

**КРАСНОАРМІЙСЬКИЙ ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ  
ДЕРЖАВНОГО ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Кафедра ІНЖЕНЕРНОЇ МЕХАНІКИ**

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАВЧАЛЬНОГО НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ  
"ГІРНИЦТВО"**

Затверджено на засіданні  
кафедри Інженерної механіки  
протокол №8 від 16.03.2011р.

Затверджено на навчально-  
видавничій Раді Дон НТУ  
протокол № від . .2011р.

**2011**

УДК 669.01(075)

Матеріалознавство: Конспект лекцій. Для студентів навчального напрямку "Гірництво" / Горячева Т.В., Бабенко М.О. – Красноармійськ: КП Дон НТУ, 2011. – 91 с.

Розглянуті фізичні основи будови матеріалів, фази та фазові перетворення, що відбуваються в матеріалах. Дана характеристика властивостей матеріалів, приводяться методи визначення механічних властивостей матеріалів при різних видах навантаження та методи керування ними: процеси кристалізації, пластичної деформації, термічної обробки. Приведені необхідні відомості про конструкційні металеві та неметалеві матеріали, їх характеристика та надаються приклади використання в промисловості.

Конспект лекцій призначений для студентів навчального напрямку "Гірництво" всіх форм навчання.

Укладачі: Т.В. Горячева, старший викладач кафедри Інженерної механіки  
Красноармійського індустріального інституту  
Донецького національного технічного університету  
М.О. Бабенко, асистент кафедри Інженерної механіки  
Красноармійського індустріального інституту  
Донецького національного технічного університету

Рецензент: В.Г. Кондратенко, к.т.н., доцент кафедри Електромеханіки  
та автоматики Красноармійського індустріального інституту  
Донецького національного технічного університету

Відповідальний за випуск: зав. кафедрою ІМ, доцент С.О.Вірич

@ Горячева Т.В.  
Красноармійськ, КП ДонНТУ, 2011

## Зміст лекційного курсу „Матеріалознавство”

### Розділ I. Основні поняття про будову структуру та властивості матеріалів

1.	Основні поняття, значення, мета та задачі курсу.....	6
2.	Загальні вимоги, що ставляться до матеріалів в залежності від їх експлуатації.....	7
3.	Загальна класифікація матеріалів.....	8
4.	Загальна будова матеріалів.....	9
4.1.	Типи самоврядування часток в матеріалі.....	9
4.2.	Фази та фазові перетворення.....	9
4.2.1	Характеристика видів фазових перетворень.....	10
4.2.2	Формування будови. Кристалізація.....	11
5.	Будова металевих матеріалів.....	13
5.1.	Атомно – кристалічна будова металів.....	13
5.2.	Анізотропія властивостей кристалів.....	14
5.3.	Сплави та їх характеристика.....	14
5.4.	Фазові та структурні перетворення в сплавах.....	16
5.5.	Діаграми стану сплавів.....	17
6.	Склад, будова і структура полімерних речовин.....	19
6.1.	Класифікація однорідних полімерних речовин.....	19
6.2.	Будова полімерних речовин.....	19
6.3.	Види будови полімерів та їх характеристика.....	21
7.	Загальні властивості матеріалів.....	22
7.1.	Хімічні властивості.....	23
7.2.	Фізичні властивості.....	23
7.2.1.	Фізичні властивості, що характеризують зміну агрегатного стану матеріалу.....	23
7.2.2.	Термічні властивості.....	23
7.2.3.	Характеристики маси.....	24
7.2.4.	Фізичні властивості, що характеризують здатність матеріалів взаємодіяти з потоками мас і випромінювань.....	24
7.2.5.	Електричні властивості.....	25
7.3.	Механічні властивості.....	25
7.3.	Властивості матеріалів в фізико-хімічних процесах.....	27
7.4.	Технологічні властивості.....	29
7.5.	Споживчі властивості.....	29
8.	Способи керування властивостями матеріалів.....	30
8.1.	Керування структурою та властивостями шляхом направленої кристалізації.....	30
8.2.	Легування сплавів.....	31
8.3.	Механічна обробка.....	32
8.4.	Деформація полікристалів. Види та характеристика.....	32
8.5.	Деформація полімерів.....	34
8.6.	Деформація аморфних матеріалів.....	34
8.7.	Відновлення властивостей та структури деформованих сплавів.....	35
9.	Термічна обробка.....	36
9.1.	Загальна характеристика термічної обробки.....	36

9.2.	Відпалювання. Види та характеристика.....	37
9.3.	Гартування. Загальна характеристика.....	38
9.3.1.	Види та способи гартування.....	38
9.4.	Відпущення.....	39
9.5.	Термомеханічна обробка.....	40
9.6.	Хіміко-термічна обробка.....	40

## Розділ II. Конструкційні матеріали

10.	Загальна характеристика та класифікація металевих матеріалів.....	42
11.	Залізовуглецеві сплави.....	42
11.1.	Компоненти системи сплавів Fe – Fe <sub>3</sub> C та їх характеристика.....	42
11.2.	Характеристика фазового складу сплавів по діаграмі Fe – Fe <sub>3</sub> C.....	43
11.3.	Структура сталей.....	45
11.4.	Структура чавунів.....	46
12.	Сталі.....	47
12.1.	Вплив вуглецю та постійних домішок на властивості сталі та чавуну.....	47
12.2.	Вплив легуючих елементів на властивості сталей і сплавів.....	48
12.3.	Загальна класифікація сталей.....	49
12.4.	Характеристика сталей за призначенням.....	50
12.4.1.	Конструкційні вуглецеві сталі.....	50
12.4.2.	Інструментальні вуглецеві сталі.....	51
12.4.3.	Конструкційні леговані сталі.....	51
12.4.5.	Інструментальні леговані сталі.....	53
12.4.6.	Сталі спеціального призначення.....	54
12.5.	Маркування сталей.....	55
13.	Чавуни.....	57
13.1.	Класифікація чавунів.....	57
13.2.	Характеристика чавунів.....	58
13.3.	Маркування чавунів.....	59
14.	Термічна обробка залізовуглецевих сплавів.....	60
14.1.	Відпалювання.....	60
14.2.	Гартування та відпущення сталі.....	62
15.	Кольорові метали та сплави на їх основі.....	65
15.1.	Мідь та сплави на її основі.....	65
15.2.	Латунь.....	66
15.3.	Бронза.....	66
15.4.	Мідно-нікелеві сплави.....	68
15.5.	Маркування мідних сплавів.....	68
16.1.	Алюміній та сплави на його основі.....	69
16.2.	Характеристика алюмінієвих сплавів.....	70
16.3.	Маркування алюмінієвих сплавів.....	71
17.	Титан та його сплави.....	71
18.	Магній та його сплави.....	72
19.	Антифрикційні сплави.....	73
20.	Порошкові та композиційні матеріали.....	74
21.	Металеве скло.....	75

22.	Полімери та пластмаси.....	76
22.1.	Загальні відомості.....	76
22.2.	Склад полімерних матеріалів.....	79
22.3.	Характеристики деяких пластмас і виробів на їх основі.....	80
22.3.1.	Пластмаси з листовим наповнювачем.....	80
22.3.2.	Пластмаси з волокнистим наповнювачем.....	83
22.3.3.	Пластмаси без наповнювача.....	84
22.3.4.	Пластмаси з газоповітряним наповнювачем.....	85
23.	Гумовотехнічні матеріали і вироби з них.....	86
23.1.	Загальні відомості.....	86
23.2.	Склад гумових матеріалів.....	87
23.3.	Класифікація гумових матеріалів за призначенням і області застосування.....	88
	Список використаної літератури.....	90

# РОЗДІЛ I. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО БУДОВУ, СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ

## Лекція 1

### 1. Основні поняття, значення, мета та задачі курсу.

*Матеріалознавство* відноситься до числа основоположних дисциплін для інженерних спеціальностей. Це пов'язано з тим, що отримання, розробка нових матеріалів, способи їх обробки є основою сучасного виробництва і багато в чому визначають рівнем свого розвитку науково-технічний і економічний потенціал країни. Проектування раціональних, конкурентноздатних виробів, організація їх виробництва неможливі без достатнього рівня знань в області матеріалознавства. Матеріалознавство є основою для вивчення багатьох спеціальних дисциплін.

Різноманітність властивостей матеріалів є головним чинником, що зумовлює їх широке застосування в техніці. Матеріали мають відмінні один від одного властивості, причому кожні залежить від особливостей внутрішньої будови матеріалу. У зв'язку з цим матеріалознавство як наука займається вивченням будови матеріалу в тісному зв'язку з їх властивостями.

Від властивостей матеріалів залежить конструкційна міцність виробів під впливом експлуатаційних навантажень. Вчення про міцність і руйнування є однією з найважливіших складових частин матеріалознавства. Воно є теоретичною основою для вибору відповідних конструкційних матеріалів для деталей різного цільового призначення і пошуку раціональних способів формування в них необхідної міцності для забезпечення надійності і довговічності виробів.

Основними матеріалами, що використовуються в машинобудуванні, є і ще довго залишатимуться метали і їх сплави. Тому основною частиною матеріалознавства є металознавство, в розвитку якого, ведучу роль зіграли російські учені: Аносов П.П., Чернов Д.К., Курнаков Н.С., Гуляев А.П. і інші.

*Матеріалознавство* – це наука, що вивчає в загальному зв'язку склад, будову, структуру і властивості матеріалів, а також закономірності їх зміни під тепловими, хімічними, механічними та іншими впливами.

В інженерній практиці для розв'язання багатьох технічних задач необхідно засвоїти основні поняття матеріалознавства.

*Матеріал* – речовина, призначена для виготовлення будь чого.

У виробничих процесах матеріали розглядають в залежності від їх призначення як *основні* та *допоміжні*.

*Основні* матеріали безпосередньо витрачаються на виготовлення продукції і складають її головний речовий склад.

*Допоміжні* матеріали застосовуються для виробництва продукції, але які не входять до її складу.

*Склад матеріалу* – кількісна характеристика вмісту в ньому компонентів. Склад розрізняють за природою компонентів. Так розглядають хімічний, мінеральний склад.

*Хімічний склад* – кількісна характеристика вмісту в матеріалі хімічних елементів чи їх сполук.

*Мінеральний склад* – кількісна характеристика вмісту мінералів в матеріалі чи корисних копалинах.

*Будова матеріалу* – сукупність стійких зв'язків речовини, що забезпечують його цілісність і тотожність самому собі, тобто забезпечення його властивостей.

*Структура матеріалу* – форма, розміри та характер взаємного розташування утворюючих матеріал компонентів.

*Властивості матеріалу* – признак, який складає відмітну особливість даного матеріалу.

Метою вивчення "Матеріалознавства" є встановлення зв'язків складу, будови і структури матеріалів з їх властивостями і на цій основі формування і забезпечення необхідних властивостей. Основна практична задача матеріалознавства в галузі гірничої справи – вибір матеріалу, що має заданий комплекс властивостей, та його раціональне використання для підвищення ефективності технологічних процесів гірничого виробництва.

## **2. Загальні вимоги, що ставляться до матеріалів**

Можливість використання матеріалу визначається його складом, будовою, структурою, і як наслідок властивостями. Вимоги, що ставляться до матеріалів в промисловості в залежності від умов їх використання, експлуатації чи споживання, визначаються поняттям якості матеріалу.

*Якість матеріалу* – це сукупність його властивостей забезпечувати його придатність задовольняти певні потреби у відповідності з його призначенням.

Якість матеріалу залежить від комплексу хімічних, фізичних і біологічних властивостей, а також від відповідності їх функціональним, гігієнічним, ергономічним, естетичним і економічним вимогам. Від якості залежить призначення та термін придатності, експлуатації матеріалу.

Якість матеріалу визначається системою показників, які встановлюють шляхом дослідження та випробувань.

Якість промислової продукції залежить від багатьох факторів: вихідної сировини і матеріалів, конструкції виробів, технологічної обробки, рівня стандартизації, а також пакування, транспортування та збереження. Безпосередній вплив на формування якості продукції мають перші три фактори.

*Вихідна сировина.* Сировина – це різні речовини, що використовують для виробництва продукції. Ці речовини розрізняють по хімічному складу та походженню. Знання природи, будови та властивостей вихідної сировини дозволяє судити про властивості і особливості готових виробів.

*Конструкція виробів* є важливим фактором при визначенні споживчої вартості готових виробів. Вона включає форму, розмір, способи з'єднання та взаємодії деталей та вузлів виробу, співвідношення між окремими елементами та інше.

*Технологічна обробка* – це певні дії з сировиною чи матеріалами, які формують властивість та якість виробу. При цьому вихідна сировина піддається механічній, термічній, хімічній чи комплексній обробці.

### **3. Загальна класифікація матеріалів.**

Під класифікацією розуміють розподіл матеріалів, виробів, властивостей чи явищ на окремі види, групи, підгрупи чи інші категорії. Признаками класифікації матеріалів можуть бути походження, форма, розмір, колір, властивості, призначення, спосіб отримання чи інше. Сучасне поширення отримала *галузева* класифікація матеріалів, тому що в її основу покладено найменування галузі народного господарства, що безпосередньо пов'язана з виробництвом даного матеріалу. В Державній системі стандартизації прийнята така класифікація матеріалів (витримка з стандарту):

- |  |  |
|--|--|
| 1. Корисні копалини;                           | 7. Хімічні продукти, гумові та азбестові вироби; |
| 2. Нафтові продукти;                           | 8. Хімічні волокна, полімери, пластмаси;         |
| 3. Метали;                                     | 9. Текстильні, шкіряні матеріали                 |
| 4. Електротехнічні матеріали;                  | 10. Лісоматеріали, целюлоза, картон, папір;      |
| 5. Будівельні матеріали;                       |  |
| 6. Силікатно-керамічні та вуглецеві матеріали; |  |

Однак дана класифікація не дає можливості встановити взаємозв'язок складу, будови, структури та властивостей матеріалів і часто ускладнює визначення належності матеріалу до той чи іншої групи.

Найбільші можливості для розв'язання задач матеріалознавства дає класифікація матеріалів за їх агрегатним станом в нормальних умовах, їх походженням, природою та будовою:

#### **Системна класифікація матеріалів**

<b>за агрегатним станом:</b>	тверді	рідкі	газові	плазма
<b>за походженням:</b>	природні	штучні		
	органічні	неорганічні		
<b>по хімічному складу:</b>	одно-	багатокомпонентні сплави		
	одно-	багатокомпонентні розчини		
<b>по виду утворених часток:</b>	атомні	іонні	молекулярні	
<b>по атомній (молекулярній) будові:</b>	кристалічні аморфні полімерні			
<b>по структурі:</b>	однофазні	багатофазні	композиційні	
<b>за фізичною природою:</b>	провідники	напівпровідники	діелектрики	
	нормальні розчини	рідкі кристали		



## Лекція 2

### 4. Загальна будова матеріалів.

#### 4.1. Типи самоврядування часток в матеріалі.

Будова матеріалів визначається характером сил взаємодії між його структурними частинками (атомами, молекулами або іонами). Ці сили визначають об'єм фізичного тіла. Зміна характеру і величини цих сил приводить до зміни агрегатного стану речовини.

Взаємодія структурних частинок речовини, що обумовлює його внутрішню будову, називається зв'язком. В матеріалах можуть реалізовуватися наступні види *хімічного* зв'язку:

- *ковалентний* – здійснюється парою електронів, що знаходяться в сумісному володінні двох атомів, утворюючих зв'язок ( $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$ );
- *іонний* зв'язок – заснований на електростатичній взаємодії між протилежно зарядженими іонами. Іонний зв'язок характерний для з'єднань металів з типовими металоїдами ( $NaCl$ ,  $Al_2O_3$ );
- *металевий* зв'язок – викликається наявністю вільно рухомих електронів, що здійснюють колективну взаємодію атомів і утримуючих їх на певних відстанях один від одного. Характерний як для чистих металів, так і для металевих сплавів;
- *водневий* зв'язок – зв'язок атомів компонентів А і В за участю атома водню;
- *молекулярний* зв'язок характеризується взаємодією нейтральних молекул (або атомів) на основі слабких електростатичних сил. Молекулярний зв'язок характерний для атомів з електронними оболонками, що відносно легко деформуються, і для тих, що об'єдналися в молекули атомів, здібних до деформації зовнішніх з'єднаних оболонок (більшість полімерів, органічних речовин).

