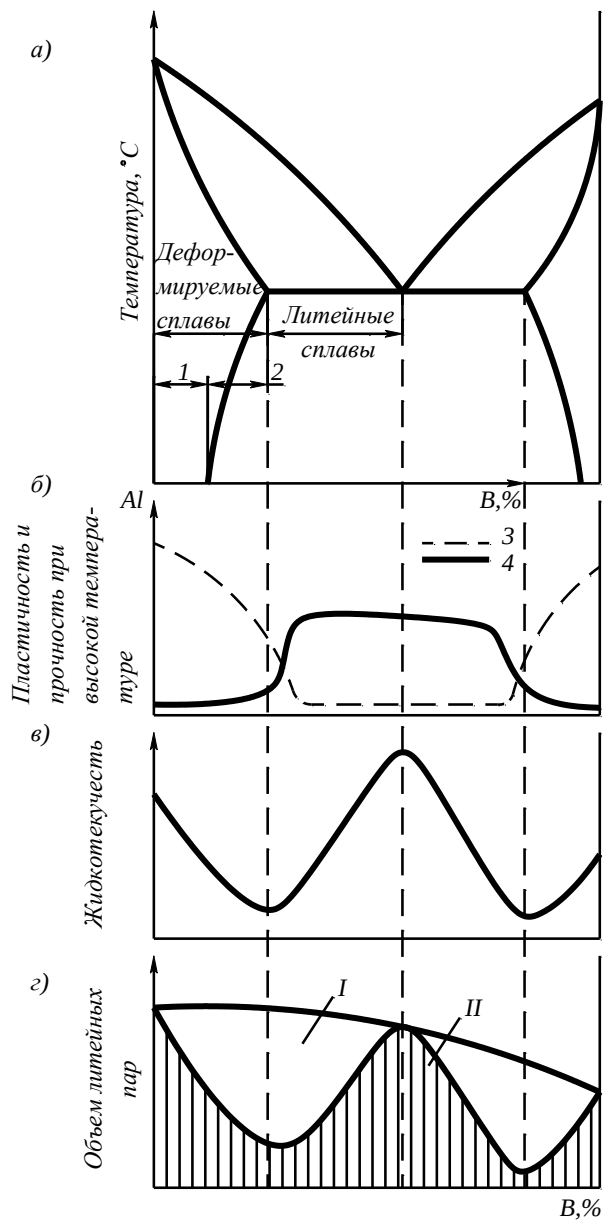
*- - сплав монель, що містить 66 % Ni + 28 % Cu + Mn + Fe. Він застосовується для виготовлення монет, хірургічного інструменту, оскільки має високу корозійну стійкість, міцність, хорошу оброблюваність.*

## 18.2. Алюмінієві сплави

Алюміній - один з найбільш легких конструкційних металів ( $\rho = 2,7 \text{ кг/м}^3$ ). Він має високу пластичність. У чистому вигляді алюміній має невелику міцність, кристалічну решітку ГЦК з параметром  $a = 0,404 \text{ Нм}$  і має високу корозійну стійкість із-за утворення на поверхні плівки, що містить хімічну сполуку  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Алюміній і його сплави використовують як провідникові матеріали (дроти в побуті). Електропровідність дорівнює  $34 \cdot 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}^{-1}$ , що складає 57 % від електропровідності міді. У електротехніці використовують алюміній марок А00 (99,7 %), А0 (99,6 %) і А1 (99,5 %).

За технологічною ознакою алюмінієві сплави діляться на тих, що деформуються (термічно не зміцнювані і зміцнювані) і ливарні (мал. 18.1).



Мал. 18.1. Класифікація алюмінієвих сплавів за діаграмою стану (а) і технологічні властивості сплавів з обмеженою розчинністю (б - г)

Як видно з малюнка 18.1. різні ділянки діаграми відповідають:

- 1 - сплавам, що не зміцнюються термічною обробкою;
- 2 - сплавам, що зміцнюються термічною обробкою;
- 3 - зміні пластичності;
- I - утворенню розсіяних пір;
- II - утворенню сконцентрованих пір.