Спільним для будови всіх матеріалів є прагнення до самоорганізації (впорядкованого розташування) всіх часток, що є прямим наслідком основного закону природи: *стійким є такий стан системи, при котрому її енергія буде мінімальна*. Утворення кристалів чи молекул з ізольованих атомів чи багаточисленних груп пов'язане зі зниженням енергії системи, і як наслідок, збільшенням її стійкості.

Самоорганізація речовин може бути представлена як впорядкування його структурних часток. Впорядкування на відстанях, порівняльних з міжатомними, називається *ближнім* порядком, а впорядкування на необмежено великих відстанях – *дальнім* порядком. Наявність виду впорядкування обумовлено силами міжатомної взаємодії.

#### 4.2. Фази та фазові перетворення.

Характеристика матеріалів за їх агрегатним станом не дозволяє враховувати алотропію чи поліморфізм матеріалів.

*Алотропія* – це існування хімічних елементів у вигляді двох чи більш простих речовин (наприклад: кисень  $O_2$  – озон  $O_3$  ).

*Поліморфізм* – здатність одного й того ж матеріалу мати різну кристалічну будову. Кожен зі станів називається *поліморфна модифікація*. Позначають поліморфні модифікації –  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ... із збільшенням температури. Різниця в будові поліморфних модифікацій матеріалу зумовлює різницю їх властивостей. Поліморфізм має велика кількість матеріалів: кварц, вуглець, залізо, титан тощо. Поліморфна модифікація стійка в області визначених температур і тиску, поза якими вона стає нестійкою і потерпає перетворення, що називається поліморфним.

Для однозначної характеристики речовин з врахуванням його можливих поліморфних модифікацій необхідно описувати особливості його атомної (молекулярної) будови. Таку можливість дає використання поняття – *фаза*.

*Фаза* – термодинамічний рівноважний стан матеріалу (речовини), який характеризується агрегатним станом, атомним складом і будовою, і відділений границями від інших станів (фаз) того ж матеріалу.

Кожен матеріал складається з однієї чи більше фаз (твердих, рідких чи газових) і однозначно характеризується фазовим складом, що утворюється внаслідок зміни енергії системи за різних обставин. Зміни в фазовому складі матеріалу викликаються фазовими перетвореннями.

*Фазове перетворення* (перехід) – перетворення матеріалу з однієї фази в іншу при зміні зовнішніх умов температури, тиску, магнітних чи електричних полів та інш. Причому значення фізичної величини при якому відбувається фазовий перехід, називають точкою фазового перетворення (переходу).

Фазові перетворення розглядаються по характеру їх протікання як перетворення *першого* і *другого* роду.

*Фазові перетворення першого роду* – при яких деякі фізичні величини (щільність) чи термодинамічні характеристики змінюються стрибком, і при цьому виділяється чи поглинається теплота фазового перетворення. До цього виду перетворень відносять випарювання – конденсацію, плавлення – затвердіння, сублимація – конденсація в тверду фазу, та деякі структурні переходи в твердих тілах.

*Фазові перетворення другого роду* – при яких щільність, ентропія та термодинамічні потенціали не змінюються стрибкоподібно, а теплоємність розширення фаз змінюються стрибком. До фазових перетворень другого роду відносять: перетворення парамагнетик – феромагнетик, перехід в надпровідниковий стан, поляризація речовини, при цьому теплота не виділяється.

#### **4.2.1. Характеристика фазових перетворень.**

Дамо характеристику основних фазових перетворень.

*Рідкий ↔ газовий стан:*

Фазове перетворення рідкого стану в газовий (*пароутворення*) і зворотне (*конденсація*) відбуваються при певній температурі і сильно залежать від ти-

ску при  $t_{кин}$ . Рідина може переходити в газовий стан при температурі нижчій за кипіння. Такий процес називають випарювання.

*Твердий ↔ рідкий стан:*

Процес переходу з твердого (кристалічного) до рідкого стану називають *плавленням*, а зворотній процес – *кристалізацією*. Тверді речовини утворюються з рідких чи газових по мірі зниження температури шляхом зближення атомів (молекул) і їх групування в кристал (центр кристалізації). Швидкість охолодження, кількість центрів кристалізації та швидкість їх росту визначають будову твердої речовини: кристалічне, аморфне чи скловидне.

Враховуючи можливість фазових перетворень кристалічних речовин в твердому стані розрізняють первинну і вторинну кристалізацію.

Перехід з рідкого стану до твердого із затвердінням є *первинна кристалізація*. Вона відбувається при температурі  $t_{пл}$  що залежить від тиску. Процес плавлення – затвердіння супроводжується, відповідно, поглинанням чи виділенням теплоти.

Перетворення в будові матеріалу, що відбувається в його твердому стані називають *вторинною кристалізацією або перекристалізацією*. Така кристалізація можлива у поліморфних матеріалів, при зміні фазового складу сплавів внаслідок зміни розчинності компонентів, при термічній обробці сплавів.

*Фазові перетворення аморфних речовин:*

Характеризуються відсутністю точки плавлення. При збільшенні температури матеріали розм'якшуються, переходять до високо еластичного, а далі не до рідкого, а до в'язкотекучого стану, який характеризує плавлення матеріалу. Наприклад скло при певному температурному інтервалі плавиться, а при подальшому нагріванні стає крихким.

#### 4.2.2. Формування будови металів. Кристалізація.

*Первинна кристалізація* починається при досягненні деякої граничної температури, яка характеризує переохолодження рідини чи насичення пару, тоді практично миттєво виникає значна кількість центрів кристалізації. З часом ці центри зростають, приєднуючи до себе інші атоми чи молекули рідини, утворюючи полікристали чи зерна. (рис. 1).

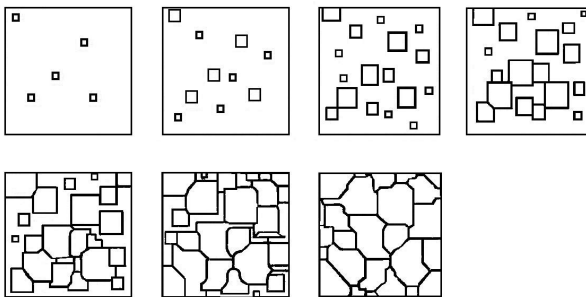


Рисунок 1. – Схема формування структури при кристалізації.

При подальшому зниженні температури, кількість утворених центрів кристалізації зменшується, швидкість зростання полікристалів знижується, тому при кристалізації можуть утворюватися різні форми і структури кристалів (багатогранні, пластинчаті, голчасті, дендритні і т.п.). Швидкість процесу первинної кристалізації і характер формування структури матеріалу значно залежить від швидкості охолодження і кількості центрів кристалізації, що виникають в одиницю часу в одиниці об'єму. Тому чим більше швидкість охолодження, утворення центрів кристалізації та менше швидкість їх зростання тим менше розміри зерна, тобто більш дрібнозерниста структура.

Джерелом утворення центрів кристалізації можуть бути різні тверді частки, що є в рідині (домішки). Вони, практично не змінюючи хімічного складу, можуть служити центрами кристалізації й призводити до утворення дрібного зерна. В металургійних процесах штучно вводять в розплав тверді домішки, щоб отримати максимальне число зародків зерен і дрібнозернисту структуру, що забезпечує гарні фізико-механічні характеристики матеріалу.

В твердому стані металеві матеріали являють собою полікристалічну речовину, що складається з значного числа по-різному орієнтованих по відношенню один до одного кристалітів (зерен), розміри, форма і взаємне розташування яких формується при охолодженні в процесі кристалізації.

В процесі кристалізації неминуче виникають різні дефекти будови. Ці дефекти впливають на форму та розташування зерен в матеріалі призводячи до анізотропії будови твердих матеріалів.

*Вторинна кристалізація* відбувається шляхом дифузії атомів, поглинання зерен структури новоутвореними будовами, зсувами часток кристалів внаслідок різких термодинамічних процесів тощо. Ріст зародків нової фази відбувається неупорядкованим переходом атомів шляхом дифузії через границю розділу фаз до новоутвореної фази. Якщо між вихідною і новою фазами існує структурна відповідність (когерентність), то нова фаза розміщується між вихідною у вигляді внутрішніх утворень (пластинок, голок). Якщо нова фаза по складу чи будові суттєво відрізняється від вихідної, то ця фаза є нестійкою і може бути проміжною (метастабільною), тобто може змінюватись при певних умовах і переходити до стабільного стану.

Вторинна кристалізація може відбуватися не тільки за рахунок дифузії атомів, але й шляхом впорядкованого переміщення (зсуву) атомів, молекул чи окремих частин кристалів при різкому переохолодженні високотемпературних модифікацій на відстані малі в порівнянні з міжатомними. Таке перетворення називають мартенситним, а утворену структуру – *мартенсит*. Мартенситне перетворення в сплавах відбувається без зміни концентрації фаз. З цим перетворення пов'язані такі явища як гартування, "ефект пам'яті форми" тощо.

Швидкість процесу вторинної кристалізації і характер утворення структури матеріалу при різних умовах підпорядковується тим же закономірностям, що й при первинній кристалізації.

## Лекція 3

### 5. Будова металевих матеріалів.

#### 5.1. Атомно – кристалічна будова металів.

Кожному металу в твердому стані відповідає певна кристалічна будова, яка описується геометричними представленнями, а саме кристалічними решітками або ґратками.

*Кристалічні ґратки* – просторове періодичне розташування атомів (іонів, молекул) в кристалічній речовині.

Точки кристалічних ґраток, в яких розміщуються атоми називаються *вузлами*.

Напрямки, що проходять крізь два вузли ґраток називають *кристалографічними напрямками*, а площини, що проходять через три вузли – *кристалографічними (атомними) площинами*.

В основі кристалічних ґраток лежить *елементарна комірка* – це побудований на вузлах мінімальний об'єм кристалічної речовини, що відбиває всі його особливості і його повторення дозволяє побудувати всі ґратки.

Для однозначної характеристики елементарної комірки слід знати її параметри:

- *період* – відстань між сусідніми атомами в одній площині;
- *координаційне число* – кількість атомів ґраток, які знаходяться на найменшій рівній відстані відносно одного вибраного;
- *щільність упаковки* – відношення об'єму зайнятого атомами до об'єму всіх ґраток;

Для більшості металів характерні три типи кристалічних ґраток (рис.2):

Об'ємно – центровані кубічні ґратки (ОЦК). Ці ґратки мають метали: Pb, K, Na, Li, W, V, Cr, Nb, Ti<sub>β</sub>, Fe<sub>α</sub>.

Гранецентровані кубічні ґратки (ГЦК). Характерні металам: Ca<sub>α</sub>, Ni, Ag, Au, Cu, Co<sub>α</sub>, Fe<sub>γ</sub>.

Гексагональні ґратки (ГГУ). Характерні металам: Mg, Ti<sub>α</sub>, Cd, Re, Os, Zn, Co<sub>β</sub>, Be.

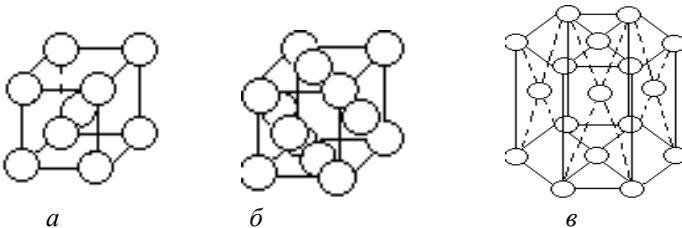


Рисунок 2. – Типи кристалічних ґраток металів: а – ОЦК, б – ГЦК, в – ГГУ.

Кристалічні ґратки в металі внаслідок фазових перетворень об'єднуються і утворюють *полікристал* або *кристаліт*. Сукупність полікристалів це *зерно*

металу. Саме з зерен і складається на макроскопічному рівні структура металу.

Однак ідеальної будови в природі не існує. В наслідок фазових перетворень відбувається відхилення реальної будови матеріалу від ідеальної. Тому в металах можливі дефекти кристалічних ґраток. За геометричними ознаками їх розрізняють на точкові, лінійні, поверхневі, та об'ємні. За розташуванням та природою існують такі дефекти як вакансії, дислокації, міжвузловий атом, домішкові атоми. Властивості металів визначаються параметрами кристалічних ґраток та видом і кількістю дефектів.

### **5.2. Анізотропія властивостей кристалів.**

У різних кристалографічних площинах, проведених через центри атомів у кристалічних решітках, число атомів і відстані між ними неоднакові. У зв'язку з цим властивості монокристалів у різних напрямках неоднакові. Таке явище називається *анізотропією*.

Анізотропія виявляється в неоднаковості опорів монокристала електричного струму і швидкості розчинення в хімічних реактивах, у відмінності механічних властивостей. Наприклад, міцність зразків, вирізаних у різних напрямках з монокристала міді, відрізняється приблизно в 3 рази, а пластичність - більше ніж у 5 разів.

Реальні метали є тілами полікристалічними, тобто складаються з великої кількості по-різному орієнтованих у просторі кристалітів (зерен). Тому властивості таких металів у будь-якому напрямі усереднені, однакові. Проте в тих випадках, коли обробка металів сприяє переважному орієнтуванню окремих кристалів (наприклад, при прокатуванні, куванні), полікристалічні метали стають також анізотропними. Наприклад, міцність зразків, вирізаних з листа вздовж і впоперек напрямку прокатування, різні; температурний коефіцієнт лінійного розширення листа з цинку залежно від напрямку прокатування може відрізнитися в 1,5...2 рази.

### **5.3. Будова сплавів та їх характеристика.**

*Сплави* – макроскопічно однорідні системи, що отримані поєднанням з двох чи більше металів чи неметалів і які мають виражені металеві властивості.

Хімічні елементи, утворюючі сплав називають компонентами.

*Класифікацію сплавів* проводять за наступними ознаками:

- По числу компонентів – бінарні (подвійні), потрійні, багатокомпонентні;
- По виду основного компоненту – залізни, мідні, титанові тощо;
- По числу фаз – однофазні та багатофазні;
- По способу отримання – плавлені (одержані кристалізацією з розплаву), спечені (металокерамічним способом), стиснені (порошкова металургія), конденсацією з парів, дифузійним насиченням та іншими.

- По технологічним властивостям – ливарні, електротехнічні, корозійностійкі, зносостійкі тощо.

Металеві сплави на відзнаку від чистих металів мають більш складну будову, що визначається кількістю компонентів та їх хімічними ознаками. Компоненти, що входять до складу сплаву, можуть утворювати такі фази: рідкі розчини, тверді розчини, хімічні з'єднання та механічні суміші.

*Металеві рідкі розчини (розплави)* представляють рідкий стан сплавів, який по більшості характеристик споріднений твердому стану. Якісна відзнака розплаву у відсутності в ньому дальнього порядку в кристалічній будові.

Більшість металів необмежено розчинюються один в одному. Однак деякі повністю не розчинюються у рідкому стані і розділяються на шари по густині.

*Металевими твердими розчинами* називають однорідні тверді фази, які складаються з декількох компонентів, концентрації яких можуть бути змінені без порушення їх однорідності. Металеві тверді розчини утворюються в результаті проникнення в кристалічні ґратки основного металу атомів іншого металу чи неметалу. Розрізняють тверді розчини заміщення і вкорінення. Тип твердого розчину визначається різницею розмірів атомів основного металу та атомів домішки. У сплавах, будова яких є твердим розчином, співвідношення компонентів може бути перемінним, і один з компонентів зберігає свої кристалічні ґратки (розчинник) а атоми іншого розміщуються в цих ґратках, змінюючи їх параметри.

*Хімічне з'єднання* – це хімічно нова речовина, що суттєво відрізняється від вихідних компонентів і властивостями, і будовою. В цій будові у хімічній формулі завжди зберігається кратно співвідношення компонентів  $A_mB_n$ , температура плавлення (дисоціації) постійна, утворення хімічної сполуки завжди супроводжується значним тепловим ефектом. Хімічні з'єднання, що утворюються в сплавах, відрізняються по деяким особливостям від типових хімічних сполук тим, що не підпорядковуються законам валентності і не мають постійного складу. Від твердих розчинів відрізняються тим, що мають незмінні кристалічні ґратки до температури плавлення. Хімічні з'єднання в сплавах за будовою та властивостями розділяють на класи: електронні з'єднання (з'єднання між одновалентними металами та простими металами), інтерметаліди (з'єднання металів з неметалами, їм властивий металевий тип хімічного зв'язку), фази вкорінення (з'єднання типу карбідів, нітридів, гідридів, з переважним металевим зв'язком) тощо.

*Механічна суміш* – це структура сплаву, що не має спільної будови і складається з окремих фаз, які утримуються слабкими силами тяжіння чи електростатичними силами, або за рахунок хімічної природи і мають споріднені компонентам сплаву властивості.

*Структура сплавів.*

Розрізняють макро-, мікро- і субструктури металів і сплавів.

*Макроструктура* – структура сплаву, що видима неозброєним оком чи при незначному збільшенні (до 30-40 разів). Макроструктура відображає структурну і хімічну неоднорідність, наявність пор, пустот, тріщин, розшаруватість, технологічні наслідки та інше.

*Мікроструктура* – це структура, що досліджується при значному збільшенні, за допомогою металографічних мікроскопів. Вона відображає форму, розміри, орієнтацію та взаємне розташування зерен металу; фазовий склад, співвідношення фаз.

*Субструктура* (тонка структура) – структура усередині зерна сплавів, що спостерігається при дуже значному збільшенні. Субструктура визначає більшість механічних і фізичних властивостей, кінетику фазових перетворень та інше.

#### 5. 4. Фазові та структурні перетворення в сплавах.

Характер фазових і структурних перетворень в сплавах при зміні температури можна прослідити за допомогою аналізу мікроструктури, бо між мікроструктурою та властивостями існує чіткий зв'язок.

При кристалізації сплавів центри кристалізації мають перемінний склад, що залежить від температури. Це призводить до виникнення неоднорідності хімічного складу – ліквациї. При цьому неоднорідність всередині окремих зерен називають дендритною.

При охолодженні з дуже малими швидкостями в сплавах структури досягають рівноважного стану, тому що при цьому дифузія в рідких і твердих фазах відбувається разом одночасно з кристалізацією і склад кристалів вирівнюється, отримана структура називається гомогенною.

Структура, що формується в сплавах при фазових перетворення може бути однофазною чи багатофазною.

Однофазна структура формується в сплавах при повному взаємному розчиненні компонентів, або у випадку, коли кількість розчиненого компонента не перебільшує граничної розчинності. Форма зерен залежить від умов формування. Вони можуть бути поліедридні (в виді правильного багатогранника), рівноосними (однаковими у всіх напрямках), витягнутими, стовпчастими чи пластинчастими (рис.3).

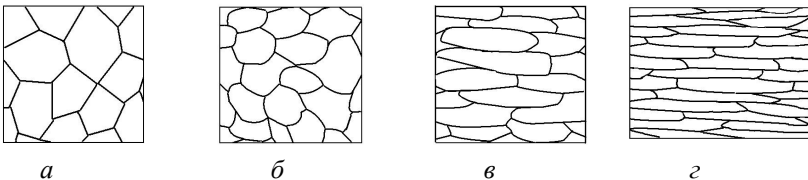


Рисунок 3. – Схеми структур однофазних сплавів. Форма зерен: а – поліедридна; б – рівноосна; в – витягнута; з – пластинчата .



Двохфазна чи багатофазна структура характерна для сплавів з обмеженою розчинністю компонентів. Якщо в сплаві вміст розчиненого компоненту перебільшує його граничну розчинність в основному металі (розчиннику) при певній температурі, то утворюється структура, що складається з матриці (основного твердого розчину) і виділених фаз другого твердого розчину. Таку структуру називають гетерогенною або матричною. Гетерогенна структура типова для сплавів на основі твердого розчину металу-розчинника і розчиненої хімічної сполуки.

В твердому стані можуть відбуватися два типи фазових перетворень, які формують структуру сплаву. По-перше, твердий розчин потерпає вторинну кристалізацію гетерогенних зерен. По-друге, формування структури відбувається внаслідок зміни температури чи зменшення розчинності компонентів при зниженні температури. Тоді в сплавах вторинна (надлишкова) фаза при повільному охолодженні виділяється по границям зерен у виді досить крупних новоутворень, або при швидкому охолодженні у вигляді сітки (оболонки) виділеної фази по границям матричних зерен (рис.4).

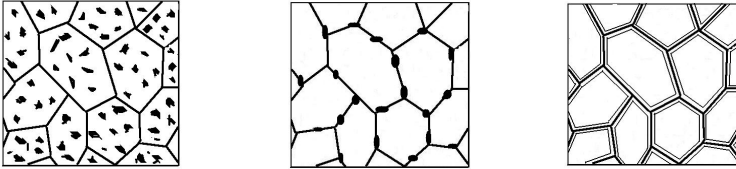


Рисунок 4. – Схеми структур двофазних сплавів: а – виділення всередині зерен; б – виділення по границям зерен; в – виділення у вигляді сітки.

В певних умовах кристалізації при постійній температурі і заданій концентрації компонентів в самостійну структурну складову можуть виділитися дві чи більше окремі фази, що являють собою механічну суміш. Такі механічні суміші утворюються шляхом зростання зерен між собою. При виділенні з рідкої фази механічну суміш називають евтектикою чи *перетектикою*, а при вторинній кристалізації – *евтектоїд*.

Евтектика представляє собою пластинки структурних компонентів, утворених з двох чи більше фаз, які рівномірно чергуються. Інколи в евтектиці фази хаотично розмішені, або можуть бути присутні окремі кристали твердого розчину чи хімічних сполук. Структури евтектики і евтектоїду схожі, але останній більш дисперсний.

## 5.5. Діаграми стану сплавів

Стан сплаву залежить від зовнішніх умов (температури, тиску) і характеризуються числом і концентрацією утворених фаз. Для опису фазового складу і процесів фазових перетворень в сплавах використовують діаграми стану.

Діаграма стану (фазової рівноваги) сплаву – графічне зображення співвідношення між параметрами стану (температурою, тиском, складом) термодинамічно рівноважної системи. Діаграма стану характеризує кінцевий або граничний стан сплавів, коли всі фазові перетворення повністю завершилися. Будують діаграми за результатами експериментальних досліджень, частіше аналізом критичних точок термодинамічних кривих охолодження сплавів.

Діаграми стану двохкомпонентних систем це плоске зображення в системі температура – концентрація. Лінії діаграми, що з'єднують характерні критичні точки, характеризують фазові перетворення в сплаві і відокремлюють області існування рівноважних фаз.

Вид діаграми компонентів визначається взаємодією її компонентів в рідкому і твердому стані, і наявністю поліморфних перетворень. Виділено три основних типи діаграм:

- першого типу – компоненти необмежено розчинюються один в одному в рідкому стані і не розчиняються в твердому стані (рис. 5, а);
- другого типу – компоненти сплаву необмежено розчиняються один в одному в рідкому і твердому стані (рис. 5, б);
- третього типу – компоненти необмежено розчиняються в рідкому стані і обмежено розчиняються в твердому стані, при цьому можуть утворюватися хімічні з'єднання (рис. 5, в).

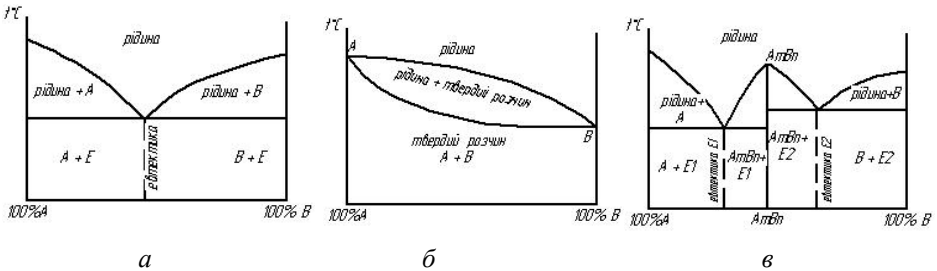


Рисунок 5. – Діаграми стану сплавів: а – першого типу; б – другого типу; в – третього типу.

По діаграмі конкретного сплаву можна визначити температури кристалізації і перетворень в твердому стані і структуру при заданих умовах, що дозволяє оцінити механічні, фізичні, хімічні властивості сплаву і правильно призначити технологічні режими термічної обробки, обробки тиском, зварювання і в кінцевому, раціонально обрати матеріал для тих чи інших виробів в залежності від поставлених вимог.

## Лекція 4

### 6. Склад, будова та структура полімерних речовин.

#### 6.1. Класифікація однорідних полімерних речовин

При класифікації полімерів враховують походження, фізичний стан, електричні властивості і відношення до нагріву.

*За походженням* однорідні полімерні речовини ділять на природні і штучні (синтетичні).

*Природні полімери* - білки і нуклеїнові кислоти, з яких побудовані клітини живих організмів, природні смоли (янтар, копал, шелак), натуральний каучук, целюлоза, слюда, азбест, природний графіт і ін.

*Синтетичні полімери* утворюються в результаті хімічного синтезу. Існує два основні методи їх отримання - полімеризація і поліконденсація.

*За фізичним станом* для полімерів виділяють скловидний, високо еластичний і в'язкотекучий стан. Через високу молекулярну масу полімери не здатні утворювати низько в'язкі рідини або переходити в газоподібний стан.

*По електричним властивостям* полімери діляться на *полярні* і *неполярні*. Полярність визначається наявністю диполів і несиметричністю їх в будові. В неполярних полімерах дипольні моменти зв'язків атомів компенсуються, тому вони є високо якісними діелектриками.

*По відношенню до нагріву* розрізняють термопластичні і термореактивні полімерні речовини.

*Термопластичними* називають такі полімери або пластмаси, які з підвищенням температури розм'якшуються, плавляться, при формуванні не зазнають ніяких хімічних змін, у міру охолодження тверднуть і зберігають здатність пластично деформуватися при повторному нагріві.

*Термореактивними* називають такі полімери і пластмаси, які при нагріві і формуванні зазнають істотних хімічних змін, тверднуть і втрачають здатність пластично деформуватися при повторному нагріві.

#### 6.2. Будова полімерних речовин

До групи однорідних полімерних речовин відносяться *мономери*, *олігомери*, *смоли* і власне *полімери*.

*Мономер* - речовина, кожна молекула якої може утворювати одну або декілька складових ланок, які повторюються.

*Олігомер* - речовина, молекули якої містять складові ланки, сполучені чином, що повторюється, один з одним, а комплекс властивостей змінюється при додаванні (або видаленні) одного або декількох складових ланок.

*Смола* - твердий, напівтвердий або псевдо твердий органічний матеріал, який має визначену і звичайно відносно високу молекулярну масу і який під впливом тепла розм'якшується або плавиться в певному діапазоні температур.

*Полімер* - речовина, що характеризується багатократним повторенням одного або більш складових ланок, сполучених між собою в кількості достатній

для прояву комплексу властивостей, який залишається практично незмінним при додаванні або видаленні одного або декількох складових ланок.

Будову полімерних речовин визначають молекули.

*Молекула* - якнайменша частинка речовини, що володіє його основними хімічними властивостями, яка складається з атомів, сполучених між собою хімічними зв'язками. Число атомів в молекулах складає від двох ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $KCl$ ) до сотень і тисяч.

Атоми в молекулі зв'язані між собою в певній послідовності і певним чином розташовані в просторі. Розташування атомів в молекулі завжди володіє певною симетрією. Загальні характеристики молекули - молекулярна маса, склад і структурна формула, що вказує на послідовність хімічних зв'язків.

Молекула полімерної речовини, що складається з тисяч і одиниць (однакових або близьких по будові груп атомів), що більш повторюються, називається *макромолекулою* і її хімічна будова практично відповідає хімічній будові структурної одиниці. Елементами макромолекули є основний ланцюг, складова ланка і бічні групи

Під *основним ланцюгом* полімеру розуміють таку послідовність хімічно зв'язаних атомів, яка має істотно більшу довжину, ніж довжина бічних груп.

*Складова ланка* - група атомів, за допомогою якої можна описувати будову всього ланцюга макромолекули, що виділяється.

*Бічними групами* (радикалами) є атоми (водню, галогенів), групи атомів ( $OH$ ,  $CN$ ,  $-C_6H_5$  і ін.) або відрізки полімерних молекул різної довжини. Бічні групи уздовж головного ланцюга можуть розташовуватися безладно (атактично) або мають впорядковану розстановку. Полімери з впорядкованою розстановкою бічних груп називаються регулярними.

По хімічному складу основного ланцюга існує класифікація на органічні, елементорганічні і неорганічні полімерні речовини.

В *органічних* полімерних речовинах (карбонланцюгові полімери, каучук) основний ланцюг утворений, головним чином, вуглецевими атомами. Разом з вуглецем, в них можуть бути присутні атоми кисню, фосфору, фтору, хлору чи сірки. Атоми кисню сприяють підвищенню гнучкості ланцюга, атоми фосфору і хлору підвищують вогнестійкість, атоми сірки додають газо-непроникність, атоми фтору надають полімеру високу хімічну стійкість.

*Елементорганічні (гетеро ланцюгові)* полімерні речовини містять у складі основного ланцюга, окрім вуглецю, атоми неорганічних елементів ( $Al$ ,  $Ti$ ,  $Si$  і ін.), що поєднуються з органічними радикалами  $CH_3$ ,  $C_6H_5$ ,  $CH_2$  і ін. Атоми неорганічних елементів, знаходячись в основному ланцюзі, істотно впливають на властивості полімерів, наприклад, збільшують теплостійкість. Органічні радикали в таких полімерах додають матеріалу міцність і еластичність. Елементорганічних полімерів в природі не зустрічається. Їх одержують штучним шляхом, наприклад, кремнійорганічні з'єднання.

*Неорганічні полімери* - полімери, основний ланцюг яких не містить вуглецю, не має органічних бічних груп. Основний ланцюг неорганічних полімерів складений з оксидів кремнію, алюмінію, магнію, кальцію і ін. Виня-

ток становлять деякі модифікації вуглецю, вуглецеві ланцюгові неорганічні полімери, (графіт). Неорганічні полімери відрізняються більш високою густиною і тривалою теплостійкістю, але вони не можуть існувати у високо еластичному стані, крихкі і погано переносять динамічні навантаження. Неорганічні полімери можуть мати природне (азбест) і штучне (кераміка) походження.

Макромолекули можуть бути побудовані з однакових по хімічному складу (*мономери*) або різних (*сополімери*) складових ланок.

В макромолекулах полімерних речовин існують наступні види зв'язків: ковалентні (хімічні) і водневі зв'язки, а також Ван-дер-ваальсова взаємодія. Ковалентні і водневі зв'язки реалізуються між атомами основного ланцюга; Ван-дер-ваальсова взаємодія розповсюджується на атоми основного ланцюга і бічних груп також на зв'язок макромолекул в цілому.

### 6.3. Види структури полімерів та їх характеристика

Макромолекули полімерів утворюють певну просторову конфігурацію. По виду цієї конфігурації розрізняють чотири групи будови полімерів: *лінійну, розгалужену, стрічкову (сходову) і сітчасту* (рис. 6). Просторова конфігурація макромолекул визначає фізичні стани і властивості полімерів.