До алюмінієвих сплавів, що деформуються, відносяться:

- сплави алюмінію з марганцем АМц (АМцЗ) і сплави алюмінію з магнієм

АМг (Амг6). Марганець і магній підвищують міцність алюмінію в три рази. Використовують ці сплави при виготовленні зварних місткостей для пального, азотною і інших кислот, трубопроводів, середньо-навантажених деталей конструкцій;

- - *дюралюмини - сплави алюмінію з міддю (2,2-4,8 %), магнієм (0,4-2,4 %), марганцем (0,4-0,8 %). Це термічно зміцнювані сплави. Позначення дюралюминов : Д1, Д6, Д16 (номери умовні).*

Для захисту дюралюминов від корозії використовують так звані плакирование (покриття тонким захисним шаром з чистого алюмінію);

- - *сплав В95 - найміцніший алюмінієвий сплав (2 % Сі, 2,5 % Мг, 0,5 % Мп; 6 % Zn, 0,15 % Cr, 0,5 % Si, 0,5 % Fe) і використовується він для виготовлення елементів літальних апаратів;*

- - *кувальні сплави (АК) для деталей, що виготовляються куванням і тиском. Позначення: АК1, АК5 (номер умовний).*

Ці сплави мають здатність зберігати механічні властивості при підвищених температурах.

До ливарних алюмінієвих сплавів відносяться сплави алюмінію з кремнієм (так звані силуміни), що містять 4-13 % Si.

Силуміни маркують: АЛ2, АЛ13 (порядковий номер). Застосовують такі сплави для виготовлення литих деталей приладів, корпусів турбонасосів, тонкостінних відливів складної форми.

Нині вводиться єдина цифрова маркіровка алюмінієвих сплавів. Перша цифра означає основу усіх сплавів (алюмінію присвоєна цифра 1); друга - головний легуючий елемент або група головних легуючих елементів; третя або третя з другою - відповідає старій маркіровці; четверта цифра - непарна (включаючи 0) вказує, що сплав деформується, парна - що сплав ливарний.

Наприклад, сплав Д1 означають 1110, Д16 - 1160, АК4 1140, Амг5 - 1550, АК6- 1360 і т. д. Деякі нові сплави мають тільки цифрову маркіровку - 1915, 1925 та ін.

### 18.3. Магнієві сплави

Як легуючі добавки в магнієвих сплавах використовують алюміній, цинк і марганець, що розчиняються в магнії. Розчинність падає із зменшенням температури, що дозволяє застосовувати для цих сплавів термічну обробку, що полягає в загартуванні з наступним старінням.

Магнієві сплави діляться на тих, що деформуються (МА) і ливарні (МЛ). Ці сплави дуже легкі і використовуються для виготовлення деталей в авіабудуванні.

### 18.4. Титан і його сплави.

Титан - це сріблясто-білий метал з малою щільністю (4,5 г/см<sup>3</sup>) і високою температурою плавлення (1672 оС), що має дві алотропічні модифікації:  $\alpha$  - низькотемпературну з щільноупакованими гексагональними ґратами і  $\beta$  - високотемпературну з кубічними об'ємноцентрованою ґратами. Температура переходу  $\alpha \leftrightarrow \beta$  дорівнює 882 оС.

Для поліпшення прочностних і пластичних властивостей титан легується різними елементами, зміст яких, в цілому, не перевищує 10 -15 %. Легуючих елементів зміщують температуру алотропічного перетворення титану. Алюміній, кисень, азот, вуглець стабілізують  $\alpha$  -фазу ; залізо, молібден, тантал, вольфрам, хром, марганець, нікель стабілізують  $\beta$  -фазу;

Титан має високу корозійну стійкість у великій кількості агресивних середовищ, перевершуючи в цьому відношенні нержавіючу сталь. При нагріві до 500 оС титан стає активним і поглинає з атмосфери газу (кисень, азот, водень), що сильно впливає на його механічні властивості.