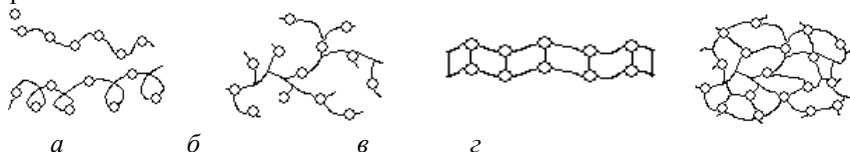


Рисунок 6. – *Форми макромолекул полімерів: а – лінійна; б – розгалужена; в – сходова (стрічкова); г – сітчаста.*

*Лінійні макромолекули полімеру* є довгими зигзагоподібними або закрученими в спіраль ланцюжками (глобули).

*Розгалужені макромолекули*, будучи також лінійними, відрізняються наявністю бічних відгалужень, що перешкоджає їх щільній упаковці (поліізобутилен).

Полімери, що мають лінійну або розгалужену конфігурації макромолекул (поліетилен, полівінілхлорид, полістирол і ін.), при нагріванні володіють здатністю розм'якшуватися, а при охолодженні тверднуть називають *термопластичні*. Лінійній конфігурації макромолекул відповідають високо еластичний (макромолекула володіє здатністю згинатися) і в'язкий (вся макромолекула рухома) стани.

*Макромолекула стрічкового полімеру* складається з двох ланцюгів, сполучених хімічними зв'язками. Сходові полімери мають більш жорсткий основний ланцюг і володіють підвищеною теплостійкістю, більшою жорсткістю, вони не розчинні в стандартних органічних розчинниках (кремнійорганічні полімери).

*Полімери з сітчастою просторовою конфігурацією* макромолекул утворюються при з'єднанні макромолекул між собою в поперечному напрямі міцними хімічними зв'язками безпосередньо або через бічні групи. В результаті утворюється сітчаста структура з різною густиною сітки. Рідко сітчасті полімери втрачають здатність розчинятися і плавитися, вони володіють пружністю (м'які гуми). До сітчастих полімерів відносяться також пластинчаті полімери (наприклад, графіт). Густо сітчасті (просторові) полімери відрізняються твердістю, підвищеною теплостійкістю, нерозчинністю. Просторові полімери (фенол-формальдегіди, поліефірні і ін.) знаходяться тільки в скловидному стані і є термореактивними, вони не можуть зворотно змінювати свої властивості і при *нагріванні перетворюються* на неплавкі і нерозчинні речовини, не здібні до повторного формування.

При сітчастій конфігурації макромолекул в полімерах реалізується надмолекулярна структура, тобто певні форми впорядкування: а саме, глобули (клубки), пачки, стрічки і пластини.

Впорядкованість в структуроутворенні визначається гнучкістю лінійних і розгалужених макромолекул, здатністю їх міняти форму, переміщатися по частинах; великий вплив надають жорсткість ланцюга і сили міжмолекулярного тяжіння. Надмолекулярна структура визначає фазовий стан полімерів при цьому глобулам відповідає аморфний стан, а пластинам кристалічний.

Надмолекулярні структури в кристалічному полімері - це кристали (зерна) різної форми і розмірів, але з однаковими кристалічними ґратами.

Для кристалічних полімерів характерні високі температура плавлення, густина, міцність, жорсткість, теплостійкість і низькі показники розчинності, набухання, погані прозорість і проникність.

Аморфні полімери характеризується ближнім впорядкуванням в розташуванні ланок або сегментів макромолекул, швидко зникаючим у міру їх видалення один від одного.

В більшості випадків реальні полімери містять і аморфну, і кристалічну фази. Відносний зміст цих фаз залежить від форми ланцюга, величини міжмолекулярних сил і зовнішніх умов. Вміст в полімері (у відсотках) речовин в кристалічному стані називається ступенем кристалічності. Утворення кристалітів приводить до втрати полімером еластичності, до збільшення його жорсткості і зменшення здібності до деформації. Надмолекулярні структури можуть змінюватися при зовнішній дії.

## Лекція 5

### 7. Загальні властивості матеріалів.

**Властивості** матеріалів являють собою об'єктивну особливість, надану від природи чи в процесі виробництва, що проявляється при експлуатації. Основні групи властивостей: фізичні, хімічні, механічні, біологічні, функціо-

нальні, ергономічні, гігієнічні, естетичні тощо. Більшість властивостей пов'язані між собою і визначаються природою і будовою матеріалу.

### 7.1. Хімічні властивості

Хімічні властивості – характеризують відношення матеріалу до дії різних середовищ. Хімічні властивості слід враховувати при виготовленні виробів санітарно-технічного призначення, оздоблювальних, будівельних, кроквяних матеріалів. До них відносять:

- *кислотостійкість* – характеризує реакцію матеріалів до дії кислот;
- *інсоляція* – стійкість до світло погоди, характеризує реакцію матеріалу до дії сонячних променів, впливу навколишнього середовища;
- *корозійна стійкість* – здатність матеріалу опиратися хімічному та електрохімічному впливу середовища, тобто його частковому розчиненню;
- *жаростійкість* – здатність матеріалу зберігати експлуатаційні характеристики, цілісність, протистояти окисленню при високих температурах.

### 7.2. Фізичні властивості.

Фізичні властивості – це внутрішні, притаманні даному матеріалу чи речовині особливості, що зумовлюють його різницю чи спільність з іншими речовинами чи матеріалами, і що проявляються як відповідна реакція на дію зовнішніх фізичних полів чи середовищ. Фізичні властивості поділяють на групи в залежності від виду фізичного впливу.

#### 7.2.1. Фізичні властивості, що характеризують зміну агрегатного стану матеріалу.

*Температура* – фізична величина, що характеризує стан термодинамічної рівноваги системи. Температура незалежно від маси і хімічного складу характеризує енергію руху молекул. Зі зміною температури відбувається зміна агрегатного стану речовини. Розрізняють:

- *температура плавлення* ( $T_{пл}$ ) – температура переходу кристалічного матеріалу в рідкий стан при постійному зовнішньому тиску;
- *температура кристалізації* (затвердіння) ( $T_{кр}$ ) – температура переходу з рідкого стану в твердий кристалічний стан матеріалу;
- *температура кипіння* ( $T_{кп}$ ) – температура рівновісного переходу рідини в газовий стан при постійному зовнішньому тиску.

#### 7.2.2. Термічні властивості

Термічні властивості характеризують поведінку матеріалу при дії на нього теплової енергії. Вони мають практичне значення при оцінці якості матеріалу, що піддається в процесі експлуатації нагріванню та охолодженню.

*Теплоємність* – характеризує кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання матеріалу на  $1^{\circ}\text{C}$  в певному інтервалі температур.

*Теплопровідність* – здатність матеріалу передавати теплоту з середини, чи від однієї поверхні матеріалу до іншої, чи назовні. Залежить від хімічного складу, структури, пористості, вологості. Теплопровідність має практичне значення при виборі теплоізоляційних матеріалів, трубопроводів, багатьох будівельних матеріалів.

*Термічне розширення* характеризує здатність матеріалу змінювати свої розміри при збільшенні (зменшенні) температури. Враховується для вогнестійких матеріалів, силікатних, керамічних. Поділяється на лінійне та об'ємне розширення.

*Термічна стійкість* – здатність матеріалу зберігати свої властивості при різких коливаннях температури. Має значення при оцінці якості вогнестійких матеріалів, скла, кераміки, надає значного впливу на їх довговічність.

*Вогнестійкість* характеризує здатність матеріалу опиратися загорянню та дії вогню. Матеріали поділяють на не горючі, важко горючі, легко горючі.

### 7.2.3. Характеристики маси

Важливою характеристикою матеріалу є *маса*, що є його кількісною мірою. Так для однорідної системи маса характеризує число структурних елементів (атомів, молекул, іонів), які є в термодинамічній системі та її будову.

Для неоднорідних речовин використовують поняття *щільність* або *густина* – міра кількості речовини в одиниці його об'єму :

$$\gamma (\rho) = m/V [\text{кг}/\text{м}^3].$$

*Об'ємна маса* ( $\rho_0$ ) – маса одиниці об'єму пористих тіл. Насипна маса ( $\rho_n$ ) – маса одиниці об'єму вільно насипаних дисперсних матеріалів (цемент, пісок).

*Пористість* ( $\Pi$ ) – співвідношення щільності матеріалу до його об'ємної маси:

$$\Pi = (1 - \rho_0) \cdot 100 / \rho, [\%]$$

Від пористості матеріалу залежать водопоглинання, морозостійкість, теплопровідність, міцність.

### 7.2.4. Фізичні властивості, що характеризують здатність матеріалів взаємодіяти з потоками мас і випромінювань.

Велика кількість матеріалів здатні взаємодіяти з потоками мас (повітря, газу, пару) та випромінювань (світла, звуку). При цьому проявляється їх відбивна здатність, проникність і поглинання.

Розглянемо деякі з цих властивостей.

*Водопроникність* характеризує здатність матеріалу пропускати воду при певному тиску.

*Паропроникність* характеризує здатність матеріалу пропускати пар з середовища з меншою до середовища з більшою вологістю.

*Повітропроникність* (газопроникність) – здатність матеріалу пропускати повітря при різному тиску по обидві сторони.



*Пилопроникність* характеризує здатність пропускати дисперсні частки пилю.

Кількісно ці властивості характеризуються відповідними коефіцієнтами. Вони в основному залежать від будови і структури матеріалу і тісно пов'язані з відношенням матеріалу до води.

*Водопоглинення* характеризується кількістю води, що вміщується в матеріалі.

*Гігроскопічність* – здатність матеріалу поглинати вологу з навколишнього середовища.

*Водопоглинення* (водонасичення) – властивість матеріалу при безпосередній взаємодії з водою, всмоктувати та утримувати її в своїх порах.

*Водостійкість* – відношення матеріалу до дії вологи при різних температурах і тиску, зберігаючи при цьому свою міцність.

*Морозостійкість* характеризує здатність матеріалу насиченого водою, зберігати свої властивості без ознак руйнування при попереминому заморожуванні.

*Звукопоглинання* – здатність матеріалу поглинати звук. Різновидами звукових властивостей є звукоізоляція та звукопроникність.

### 7.2.5. Електричні властивості

Електричні властивості – це сукупність властивостей, що характеризують здатність матеріалу проводити електричний струм в електричному полі. До електричних властивостей (особливо металевих) відносять:

- *електропровідність* ( $\gamma$ ) – здатність матеріалу пропускати електричний струм під дією електричного поля. Визначається наявністю рухливих носіїв зарядів. За цією ознакою матеріали поділяють на провідники, напівпровідники та діелектрики;
- *електричний опір* ( $\rho$ ) – властивість матеріалу протидіяти електричному струму при заданій напрузі електричного поля;
- *магнітність* – здатність матеріалу намагнічуватись. В залежності від орієнтації магнітних моментів матеріали можуть бути феромагнетиками (магнітними), парамагнетиками (слабо магнітними) та діамагнетиками (немагнітними).

## Лекція 6

### 7.3. Механічні властивості

В процесі експлуатації матеріали піддаються стискуванню, розтягнанню, згинанню, крученню, удару та іншим навантаженням. Під механічними властивостями розуміють характеристики матеріалу, які визначають його поведінку під дією прикладених зовнішніх механічних сил.

Механічні властивості визначають зміну форми, розмірів і суцільності матеріалів при механічному впливі, а значить, і результат надійності при використанні чи експлуатації.

Механічний вплив характеризують по направленню, тривалості та області дії.

По *направленню* розрізняють лінійні навантаження (розтяг, стискання) кутові чи дотичні (згинання, кручення, зсув, зріз).

По *тривалості*, в залежності від характеру прикладання навантаження розрізняють механічні властивості, що визначаються при статичних та динамічних навантаженнях. *Статичними* називають випробування, при яких навантаження, що прикладається до матеріалу, зростає поступово. При *динамічних* випробуваннях навантаження прикладається раптово з максимальним значенням.

*По області дії* – об'ємні та поверхневі навантаження.

Основними механічними властивостями матеріалів є міцність, пластичність, еластичність, жорсткість, твердість, пружність, крихкість, в'язкість.

*Міцність* – це здатність матеріалу опиратися дії навантаження без руйнування. Міцність матеріалу обумовлена силами взаємодії між їх структурними складовими елементами (атомами, молекулами). Міцність оцінюється показником – границя міцності. Визначається границя міцності відношенням руйнуючого навантаження  $P$  до первісної площі перерізу  $F_0$  зразка. При випробуваннях на розтяг границя міцності (границя тимчасового опору) позначається  $\sigma_{т.о.}$  (МПа):

$$\sigma_{т.о.} = \frac{P}{F_0}.$$

Границю міцності розрізняють при випробуваннях на стискання ( $\sigma_c$ ), згинання ( $\sigma_{зг}$ ), кручення ( $\sigma_{кр}$ ) тощо.

*Пластичність* – це здатність матеріалу деформуватися без руйнування, з подальшим збереженням набутої форми та розмірів, при зовнішніх навантаженнях. Пластичність може оцінюватись різними показниками. Так для випробувань на розтяг визначається відносне подовження:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%$$

та відносне звуження:

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100\%.$$

*Еластичність* – здатність матеріалу потерпати значні зміни розмірів і форми без руйнування при досить слабких діючих силах.

*Пружність* – це здатність деформованого матеріалу відновлювати первісну форму, розміри після припинення дії зовнішнього навантаження. Обумовлена пружністю взаємодією між атомами (молекулами матеріалу та їх тепловим рухом). Характеризується пружність матеріалу показниками:

- модулем поздовжньої пружності  $E$  (Модуль Юнга), який ще визначає жорсткість матеріалу і характеризує опір матеріалу пружній деформації;

- модулем зсуву  $G$  – характеристикою зсуву кристалографічних площин твердих тіл при появі дотичних напружень;
- коефіцієнт Пуассона  $\mu$  – відношення зміни поперечного перерізу до зміни довжини зразка.

*Жорсткість* – здатність матеріалу до найменших змін розмірів і форми при заданому значенні та типі навантаження.

*В'язкість (внутрішнє тертя)* – здатність матеріалів опиратися внутрішнім змінам при зовнішньому впливі.

*Ударна в'язкість* – здатність матеріалу поглинати механічну енергію в процесі деформації або руйнування при динамічних навантаженнях. Зазвичай оцінюється роботою до руйнування надрізаного зразка при ударному згинанні, віднесений до площі перерізу при надрізі, навантаження.

Для рідких та газових матеріалів це *текучість* всередині об'єму при збільшенні молекулярної маси чи просторових структур, що утворюються при зчепленні часток чи макромолекул.

*Твердість* – це здатність матеріалу опиратися деформації при поверхневій контактній дії. Характеризується твердість числом відповідної шкали. Для визначення твердості існує декілька методів: шкрябання, вдавлення, удару, згасання коливань та проколу голкою. Всі вони засновані на дії накопичника на дослідний зразок. Твердість пов'язана з показниками інших властивостей і тому її визначення використовують як метод визначення інших властивостей.

В багатьох випадках при експлуатації виробів на них діють довготривалі навантаження повторно-перемінного характеру. Такі навантаження називають *циклічними* чи *знако-перемінними*. Поступове накопичення ушкоджень в матеріалі під дією циклічних навантажень, що можуть приводити до утворення тріщин чи руйнування називають *втомою*, а властивість матеріалів опиратися втомі – *витривалістю*.

При оцінці механічних властивостей матеріалів їх розділяють на групи, що характеризують умови випробувань:

- 1 група – стандартні механічні властивості, що визначаються стандартними випробуваннями гладких зразків, незважаючи на конструктивні особливості і характер служби виробу.
- 2 група – критерії конструктивної міцності (працездатності в умовах експлуатації) матеріалу, що визначаються стандартними випробуваннями гладких чи з гострими тріщинами зразків.
- 3 група – критерії конструктивної міцності виробу в цілому, що визначаються при стендових, натурних чи експлуатаційних випробуваннях.

#### **7.4. Властивості матеріалів в фізико-хімічних процесах.**

*Старіння* – зміна фізико-хімічних властивостей матеріалів, яке відбувається самовільно, в процесі довготривалої витримки при кімнатній температурі (природне старіння), або при нагріві (штучне старіння).

## Найб

є більше значення для металів та сплавів мають процеси старіння пов'язані з розпадом перенасичених твердих розчинів і розпадом мартенситної структури. Ці процеси обумовлені метастабільним станом сплаву в результаті технологічної обробки, пов'язаної з викривленням кристалічних ґраток і подальшим відновленням стабільного стану з більш низьким рівнем внутрішньої енергії.

При старінні полімерів змінюється хімічний склад, молекулярна маса, характер взаємодії макромолекул і структура, що визначають фізико-хімічні та механічні властивості матеріалів. Старіння полімерів обумовлено деструкцією (розривом хімічних зв'язків) макромолекул.

При довготривалій експлуатації сполучених поверхонь деталей має місце знос. *Знос* – процес відділення матеріалу з поверхні твердого тіла при наявності тертя, що проявляється в поступовій зміні розмірів і форми виробу. Значення зносу виражається в одиницях маси, об'єму, довжини. Основними видами зносу є :

- механічний: абразивний, адгезійний, ерозійний, кавітаційний, втомний;
- корозійно-механічний: окислювальний, фреттинг-корозійний;
- молекулярно-механічний: схоплювання і заїдання.

Здатність матеріалу опиратися зношенню чи абразивному тертю називають *зносостійкістю*.

*Дифузія* – рух часток середовища, що призводить до незворотного переносу речовини чи до встановлення рівноважного розподілу концентрацій часток в середовищі. Дифузія в твердих матеріалах приводить до переносу атомів на відстані, що перебільшують міжатомні для даного матеріалу. В твердих матеріалах розрізняють такі види дифузії:

- по механізму протікання: міжвузоловий, вакансійний, обмінний, циклічний;
- по геометричному місцю переносу атомів: об'ємний, поверхневий, граничний;
- по місцю поглинання атомів: поверхнева дифузія – адсорбція, об'ємна дифузія – абсорбція;
- по природі процесу: фізична та хімічна дифузія.

Дифузія обумовлює руйнування матеріалів, повзучість, старіння, корозія та інше.

*Корозія* – самовільне руйнування матеріалу, яке визвано хімічними чи електрохімічними процесами на поверхні при взаємодії з зовнішнім середовищем. До зовнішніх факторів відносять вид і склад оточуючого середовища, умови протікання корозії (температура, тиск, швидкість потоку агресивного середовища, неоднорідність складу тощо). Корозійному руйнуванню піддається більшість матеріалів.

Здатність матеріалу протистояти частковому розчиненню чи роз'їданню при впливі агресивного середовища називають *корозійною стійкістю*.

Види корозії розрізняють по таким ознакам:

- по характеру і механізму взаємодії з середовищем: хімічна корозія – в сухих газах, неелектролітах (бензин, бензол), при цьому утворюються окисні плівки, що можуть захищати поверхню, електрохімічна корозія – в середовищах що проводять електричний струм, супроводжується руйнуванням поверхні;
- по геометричним характеристикам: розрізняють поверхневу і об'ємну, а по місцю обхвату (локалізації) – суцільну, місцеву, ниткову, точкову, вибірку;
- по типу корозійного середовища: атмосферна, газова, рідинна, морська, ґрунтова, та інші;
- по впливу додаткових факторів: корозія з тертям (ерозія), під напруженням (корозійне розтріскування, втома), контактна та інші.

Для захисту від корозії використовують в основному два методи: відокремлення матеріалу від агресивного середовища (захисні покриття, поверхневе зміцнення, легування) та надання антикорозійних властивостей середовищу (використання інгібіторів).

### **7.5. Технологічні властивості.**

З матеріалів при певній обробці виготовляють вироби шляхом виконання певних технологічних операцій.

*Технологічні властивості* матеріалів визначають можливість виготовлення продукції використанням даного матеріалу при задоволенні мінімальної трудомісткості при її виготовленні. До технологічних властивостей відносять властивості матеріалів, що визначають можливість лиття, обробки тиском, різанням, зварюваність, здатність до термічної обробки.

Ливарні властивості визначаються сукупністю показників. Що включають температури плавлення, заливання, кристалізації, рідкотекучість, усадку та інші.

Оброблюваність тиском в гарячому та холодному стані характеризує ковкість, штампованість, витяжку.

Оброблюваність різанням – це здатність піддаватися обробці інструментами з забезпеченням необхідних параметрів точності розмірів та шорсткості поверхні. Різновид властивості – піддатливість.

Зварюваність – здатність матеріалу утворювати нероз'ємні з'єднання з необхідними механічними характеристиками.

### **7.6. Споживчі властивості.**

Споживчі властивості матеріалів визначають можливість їх використання при максимальній працездатності в умовах експлуатації чи споживання. До споживчих властивостей продукції відносять надійність, довговічність, збереженість, безвідмовність, ремонтпридатність. На матеріали розповсюджуються такі показники як довговічність, збереженість та інші.

*Довговічність* – властивість матеріалу зберігати експлуатаційні характеристики до граничного стану, який визначається ступенем руйнування, вимогами безпеки та економічними міркуваннями.

*Збереженість* – властивість матеріалу зберігати обумовлені експлуатаційні показники терміном збереження, транспортування, встановленого технічною документацією.

*Функціональність* – це відповідність матеріалу своєму призначенню.

*Ергономічність* – здатність матеріалу забезпечувати високопродуктивну працю при мінімальній втомі і витратах енергії людини.

*Економічність* – забезпечення витрат на виготовлення та обробку матеріалу при отриманні найбільшого економічного ефекту при його раціональному використанні.

*Естетичність* – властивість матеріалу задовольняти сприйняттю відчуттям людини. Це колір, фактура, блиск тощо.

## Лекція 7

### 8. Способи керування властивостями матеріалів.

Зміна властивостей матеріалів, наприклад збільшення міцності металів, розв'язується утворенням потрібної будови шляхом направленої кристалізації, створенням відповідних хімічних композицій чи використанням різних способів обробки матеріалів.

Обробка матеріалів – це дії, направлені на зміну властивостей матеріалу при виконанні технологічних процесів. До найбільш розповсюджених видів обробки матеріалів відносять механічну та термічну обробку.

#### 8.1. Керування структурою та властивостями шляхом направленої кристалізації.

При розгляданні процесу кристалізації сплавів було встановлено, що на розмір зерна впливають ступінь переохолодження, температура розплаву, його хімічний склад. Кристалізація сплавів по описаному механізму називається самовільною або спонтанною.

При направленій кристалізації джерелом утворення зародків зерен є тверді частки, що вводяться в розплав. Якщо домішки мають кристалічні ґратки, що близькі за будовою до кристалізованому металу, то вони відіграють роль готових центрів кристалізації. Чим більше домішок, тим більше центрів кристалізації, тим дрібніше розмір зерен сплаву.

Використання домішок для отримання дрібного зерна називається *модифікуванням*. При модифікуванні в розплавлений метал (сплав) вводять певну кількість спеціальних речовин (*модифікаторів*), які, практично не змінюючи хімічного складу, визивають при кристалізації подрібнення зерна, тим самим сприяють покращенню механічних та технологічних властивостей.

Наприклад, при модифікуванні магнієвих сплавів зерно зменшується від 0,2 – 0,3 мм до 0,01 – 0,02 мм.

Модифікування використовують при отриманні литих габаритних заготовок, фасонних виливків складної форми.

В якості модифікаторів використовують тугоплавкі з'єднання – карбіди, нітриди, оксиди, що кристалізуються в першу чергу. Виділяючись у вигляді дрібних часток, ці з'єднання служать центрами кристалізації.

## 8.2. Легування сплавів.

Одним з способів керування властивостями сплавів є створення хімічних композицій. При введенні в розплав домішок, вони можуть утворювати з металом тверді розчини, розчинюючись в ньому, чи давати самостійні спеціальні композиції – хімічні чи інтерметалеві з'єднання. Технологічний процес введення цих добавок називають *легуванням*.

*Легуючі елементи* це спеціальні, штучно введені добавки, які змінюють властивості сплаву в потрібному напрямку.

Позначення легуючих елементів надано в таблиці 1.

Таблиця 1. –

Умовні позначення легуючих елементів в чорних та кольорових сплавах

Елемент	Символ	Позначення елементів в марках сплавів		Елемент	Символ	Позначення елементів в марках сплавів	
		чорні	кольорові			чорні	кольорові
Азот	N	А	-	Неодім	Nd	-	Нм
Алюміній	Al	Ю	А	Нікель	Ni	Н	Н
Барій	Ba		Бр	Ніобій	Nb	Б	Нп
Берилій	Be	Л	-	Олово	Sn		О
Бор	B	Р	-	Осмій	Os	-	Ос
Ванадій	V	Ф	Вам	Паладій	Pd	-	Пд
Вісмут	Bi	Ві	Ви	Платина	Pt	-	Пл
Вольфрам	W	В	-	Реній	Re	-	Ре
Гадоліній	Gd	-	Гн	Родій	Rh		Рд
Галій	Ga	Гл	Ги	Ртуть	Hg	-	Р
Германій	Ge	-	Г	Свинець	Pb	-	С
Залізо	Fe	-	Ж	Селен	Se	К	СТ
Золото	Au	-	Зл	Срібло	Ag		Ср
Індій	In	-	Ин	Скандій	Sc	-	Скм
Іридій	Ir	-	И	Сурма	Sb	-	Су

Продовження таблиці 1.

Ітербій	Yb	-	ИТН	Талій	Tl		Тл
Ітрій	Y	-	ИМ	Тантал	Ta	-	ТТ
Кадмій	Cd	Кд	Кд	Теллур	Ti	-	Т
Кобальт	Co	К	К	Титан	Ti	Т	ТПД
Кремній	Si	З	Кр(К)	Вуглець	З	У	-
Лантан	La	-	Ла	Фосфор	P	-	Ф
Літій	Li	-	Ле	Хром	Cr	Х	Х(Хр)
Магній	Mg	Ш	Мг	Церій	Ce	-	Се
Марганець	Mn	Г	Мц(Мр)	Цинк	Zn	-	Ц
Мідь	Cu	Д	М	Цирконій	Zr	Ц	ЦЕВ
Молібден	Mo	М	-	Ербій	Er	-	Ерм

Легування сплавів використовують для покращення їх механічних та технологічних властивостей. Легуванням можна підвищити границю текучості, ударну в'язкість, міцність, пластичність, корозійну стійкість, гартованість.

### 8.3. Механічна обробка.

Механічна обробка полягає в утворенні необхідних форм і властивостей з різного роду матеріалів шляхом переміщення чи відділення шарів матеріалу. Розрізняють механічну обробку тиском і обробку різанням.

*Обробка тиском* – полягає в пластичному деформуванні чи розділенні матеріалу без утворення стружки. Обробку тиском поділяють на об'ємну і поверхневу. До об'ємної обробки тиском відносять прокатку, волочіння, штампування, пресування, до поверхневої – кування, поверхневий наклеп, накатка.

*Обробка різанням* – полягає у формоутворенні поверхонь відділенням стружки матеріалу. Утворення поверхні супроводжується руйнуванням поверхневих шарів матеріалу.

### 8.4. Деформація полікристалів. Види деформацій та їх характеристика

Обробка металів тиском ґрунтується на використанні однієї з основних механічних властивостей металів – пластичності. Деформація проявляється в незворотній зміні форми та розмірів тіла під дією зовнішніх сил без порушення його цілісності, яка супроводжується зміною структури та механічних властивостей металу. Також деформація може викликатись різними фізико-механічними процесами, що відбуваються в самому тілі.

Внаслідок дії зовнішніх сил та наявності в металі внутрішніх дефектів, тріщин, надрізів, неоднорідності структури всередині зразків виникають кон-



центратори напружень. Їх поділяють на тимчасові напруження, зумовлені дією зовнішніх сил і зникаючі після припинення дії сили і внутрішні залишкові напруження, що виникають в тілі і залишаються незмінними. Останні напруження можуть викликатися всередині тіла без дії зовнішніх сил, а саме в процесі швидкої зміни температур, неоднорідності структури внутрішньої і поверхневої будови. Ці напруження називають термічними, фазовими чи структурними.

Деформація полягає в переміщенні одних атомів щодо інших під дією сил. В залежності від наслідків зсуву розрізняють пружну деформацію і пластичну деформацію.

*Пружною* називають деформацію, вплив якої на форму, структуру і властивості тіла повністю зникає після припинення дії зовнішніх сил. Під дією прикладеного навантаження відбувається незначне, повністю зворотне, зміщення атомів чи поворот блоків на відстані, значно менші міжатомних. Пружна деформація не викликає помітних змін в структурі та властивостях матеріалів.

*Пластична деформація* – це незворотні зміни, яких набуває тіло під дією зовнішніх сил. Вона здійснюється при зміщенні атомів на відстані співвимірні чи більші ніж міжатомні. Це відбувається коли напруження перебільшують границю пружності. Тоді після припинення дії сили знімається тільки пружна частина деформації, а та частина що лишається є пластичною. Пластична деформація полікристалу здійснюється ковзанням чи поворотом окремих часток кристалу по кристалографічним площинам та напрямкам з найбільшою кількістю дефектів будови (рис.7).

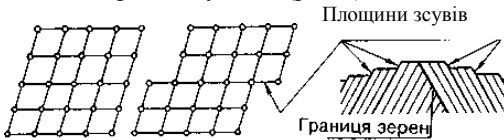


Рисунок 7. – Схема зміщення атомів та зсуву часток кристалу при пластичній деформації.

При значних ступенях деформації зерна змінюють свою форму внаслідок ковзання і витягаються в напрямку діючих сил, одночасно з цим відбувається подібнення блоків (рис.8).

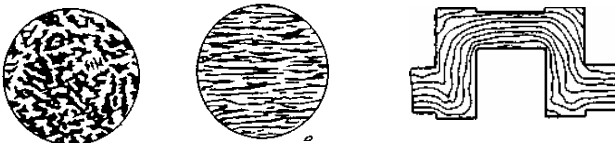


Рисунок 8. – Зміна зерен, структури металу при пластичній деформації.

Якщо при пластичній деформації виникає волокниста чи шарувата структура орієнтована в одному напрямку, її називають *текстура деформації*.

В залежності від температури тіла під час обробки розрізняють гарячу та холодну пластичну деформацію.

Деформація, яка відбувається при високих температурах ( $0,7 - 0,75$ )  $T_{пл}$ , називається *гарячою*. При цьому значних змін властивостей не відбувається а зміни в структурі характеризуються подрібненням зерен із збереженням їх співвісної форми.

Якщо деформування металу відбувається при температурі нижче ( $0,15 - 0,2$ )  $T_{пл}$ , деформація називається *холодною*. При холодній пластичній деформації зростають властивості, що характеризують опір деформації ( $\sigma_{т.о.}$ ,  $\sigma_{т}$ , твердість), а показники пластичності, в'язкості знижуються ( $\psi$ ,  $\delta$ ).

Зміцнення металу в процесі пластичної деформації називають *наклепом*. Явище наклепу широко застосовують в поверхневому зміцнюванні металів. Шляхом наклепу твердість і границю міцності можна збільшити в 1,5...3 рази, а границю текучості – в 3...7 разів., це дозволяє підвищити довговічність деталей і машин, оскільки їх руйнування частіше починається з поверхні.

### 8.5. Деформація полімерів.

Полімери у високо еластичному стані схильні до значних зворотних змін при невеликих навантаженнях, тому що їх макромолекули можуть вигинатися. При цьому макромолекули в цілому не перемішуються, однак їх окремі сегменти, бокові групи, рухомі через їх можливих переміщень навколо своїх зв'язків. Цим зумовлюється незначна жорсткість полімерів і їх в'язкопружна поведінка при навантаженні. Для кристалічних полімерів спочатку відбувається пропорційна пружна деформація яка далі приводить до зміни до сильно розтягнутого стану безпосередньо до руйнування. Слід зазначити, що деформація полімерів суттєво залежить від швидкості навантаження. При повільній деформації макромолекули можуть орієнтуватися з впорядкованим розташуванням, утворюючи текстуру. В процесі орієнтації зростає міжмолекулярна взаємодія, що приводить до підвищення міцності при збереженні достатньої пружності. Властивості матеріалів стають анізотропними.