Технічний титан маркірується залежно від змісту домішок : VT1 - 00 (сума домішок менше 0,398 %), VT1- 0 (сума домішок менше 0,55 %).

Титанові сплави класифікуються:

- за технологією виготовлення на тих, що деформуються, ливарні і виготовлені методами порошкової металургії. Для маркіровки титанових сплавів, що деформуються, використовується буквено-цифровий код:

- OT4- 0, OT4- 1, OT4 - сплави, в яких основними легуючими добавками є алюміній і марганець;

- VT5, VT5- 1, VT3- 1, VT6, VT9 і так далі - сплави, леговані алюмінієм або алюмінієм і вольфрамом.

Цифри, що стоять за буквами, є умовним порядковим номером.

Особливості маркіровки ливарних титанових сплавів - наявність букви Л у кінці позначення марки : VT5Л, VT3-1Л та ін.

Для виготовлення деталей методом порошкової металургії використовують сплави VT5, VT5- 1, OT4 та ін. Порошкові сплави маркіруються так само, як і що деформуються.

Ливарні сплави титану мають нижчі механічні властивості, ніж що відповідні деформуються;

- за способом зміцнення на термічно зміцнювані і не зміцнювані термічною обробкою;

- по структурі на однофазних  $\alpha$  - сплави (не містять  $\beta$  -стабілізаторов); псевдо - $\alpha$  - сплави (коефіцієнт  $\beta$  - стабілізації не більше 0,25); ( $\alpha + \beta$ )-сплави (коефіцієнт  $\beta$  -стабілізації від 0,3 до 0,9); псевдо-  $\beta$  -сплави (коефіцієнт  $\beta$  -стабілізації від 1,4 до 4,4) і  $\beta$  -сплави (коефіцієнт  $\beta$  -стабілізації  $> 2,5$ ).

Перевагою титанових сплавів, в порівнянні з технічним титаном, являються наступні властивості:

- поєднання високої міцності ( $\sigma_y = 800-1500$  МПа) з хорошою пластичністю ( $\delta = 18-25$  %);

- - мала щільність і висока питома міцність ( $\sigma/\gamma$  до 40);
- - хороша жароміцність (до 600-700 оС);
- - висока корозійна стійкість;
- - низька пластичність при кімнатній температурі;
- - висока чутливість до поверхневих дефектів.

Усі титанові сплави піддаються термообробці, ХТО і ТМО і для підвищення їх зносостійкості можливе застосування цементації і азотування.

Основними недоліками титану і його сплавів є:

- - висока здатність при підвищених температурах до взаємодії з усіма газами, а також з матеріалами плавильних печей;
- - невисокі антифрикційні властивості;
- - погана оброблюваність різанням;
- - невисока жорсткість конструкції із-за низького значення модуля пружності.

Титанові сплави використовують в авіа- і ракетобудуванні (корпуси двигунів, балони для газів, сопла, диски, деталі кріплення, фюзеляжу), в хімічній промисловості (компресори, клапани, вентилі), у виготовленні кріогенної техніки.

### 18.5. Антифрикційні сплави

Антифрикційні сплави застосовують для виготовлення підшипників кочення і ковзання. До таких сплавів пред'являються наступні вимоги:

- - низький коефіцієнт тертя;
- - хороша прирабатываемость;
- - мікрокапілярність для мастила;
- - хороша теплопровідність.

До антифрикційних сплавів відносяться:

- - *свинцеві бронзи (до 25-30 % РЬ) (БрС30 І БРОС5- 25;*
- - *антифрикційні чавуни (чавун з перлітовою основою і підвищеною кількістю графіту);*
- - *баббиты - сплави олова з сурмою і міддю (Б88, Б89), а також сплави свинцю з кальцієм і натрієм (Б16, БКА).*