### 8.6. Деформація аморфних матеріалів.

Поведінка аморфних матеріалів при деформації, як і в кристалічних матеріалах, залежить від процесів, які відбуваються на мікрорівні. Однак відсутність ближнього порядку виключає протікання пластичної деформації шляхом руху дислокацій, тому що відсутні площини ковзання. Аморфні матеріали утворені кластерами які мають довільну форму і випадкову впорядкованість. Тому деформація відбувається не однорідно, а вздовж тих ділянок, де напруження досягають критичних рівнів (рис. 9). Структура при цьому має шарувату форму. Основними параметрами пластичної деформації аморфних матеріалів є швидкість руху смуги ковзання і границя текучості, міцність визначається модулями пружності.

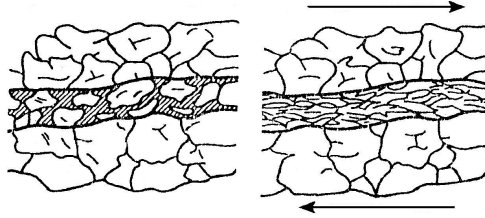


Рисунок 9. – Схема зміни структури аморфних матеріалів при деформації

### 8. 7. Відновлення властивостей та структури деформованих сплавів.

Відновлювання будови та властивостей для деформованих металів і сплавів залежно від температури нагріву має різновиди: повернення і рекристалізація (рис.10).

*Повернення* - нагрів деформованих металів і сплавів нижче за температуру рекристалізації  $\sim 0,2 T_{пл}$  витримка і повільне охолодження (з піччю) для часткового відновлення їх структурної досконалості в результаті зменшення густини дефектів будови, проте без візуально помітних змін мікроструктури. Повернення обумовлено тонкими структурними змінами всередині кожного зерна. Повернення включає дві стадії – відпочинок і полігонізація.

*Відпочинок* - початкова стадія процесу повернення деформованого металу, що протікає при низькотемпературному до  $0,2 T_{пл}$  нагріві і об'єднує процеси, пов'язані з дифузійним перерозподілом точкових дефектів і їх частковим взаємним знищенням. Відпочинок використовують для усунення усередині окремих зерен або в об'ємі сплаву неоднорідності хімічного складу і структури виникаючих частіше за все в процесі кристалізації, а також для часткової релаксації напруження.

*Полігонізація* – стадія процесу повернення деформованого металу, що відбувається при нагріванні до  $(0,3...0,4)T_{пл}$ , пов'язана з розділенням деформованих зерен на полігони (блоки) з малою густиною дислокацій. Полігонізація приводить до подальшого зняття спотворень (внутрішніх напружень) кристалічних ґраток і більш повного відновлення фізичних властивостей. Механічні властивості при цьому змінюються незначно (відбувається зниження міцності) Текстура зберігається, хоча і стає блоковою. Полігонізація після значних деформацій – як правило, початкова стадія рекристалізації.

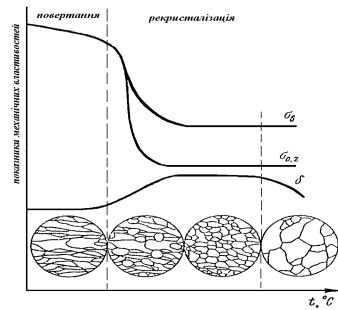


Рисунок 10. – Вплив нагрівання при відпалюванні на зміну структури деформційно-зміцненого металу і величину його механічних властивостей

*Рекристалізація* - процес зростання одних кристалічних зерен полікристалу за рахунок інших. Рекристалізацію можна представити у вигляді стадій: *первинна рекристалізація*, *збиральна* і *вторинна рекристалізація*

*Первинна рекристалізація* - процес зародження і зростання нових рівно вісних зерен при нагріві до повного зникнення текстури, створеною деформацією і утворення рівноосної дрібнозернистої структури. Температура початку первинної рекристалізації (температурний поріг рекристалізації) міняється від  $(0,1 \dots 0,2) T_{пл}$  для чистих металів до  $(0,5 \dots 0,6) T_{пл}$  для твердих розчинів і  $(0,7 \dots 0,75) T_{пл}$  для багатофазних систем.

*Збиральна рекристалізація* - процес зростання одних рівноосних зерен за рахунок зникнення інших шляхом поглинання при цьому дрібних. Збиральна рекристалізація відбувається після завершення первинної рекристалізації в процесі подальшого нагріву. Структура матеріалу в результаті такого процесу характеризується збільшенням розмірів зерен при зменшенні їх числа.

*Вторинна рекристалізація* - процес прискореного зростання окремих зерен, що приводить структуру матеріалу до різнозернистості. В результаті вторинної рекристалізації утворюється різнозерниста структура, яка є безліччю дрібних зерен і невеликим числом дуже крупних зерен. Вторинна рекристалізація приводить до погіршення механічних властивостей металів. При вторинній рекристалізації після високих ступенів попередньої деформації нерідко виникає *текстура рекристалізації*.

## Лекція 8.

### 9. Термічна обробка.

#### 9. 1. Загальна характеристика термічної обробки

*Термічна обробка* - обробка, що полягає в зміні структури і властивостей матеріалу заготовки унаслідок теплового впливу.

Основні *параметри термічної обробки* - температура нагріву, швидкість тривалість витримки при температурі нагріву і швидкість охолодження (рис.11).

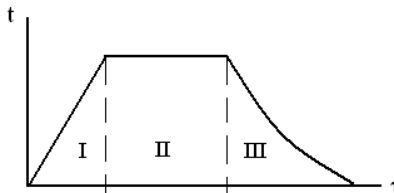


Рисунок 11. – Загальна схема термічної обробки: I – нагрівання, II - витримка, III – охолодження.

Вибір *температури нагріву* сплаву при конкретному виді термічної обробки визначається температурами фазових перетворень (наприклад, критичними температурами відповідної діаграми стану). Температура нагріву не повинна перевищувати температуру плавлення, щоб уникнути оплавлення поверхні.

*Швидкість нагріву* вибирається залежно від ряду чинників: теплопровідності матеріалу, форми і розмірів виробів, загальної маси виробів, що нагріваються, характеру їх розташування в печі і деяких інших.

*Тривалість витримки при заданій температурі нагріву* визначається швидкістю фазових перетворень. Витримка необхідна для повного завершення фазових перетворень і вирівнювання температури по всьому об'єму виробу.

*Швидкість охолодження* вибирається залежно від ступеня стійкості існуючої фази при даному хімічному складі, а також від структури і властивостей, що вимагаються.

Основними видами термічної обробки є *відпалювання, гартування, відпусцення і штучне старіння*.

Різновиди термічної обробки – *термомагнітна, електротермічна обробки, обробка холодом* і ін.

*Термомагнітна обробка* - різновид термічної обробки, що дозволяє поліпшити деякі магнітні властивості матеріалів в результаті охолодження виробів з них в магнітному полі.

*Електротермічна обробка* - різновид термічної обробки матеріалів з використанням електричного нагріву (індукційного, контактного і ін.). Дозволяє використовувати невеликі швидкості нагріву, а також нагрівати окремі ділянки виробу або тільки його поверхневий шар.

## **9. 2. Відпалювання. Види та характеристика**

*Відпалювання* - термічна обробка матеріалів (наприклад, металів, напівпровідників, скла), яка полягає в нагріві до певної температури, витримці і повільному охолодженні (3...200°С/год). Мета відпалювання - поліпшення структури і оброблюваності, зняття внутрішніх напружень, управління формою і розмірами зерен, текстурою і властивостями металів і сплавів і ін. Мікроструктура матеріалів в результаті відпалювання стає врівноваженою. Існує декілька технологічних видів відпалювання, які різняться режимами обробки і отриманою структурою.

*Рекристалізаційне відпалювання*. Ця обробка включає нагрів деформованих металів і сплавів до температур більше  $0,4 T_{пл}$  для технічно чистих металів і  $(0,5...0,6)T_{пл}$  для сплавів (твердих розчинів), витримку і повільне охолодження (з піччю). Її використовують для поліпшення структури і оброблюваності, зняття внутрішніх напружень. При рекристалізаційному відпалюванні практично повністю зникає наклеп і властивості матеріалу наближаються до їх початкових значень.

*Дифузійне відпалювання (гомогенізація).* Цей вид обробки проводять нагріванням до більш високих температур (наприклад, для сталі 1100 – 1200°С), тому що в такому разі більш повно протікають дифузійні процеси, які необхідні для вирівнювання складу сплаву. Подальше охолодження проводять в два етапи: спочатку з піччю, а далі на повітрі. Гомогенізація знешкоджує хімічну чи фізичну неоднорідність, знімає структурну ліквіацію, що виникають про попередніх обробках.

*Нормалізація (нормалізаційне відпалювання)* - вид термічної обробки, що полягає в нагріві деформованих металів і сплавів до температур вище за температурний поріг рекристалізації, витримці і охолодженні на повітрі для надання металу однорідної дрібнозернистої структури, що забезпечує підвищення пластичності і ударної в'язкості, а також забезпечує оптимальну оброблюваність.

### **9. 3. Гартування. Загальна характеристика**

*Гартування (гарт)* - термічна обробка матеріалів, що полягає в нагріванні і подальшому швидкому охолодженні з метою фіксації високотемпературного стану матеріалу або запобігання (усунення) небажаних процесів, що відбуваються при повільному охолодженні. В результаті гартування, як правило, утворюється не врівноважена структура.

*Температурний режим* гартування включає:

- нагрів сплаву до температури фазового перетворення;
- витримку при заданій температурі нагрівання;
- швидке охолодження (охолоджуючі середовища - вода, масло, розплавлені солі, повітря і ін.).

Область застосування гартування - матеріали (в основному, сплави), що мають перетворення в твердому стані (змінна розчинність, поліморфні перетворення твердих розчинів, розпад високо - температурного твердого розчину по евтектичній реакції і ін.).

Гартування істотно впливає на властивості матеріалів. Так в сплавах воно змінює фізичні, механічні і хімічні властивості: збільшуються міцність, крихкість, питомий електроопір, коерцитивна сила, зростає корозійна стійкість.

При гартуванні особливо сильно змінюються сплави, що зазнають в рівноважних умовах евтектоїдне перетворення. Міцність зростає або унаслідок мартенситного механізму фазового перетворення, або унаслідок пониження температури евтектоїдної реакції, що приводить до подібнення кристалів фаз, утворюючих евтектоїдну суміш.

#### **9. 3.1. Види та способи гартування.**

Існує декілька видів та способів гартування. Вони різняться технологією та температурним режимом нагрівання і охолодження, фазо-

вими та структурними змінами, характером дії та інше. Розрізняють об'ємне та поверхневе гартування.

Найбільш широке застосування отримало гартування в одному охолоджувачі – *безперервне* або *повне гартування*. Для невеликих деталей складної форми і при необхідності зменшення деформації використовують *ступінчасте* та *ізотермічне гартування* (рис. 12. а, б.).

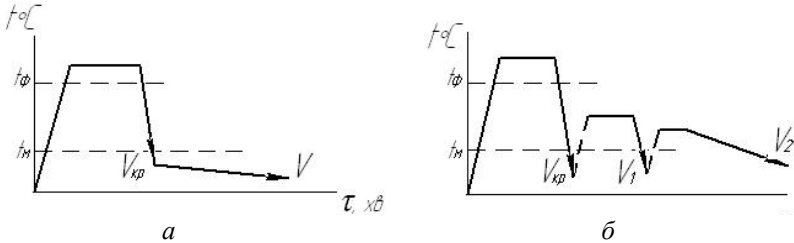


Рисунок 12. – Схеми гартування: а – ступінчасте, б – ізотермічне.

При ступінчастому гартуванні вироби після нагрівання спочатку коротко охолоджують з критичною швидкістю, а надалі на повітрі, при цьому вирівнюється температура по перерізу виробу, зменшуються об'ємні напруження, уникає можливість утворення гартувальних тріщин, викривлення форми. Ізотермічне гартування аналогічне і відрізняється не принципово.

Поверхневе гартування виробів, на відміну від об'ємного, дозволяє зміцнювати тільки поверхневий шар на певну глибину. Його можна проводити двома способами. В одному випадку нагрівають тільки поверхневий шар, який потім гартують при охолодженні. В іншому - нагрівають весь виріб, але при гартуванні охолоджують тільки поверхневий шар із швидкістю більше критичної. Поверхневе гартування здійснюють індукційним способом, струмом високої частоти, плазмовим чи лазерним променем.

#### 9. 4. Відпущення.

Термін "*відпущення*" звичайно використовують стосовно сталей і інших сплавів, що зазнають при гартуванні поліморфне перетворення (двофазна алюмінієва бронза, деякі сплави на основі титана та ін.).

Термін "*старіння*", частіше всього, використовують стосовно сплавів, що не зазнають при гартуванні поліморфного перетворення (сплави на основі алюмінію, аустенітні сталі, нікелеві сплави і ін.).

*Відпущення і штучне старіння* - термічна обробка загартованих сплавів (головним чином стали), що включає нагрівання нижче  $0,4 T_{нл}$ , витримку і охолодження. Швидкість охолодження не впливає на структуру і властивості сплавів. Мета - досягнення оптимального поєднання міцності, пластичності і ударної в'язкості.

При відпущенні і штучному старінні в задалегідь загартованих сплавах нагрів викликає процеси розпаду пересиченого твердого розчину (метастабільної фази), в результаті яких відбуваються фазові перетворення.

Відпущення і штучне старіння в 2...3 рази підвищують такі властивості сплаву як твердість, міцність, коерцитивну силу, питомий електричний опір і ін.

### **9.5. Термомеханічна обробка.**

Термомеханічна обробка – це сукупність операцій деформації, нагріву і охолодження, в результаті яких формування остаточної структури і властивостей матеріалу відбувається в умовах збільшеної щільності і оптимального розподілу дефектів будови, створених пластичною деформацією.

В залежності від температури, при яких здійснюють деформацію і температури рекристалізації металу розрізняють високотемпературну (ВТМО) і низькотемпературну (НТМО) термомеханічну обробку.

При ВТМО сплав нагрівають до температур фазових перетворень у твердий розчин і деформують зі ступенем пластичної деформації 30 – 50%. Після деформації одразу проводять гартування, щоб уникнути розвитку рекристалізації.

По другому способу НТМО, сплав деформують в температурній зоні нижчій за температуру рекристалізації і фазових перетворень, ступінь пластичної деформації складає 75 – 95%. Гартування проводять одразу після деформації і виконують обов'язкове низькотемпературне відпущення.

ТМО дозволяє одночасно отримати дуже високу міцність з забезпеченням гарної пластичності. Також при цьому підвищується ударна в'язкість, тріщиностійкість, знижується поріг холодноламкості і крихкості.

### **9.6. Хіміко-термічна обробка.**

*Хіміко-термічна обробка (ХТО)* – термічна обробка металів та сплавів в хімічно активних середовищах для зміни хімічного складу, структури і властивостей в поверхневих шарах.

Механізм ХТО включає:

- утворення в оточуючому середовищі (чи в окремому об'ємі) високої концентрації дифундуючого елемента в атомарному (іонізованому) стані;
- адсорбцію атомів (іонів) на поверхні матеріалу з утворенням хімічних зв'язків між іонами дифундуючого елемента і основного сплаву;
- дифузю адсорбованих атомів від поверхні в глибину оброблюваного матеріалу.

Концентрація активного елемента зменшується від поверхні в глибину металу. При цьому утворюється міцний легований поверхневий шар з поступовим переходом до основного металу.



Технологія ХТО найбільш результативна у випадку, коли дифундуючий елемент і основний метал взаємодіють з утворенням хімічних з'єднань чи твердих розчинів.

ХТО обробку металів класифікують: по виду дифундує чого елемента і по способу дифузійного насичення.

В залежності від насичуючого елемента виділяють такі види ХТО:

- цементація – насичення вуглецем – дозволяє збільшити працездатність виробів, що в процесі експлуатації витримують значні статичні, динамічні і перемінні навантаження а також абразивне зношення;
- азотування – азотом – підвищує твердість поверхневого шару (більш ніж цементація), його зносостійкість, границю витривалості і опір корозії в таких середовищах як пар, повітря, вода;
- нітроцементація – вуглецем і азотом одночасно;
- борірування – бором в певних середовищах – підвищує жаростійкість, корозійну стійкість, зносостійкість і твердість;
- силіціювання – кремнієм – збільшення корозійної стійкості в морській воді, азотній, сірчаній та соляній кислотах;
- алітірування – алюмінієм – для збільшення корозійної стійкості, та окалинотійкості;
- цинкування – цинком – для збільшення стійкості в атмосфері, воді, бензині та інших середовищах;
- нікелювання – нікелем – забезпечує підвищену стійкість проти газової корозії, окалинотійкості, високу корозійну стійкість та зносостійкість;
- хромування – хромом (аналогічно нікелюванню).

По способу дифузійного насичення застосовують:

- занурення в розплав;
- насиченням з розплавлених солей з електролізом чи без нього;
- насичення з сублімованої фази шляхом випаровування;
- насиченням з газової фази.

Хіміко-термічна обробка закладається в нагріванні виробів до заданої температури і твердому, газовому чи рідкому середовищі, що легко виділяє дифундуючий елемент в атомарному стані, витримці при цій температурі та охолодженні з визначеною швидкістю.

На відзнаку від термічної обробки ХТО змінює не тільки структуру, але й хімічний склад поверхневих шарів сплаву, що дозволяє в більш широких межах змінювати властивості сплавів.

Хіміко-термічна обробка дозволяє збільшити поверхневу міцність, твердість, опір поверхні ударним навантаженням, зносостійкість, корозійну стійкість, окалинотійкість, жаростійкість.

## РОЗДІЛ II. КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

### Лекція 9

#### 10. Загальна характеристика та класифікація металевих матеріалів.

*Метали* – прості речовини, які мають в звичайних умовах характерні властивості: високу електро- і теплопровідність, здатність відбивати електромагнітні хвилі, блиск, непрозорість, висока міцність та пластичність. Всім металам притаманний металевий тип хімічного зв'язку, який обумовлює кристалічну будову металів і наявність в кристалічних ґратках, не зв'язаних з атомними ядрами рухливих електронів, що забезпечує перелічені властивості. Слабкий зв'язок валентних електронів з атомами обумовлює хімічні властивості металів: вони легко утворюють основні окисли, солі, заміщують водень в кислотах та інше.

Металеві сплави в основі мають один чи більше металів, тому для них характерні ті ж властивості, що й для металів.

Метали і сплави в промисловості поділяють на дві основні групи: *чорні* та *кольорові*.

До *чорних металів* відносять сплави на основі заліза з різними хімічними елементами, а також кобальт, нікель і близький до них по властивостям марганець. Використання чорних металів широко розповсюджене, що зумовлено їх високим вмістом в земній корі, його невисокою вартістю, гарним поєднанням механічних і технологічних властивостей.

*Кольорові метали* більш різні за властивостями тому їх поділяють на:

- легкі метали, які мають невисоку щільність ( $\gamma \leq 5000 \text{ кг/м}^3$ ): Be, Mg, Al, Ti;
- тугоплавкі метали, з температурою плавлення більше ніж у заліза ( $1539^\circ\text{C}$ ): Ti, Cr, Zr, Nb, Mo, W, V;
- благородні метали – мають хімічну інертність: Ph, Pd, Pt, Ag, Au, Os;
- уранові метали – актиноїди, використовують в атомній техніці: U, Th, Pa;
- рідкоземельні метали – лантаніди, використовують як присадку до сплавів: Ce, Pr, Nd, Sm;
- лужні метали, використовують як теплоносії чи каталізатори хімічних процесів: Li, K, Ca, Na.

#### 11. Залізовуглецеві сплави.

##### 11.1. Компоненти системи сплавів Fe – Fe<sub>3</sub>C та їх характеристика.

Основні компоненти залізовуглецевих сплавів це залізо (Fe) і вуглець (C).

Залізо (Fe) – метал білого кольору з сильно виявленими феромагнітними властивостями. Щільність заліза –  $7800 \text{ кг/м}^3$ . Міцність невисока  $\sigma_{\text{т.о.}} = 200\text{...}250 \text{ МПа}$ , твердість HB =  $60\text{..}80 \text{ МПа}$ , пластичність гарна  $\delta = 40\text{..}50\%$ . При нормальній температурі залізо має ОЦК решітку, але при збільшенні температури до  $768^\circ\text{C}$  (точка Кюрі) втрачає магнітні властивості. Втрата ця не пов'язана з перебудовою атомів у кристалічній решітці, однак ОЦК реші-

тка при цьому зберігається. Щоб відрізнити магнітне  $Fe_{\alpha}$  від немагнітного, немагнітне іноді називають  $Fe_{\beta}$ . Залізо при зміні температури набуває поліморфних перетворень. При температурі  $911^{\circ}C$   $Fe_{\beta}$  перетворюється в  $Fe_{\gamma}$  з ГЦК решіткою. При температурі  $1392^{\circ}C$  ГЦК решітка знову перетворюється в ОЦК. Цю модифікацію на відміну від низькотемпературної ОЦК решітки називають  $Fe_{\delta}$ . При температурі  $1539^{\circ}C$  залізо плавиться.

Критичні точки (температури), які відповідають фазовим перетворенням у залізі, мають спеціальні позначення. Так, температуру магнітного перетворення  $Fe_{\alpha} \rightarrow Fe_{\beta}$  позначають через  $A_2$ , температуру перетворення  $Fe_{\beta} \rightarrow Fe_{\delta}$  - через  $A_3$  а температуру перетворення  $Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\delta}$  - через  $A_4$ . Крім того, коли йдеться про перетворення при нагріванні, то до позначення критичної точки додають індекс  $c$  ( $A_{C2}$ ,  $A_{C3}$ ) а при перетвореннях, що відбуваються при охолодженні, - індекс  $r$  ( $A_{r2}$ ,  $A_{r3}$ ). Додавання до заліза інших компонентів зміщує положення критичних точок.

*Вуглець* (C) – це неметал з температурою плавлення  $3500^{\circ}C$ . Із залізом він утворює тверді розчини або хімічні сполуки, а в певних умовах може виділятися у вигляді графіту.

## 11.2. Діаграма стану залізобуглецевих сплавів. Характеристика фазового складу.

Гранична розчинність вуглецю в  $Fe_{\alpha}$  при нормальній температурі ( $20^{\circ}C$ ) не перевищує  $0,006\%$ , а при  $t = 723^{\circ}C$  граничний вміст вуглецю становить  $0,02\%$ . Такий розчин є практично чистим залізом. Називають його *ферит* (Ф). Міцність фериту  $\sigma_{т.о.} = 250..300$  МПа, твердість  $80..90$  НВ, відносне видовження  $\delta = 30..40\%$ , відносне звуження  $\psi = 80\%$ .

Твердий розчин вуглецю в  $Fe_{\gamma}$  називається *аустеніт* (А). Розчинність вуглецю в аустеніті з підвищенням температури збільшується від  $0,8\%$  ( $727^{\circ}C$ ) до  $2,14\%$  ( $1147^{\circ}C$ ). Аустеніт немагнітний і має підвищену порівняно з феритом пластичність. Твердість аустеніту НВ =  $160..200$  МПа

Залізо з вуглецем утворює ряд хімічних сполук. З них практичне значення має карбід  $Fe_3C$ , який містить  $6,67\%$  C. Цей карбід називають *цементит* (Ц). Цементит досить твердий ( $\sim 800$  НВ), але крихкий, міцність на розтяг  $\sigma_{т.о.} \sim 40$  МПа. Температура плавлення близько  $1250^{\circ}C$ , при нормальній температурі цементит існує довго, а при  $t \geq 950^{\circ}C$  розпадається на залізо і графіт. Цементит є метастабільною фазою і на діаграмі стану зображується вертикальною лінією.

Отже, фазами в залізобуглецевих сплавах можуть бути *ферит*, *аустеніт*, *цементит* і *графіт*.

Діаграма стану системи сплавів  $Fe - Fe_3C$  побудована в межах концентрації вуглецю від  $0$  до  $6,67\%$ , тобто до утворення першої хімічної сполуки - карбиду заліза  $Fe_3C$ . Обмеження діаграми стану залізобуглецевих сплавів таким складом зумовлюється тим, що практично сплави цієї системи містять вуг-

лецю менш як 5 %. Отже, компонентами залізовуглецевих сплавів можна вважати залізо (ферит) і цементит. Тому цю частину діаграми стану таких сплавів називають ще діаграмою залізо - цементит (Fe - Fe<sub>3</sub>C) (рис.13).

Сплави заліза з масовою часткою вуглецю до 4,3 % починають тверднути на відрізку AC лінії ліквідус, виділяючи кристали твердого розчину аустеніту, а з масовою часткою вуглецю понад 4,3 % - на відрізку CD лінії ліквідус, виділяючи кристали цементиту. Остаточо сплави тверднуть на лінії солідус AECF.

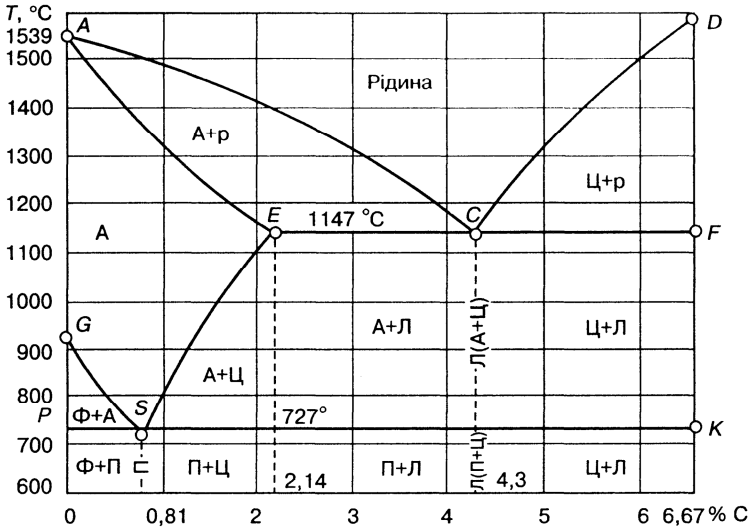


Рисунок 13. – Діаграма стану сплавів залізо – цементит (Fe – Fe<sub>3</sub>C)

Одразу після твердіння сплави, що лежать ліворуч від точки E (2,14% C), є однорідними і складаються з зерен аустеніту, а ті, що містяться праворуч від точки E, становлять механічну суміш із зерен аустеніту і цементиту. При цьому в сплаві з концентрацією 4,3 % вуглецю (точка C) утворюється однорідна евтектична суміш, яку називають *ледебурит* (Л).

Отже, точка E поділяє діаграму стану залізовуглецевих сплавів на дві частини. Сплави ліворуч від цієї точки тверднуть відповідно до лінії AE і після затвердіння мають однорідну структуру, що складається з зерен аустеніту. Ці сплави називають *сталями*. Внаслідок однорідності структури сталі мають високу пластичність, яка дає змогу обробляти їх тиском (куванням, прокатуванням).

У сплавах, що містяться праворуч від точки E, кристалізація закінчується при сталій температурі 1147 °C (лінія ECF) з утворенням евтектики - ледебуриту. Ці сплави називають *чавунами*. Наявність крихкої та більш легкоплавкої евтектики не дає змоги обробляти чавуни тиском, проте поліпшує їхні ливарні властивості.

Остаточна структура сталей і чавунів, що її спостерігають при нормальній температурі, зумовлюється рядом перетворень у твердому стані, які відбуваються при температурах, що відповідають лініям *CS*, *SE* і *PSK* діаграми стану залізовуглецевих сплавів.

### 11.3. Структура сталей.

Починати розгляд перетворень у сталях у твердому стані зручніше із сталі, яка зазнає одного перетворення в точці *S* при температурі 727 °С. При охолодженні до точки *S* ця сталь складається з зерен аустеніту. В точці *S* відбувається поліморфне перетворення  $Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\alpha}$ . Оскільки розчинність вуглецю в  $\alpha$ -залізі дуже обмежена, то при перетворенні він виділяється у зв'язаному стані - у вигляді цементиту. В результаті в сталі замість аустеніту утворюється дрібнодисперсна ферито-цементитна суміш пластинчастої будови, яку називають *перлітом* (*П*) (рис. 14 б). При подальшому охолодженні до кімнатної температури структура перліту не змінюється. На відміну від евтектики, утворюваної при твердінні рідини, суміш, що утворюється при розпаданні твердого розчину, називають *евтектоїдом*. Евтектоїд у залізовуглецевих сплавах утворюється при сталій температурі 727 °С ( $A_{r1}$ ) незалежно від масових співвідношень компонентів. Тому лінію *PSK* називають *лінією евтектоїдного перетворення*, сталь із структурою евтектоїда (перлітом) - евтектоїдною, або перлітною, а точку *S* - евтектоїдною точкою. Відповідно до цього сталі, що лежать ліворуч від точки *S* називають *доевтектоїдними*, а праворуч - *заевтектоїдними*.

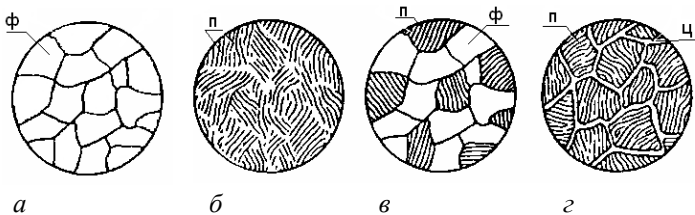


Рисунок 14. – Схеми мікроструктур сталей: а – ферит, б – евтектоїдна, в – доевтектоїдна, г – заевтектоїдна.

У доевтектоїдних сталях при температурах, що відповідають лінії *GS* (геометричному місцю точок ( $A_{r3}$ ), починається перекристалізація і утворюється ферит. Тому при подальшому охолодженні концентрація вуглецю в аустеніті підвищується і в точці  $A_{r1}$  (лінія *PSK*) досягає евтектоїдної, тобто 0,8 %. У цих умовах аустеніт розпадається з утворенням перліту. Ферит при цьому не зазнає перетворень (рис. 14, а). Очевидно, що з підвищенням вмісту вуглецю кількість перліту в доевтектоїдних сталях збільшуватиметься, а фериту - зменшуватиметься. При масовій частці 0,8 % С в структурі сталі буде один перліт (рис. 14, б).

Перетворення аустеніту в заевтектоїдних сталях починається на лінії  $SE$  граничної розчинності вуглецю (місці критичних точок  $A_{cm}$ ). При цій температурі з аустеніту починає виділятися надлишковий вуглець у вигляді збагаченої ним фази - цементиту. При подальшому охолодженні кількість цементиту, що виділилася, збільшується, тому концентрація вуглецю в аустеніті зменшується і в точці  $A_{r1}$  (лінія  $PSK$ ) досягає евтектоїдної. Залишок аустеніту перетворюється при цій температурі на перліт.

Отже, структура повільно охолоджених заевтектоїдних сталей складається також із двох структурних складових (рис. 14, з) цементиту у вигляді світлої сітки і перліту. З підвищенням вмісту вуглецю кількість цементиту (товщина сітки) в заевтектоїдних сталях збільшується.

#### 11. 4. Структура чавунів.

Кристалізація чавунів закінчується при температурі  $1147^{\circ}C$  утворенням евтектики. Тому лінію  $ECF$  називають *лінією евтектичного перетворення*.

Структура чавуну з 4,3 % вуглецю відразу після затвердіння (точка  $C$ ) складається з однорідної аустенітно - цементитної евтектичної суміші - *ледебуриту*. При подальшому охолодженні з аустеніту (як в заевтектоїдній сталі) виділяється цементит. Через це аустеніт збіднюється вуглецем і, досягнувши при температурі  $727^{\circ}C$  евтектоїдної концентрації, розпадається з утворенням перліту. Тому ледебурит при нормальній температурі складається з перліту і цементиту (рис. 15, а). Чавун із такою структурою називають *евтектичним*, а точку  $C$  - *евтектичною точкою*. Відповідно до цього чавуни, що містяться ліворуч від точки  $C$ , називають *доевтектичними*, а праворуч - *заевтектичними*.

Доевтектичні чавуни починають тверднути на лінії  $AC$  випаданням кристалів аустеніту. Тому в міру зниження температури рідка частина сплаву збагачується вуглецем і при  $1147^{\circ}C$ , досягнувши евтектичної концентрації, тобто 4,3 %, твердне з утворенням евтектики (ледебуриту). При подальшому охолодженні первинний аустеніт і аустеніт ледебуриту при температурі  $727^{\circ}C$  перетворюються на перліт. Тому доевтектичні чавуни при нормальній температурі складаються з перліту і ледебуриту (рис.15, б). У заевтектичних чавунах твердіння починається виділенням кристалів цементиту, який при охолодженні не зазнає ніяких перетворень. Тому після затвердіння ці чавуни складаються з кристалів цементиту і ледебуриту (рис. 15, в).

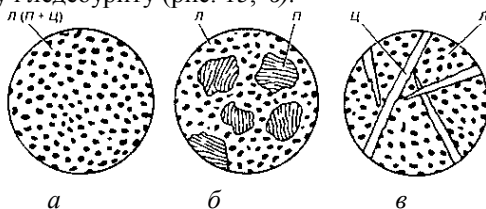


Рис. 15 – Схеми мікроструктур білих чавунів

У розглянутих чавунах увесь вуглець перебуває в зв'язаному стані у вигляді карбїду заліза  $Fe_3C$ . Такі чавуни на зламі мають білий відтінок, тому їх називають *білими*. Через високу твердість і збільшену крихкість, зумовлену великою кількістю цементиту в них, білі чавуни важко обробляти тому в практиці їх застосування обмежене, їх використовують в металургії сталі.

За деяких умов, які визначаються швидкістю охолодження, хімічним складом або термічною обробкою, карбід заліза в чавуні може розпадатися з утворенням графіту. Чавуни, у яких частина вуглецю перебуває у вільному стані у вигляді графіту називають половинчастими. Структури цих чавунів діаграма стану не відбиває.

## Лекція 10

### 12. Сталі.

*Сталю* називають сплав заліза з вуглецем, постійними домішками та іншими компонентами. Вміст вуглецю в сталях не перебільшує 2, 14%.

#### 12.1. Вплив вуглецю та домішок на властивості сталі та чавуну.

*Вуглець* визначає кількість цементиту, що саме в основному впливає на зміну вмісту основних структурних складових фериту і цементиту. При збільшенні вуглецю до 1,2% зростають міцність, твердість, поріг холодноламкості, границя текучості, електроопір та коерцитивна сила. При цьому знижується щільність, теплопровідність, в'язкість, пластичність. Подальше зростання вмісту вуглецю значно збільшує крихкість сплаву. Ці зміни властивостей призводять до погіршення ряду технологічних властивостей, а саме деформує мості, зварюваності та прогартованості тощо.

Постійні домішки є обов'язковими компонентами сталі та сплавів, які входять до хімічного складу під час виплавляння. До постійних домішок в сталях та чавунах відносять марганець, кремній, сірку, фосфор, а також кисень, водень і азот. Ці домішки можуть перебувати в вигляді твердих чи газових фаз.

*Марганець* вводять для розкислення (видалення надлишків кисню) та усунення шкідливого впливу сірки. Як домішки вміст Mn не перебільшує 0,8%. Він розчиняється в фериті ( $Fe_\alpha$ ) і помітно підвищує міцність не знижуючи пластичності, однак збільшує крихкість при високих температурах.

*Кремній* теж додають у сплав при виплавці для розкислення. Його вміст не перебільшує 0,4%. Кремній збільшує границю текучості, що зашкоджує холодному пластичному деформуванню.

*Сірка* є шкідливою домішкою, вона практично не розчинюється в сплаві, залишаючись у виді крихких сульфідів  $FeS$ ,  $MnS$  по границям зерен. Це суттєво знижує механічні і фізико-хімічні властивості, а саме пластичність, ударну в'язкість, опір стиранню, корозійну стійкість. Збільшення сірки

спричиняє краснотамкість, зварюваність тощо. Тому вміст сірки суворо обмежується і не перебільшує 0,06%.

*Фосфор* теж є шкідливою домішкою. Розчинюючись в сплаві він сильно викривляє кристалічні ґратки і кристалічну ліквіацію, визиває зростання зерен і металі. Це суттєво збільшує крихкість, холодноламкість і знижує пластичність і в'язкість. Кількість фосфору не перебільшує 0,07%.

*Кисень* та *азот* розчиняються в незначній кількості і забруднюють сплав неметалевими включеннями (оксидами, нітридами, газовою фазою). Вони визивають анізотропію механічних властивостей, збільшуючи крихкість, ламкість, знижуючи пластичність, в'язкість, корозійну стійкість. В деяких сталях збільшена кількість азоту визиває деформаційне старіння, зміцнюючи їх.

*Водень* робить сплав значно крихкішим і утворює флокени (дуже тонкі тріщини), які ініціюють процес руйнування. Такий сплав використовувати не можна.

## 12.2. Вплив легуючих елементів на властивості сталей і сплавів.

*Легуючі елементи* – це спеціальні, штучно введені добавки, які змінюють властивості сплаву в потрібному напрямку. Легування сталей використовують для покращення їх механічних та технологічних властивостей.

Вплив легуючих елементів на властивості сталі наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. –

Вплив легуючих елементів на основні властивості сталі

Характер впливу або властивість	Ni	Cr	Mn	Si	W	Mo	V	Ti	Nb	Cu
Схильність до утворення карбідів	-	+	+	-	++	++	++	++	++	-
Схильність до утворення фериту	++	--	-	+	--	-	-	--	-	+
Схильність до збільшення зерна	+	--	+	-	-	-	-	--	--	+
Міцність	++	+	+	+	+	+	+	++	+	+
Пластичність	+	-	-	-	-	0	+	+	+	+
Пружність	-	+	+	++	--	-	-	-	-	-
Прогартованість	++	++	++	+	++	++	+	-	-	+
Зносостійкість	+	++	++	+	+	+	0	+	+	+
Тріщиностійкість	0	--	+	-	-	-	+	--	-	++
Жаростійкість	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+
Корозійна стійкість	+	++	-	++	+	+	0	+	+	+
Холодостійкість	++	+	+	-	+	++	+	+	+	+
Рідкотекучість	0	--	+	-	-	-	+	--	-	++
<i>Умовні позначення:</i> + збільшує, ++ сильно збільшує, - зменшує, -- значно зменшує, 0 – не впливає.										

Легуванням можна підвищити границю текучості, ударну в'язкість, міцність, пластичність, корозійну стійкість, прогартованість.



### 12.3. Загальна класифікація сталей

Кожному інженеру абсолютно необхідно знати класифікацію і маркування матеріалів, призначених для виготовлення деталей машин і конструкцій. До числа таких матеріалів відносяться метали та їх сплави, металеві і металокерамічні порошки, пластмаси, гума, скло, кераміка, деревна і неметалеві речовини. Найширше розповсюдження як конструкційні матеріали в даний час отримали сталі та чавуни.

Сталі, класифікують на групи за такими ознаками:

- по хімічному складу;
- по якості (по способу виробництва, по ступеню розкислення та вмісту шкідливих домішок);
- за призначенням.

По *хімічному складу*. В залежності від кількості вуглецю сталі поділяють на:

- безвуглецеві, вміщують менше 0,01% С;
- низько вуглецеві, тобто містять вуглецю менше 0,25%;
- середньо вуглецеві, вміст вуглецю складає 0,25 - 0,60%;
- високо вуглецеві, в яких концентрація вуглецю перебільшує 0,60%

Залежно від хімічного складу розрізняють сталі вуглецеві (ГОСТ 380-71, ГОСТ 1050-75) і леговані (ГОСТ 4543-71, ГОСТ 5632-72, ГОСТ 14959-79).

У свою чергу леговані сталі можуть бути:

- низьколеговані - вміст легуючих елементів до 2,5%;
- середньолеговані, в їх склад входять від 2,5 до 10% легуючих елементів;
- високолеговані, які містять понад 10% легуючих елементів.

У залежності від хімічного складу сталі поділяють на структурні класи: доевтектоїдні та заевтектоїдні; феритні, мартенситні та аустенітні (для легованих сталей).

По *якості*. Залежно від вмісту шкідливих домішок: сірки і фосфору – сталі підрозділяють на:

- сталі *звичайної якості* (група А) – вміщують не більше 0,06% сірки і до 0,07% фосфору. Сталі звичайної якості є найбільш дешевими і уступають по механічним властивостям сталям інших класів, тому що мають збільшену ліквіацію і кількість неметалевих включень. Їх використовують для невідповідальних деталей.
- *якісні* сталі (група Б) – до 0,035% сірки і фосфору кожного окремо. Якісні сталі по хімічному складу вуглецеві або леговані виплавляються киснево-конверторним або мартенівським способом з дотриманням жорстких вимог до хімічного складу, умов плавлення і розливання. Їх використовують для більшості деталей машин і конструкцій.
- *високоякісні* сталі (група В) – до 0,025% сірки і фосфору кожного.
- *особливо високоякісні* (група Г) – до 0,025% фосфору і до 0,015% сірки. Високоякісні сталі виплавляються в більшості в електричних печах, а особливо високоякісні з переплавленням, що гарантує високу чистоту,

точний хімічний склад і покращення механічних властивостей, однак ці сталі дорогі. Їх використовують для відповідальних деталей та в спеціальних галузях промисловості.

По *способу виробництва* якісні та сталі звичайної якості в залежності від розкислення поділяють на *спокійні* (сп) – повністю розкислені; *киплячі* (кп) – не розкислені та *напівспокійні* (пс) – розкислені частково. Під розкисленням сталі розуміють процес видалення з розплаву розчинених газів та газових домішок, що погіршує якість сталі.

*За призначенням* сталі поділяють на:

- конструкційні, призначені для виготовлення будівельних і машинобудівних виробів.
- інструментальні, з яких виготовляють ріжучий, вимірювальний, штамповий і інші інструменти. Ці сталі містять більше 0,65% вуглецю.
- з особливими фізичними властивостями, наприклад, з певними магнітними характеристиками або малим коефіцієнтом лінійного розширення: електротехнічна сталь, суперінвар.
- з особливими хімічними властивостями, наприклад, неіржавіючі, жаростійкі або жароміцні сталі.

## Лекція 11

### 12.4. Характеристика сталей за призначенням

Загальні споживчі властивості вимагають від сталей певного комплексу механічних властивостей, які б забезпечували тривалу і надійну роботу матеріалу в умовах експлуатації і гарних технологічних властивостей. Необхідні технологічні та споживчі властивості, в основному, забезпечуються раціональним вибором хімічного складу, відповідною термічною обробкою і зміцненням. Як зазначено раніше за хімічним складом сталі поділяють на вуглецеві та леговані. З врахуванням призначення можна виділити конструкційні вуглецеві та конструкційні леговані сталі і відповідно інструментальні вуглецеві та інструментальні леговані. Далі дамо характеристику цих сталей.

#### 12.4.1. Конструкційні вуглецеві сталі.

Ці сталі характеризуються високою пластичністю, зварюваністю, Вони використовуються без зміцнення термічною обробкою для невідповідальних цілей, чи зі зміцненням – для відповідальних деталей. В цих сталях міцність зростає пропорційно збільшенню вмісту вуглецю (числа в марці сталі).

Сталі звичайної якості (ГОСТ 380 – 88) зазвичай використовують для виготовлення гарячекатаного рядового прокату: балки, куточки, швелери, двотаври, листи, дріт; клепані та болтові конструкції будівництва, деталі кроквяних конструкцій; мало навантажені деталі машин: сталі марок Ст2, БСт2, ВСт5 і т.п.

Якісні вуглецеві сталі (ГОСТ 1050 – 74) в залежності від кількості вуглецю ці сталі застосовують:

- низьковуглецеві для виготовлення холодно штампованих деталей, болтів, гвинтів, гайок, пальців, валиків, крюків, метизів тощо: сталі марок 05, 10, 15, 20;
- середньовуглецеві – для виготовлення деталей, до яких ставляться вимоги високої міцності і в'язкості (осі, вали, гвинти, втулки, колінчасті вали, шайби), тому їх використовують після нормалізації, покращення, поверхневого гартування сталі марок 30, 35, 45, 50;
- високовуглецеві – мають збільшену міцність, зносостійкість і пружні властивості, однак вони не стійкі до динамічних і ударних навантажень. Їх використовують після гартування з відпущенням або нормалізації для деталей, що працюють в умовах тертя, вібрації: прокатні валки, кранові колеса, диски зчеплення, клапани компресорів: сталі марок 60, 65, 80.

#### **12.4.2. Інструментальні вуглецеві сталі.**

Ці сталі характеризуються високою твердістю, міцністю, зносостійкістю, але мають невисокий опір деформаціям. Вони випускаються якісними і високоякісними. З цих сталей виготовляють дрібний інструмент який не має теплостійкості.

Ці сталі називають ще слюсарними (для молотків, долота, зубил, стамесок, пилок), вони більш пластичні: сталі марок У7, У8, У8А.

Для дрібного інструменту фрез, свердел, мітчиків, різців по м'якому металу та деревині, вимірювального інструменту застосовують сталі марок У10, У11, У10А. Сталі У12, У13, У13А використовують для інструменту, що працює буз ударних навантажень (напилки, рашпілі, бритви пили тощо).

#### **12.4.3. Конструкційні леговані сталі.**

В залежності від комплексу легуючих елементів конструкційні леговані сталі набувають певних властивостей, що визначаються впливом легуючих елементів. З цією ознакою леговані сталі поділили на декілька груп, що визначають переважну галузь використання.

- *конструкційні будівельні низьколеговані* сталі (ГОСТ 19281 – 73, ГОСТ 19282 – 72). Ці сталі мають невисоку границю міцності, твердість, але добре відносно подовження, в'язкість і високу зварюваність, штампованість, ливарність. Воно вміщують  $\leq 0,22\%C$  і незначно леговані Mn, Si, Cr, Ni, Cu. Метою легування є збільшення прогартуваності і часткове зміцнення. Ці сталі використовують для зварених металоконструкцій, армування залізобетону, листового та профільного прокату, тросів, канатів, цвяхів: сталі марок 12НЗА, 14Г2, 16ГС, 15ХСНД, 14Г2АФ, 25Х2ГНТРА .
- *штамповані машинобудівельні* сталі (ГОСТ 9045 – 80). Ці сталі мають низьку границю текучості, високе відносне подовження, низьку твер-

дість. В них обмежений вміст вуглецю (0,12%) і кремнію. Їх частіше легують V(0,02 – 0,04%), Al (0,02 – 0,07%), Cr, Mn. З цих сталей листовим штампуванням, витяжкою, волочінням виготовляють деталі автомобільної промисловості, обшивки вентиляторів, короби тощо: сталі марок 08Ф, 09Г2С, 10Г2Ф, 08Ю, 12ХМ.

- *машинобудівельні цементовані* сталі (ГОСТ 4543 – 71). Ці сталі використовують із зміцненням хіміко-термічною обробкою цементуванням, ціануванням. Вміст вуглецю складає 0,15 – 0,25%. Сталі низько леговані Cr, Ni, Mn, Si, Ti, V. Початково пластичні і в'язкі сталі внаслідок ХТО набувають твердості, міцності і зносостійкості поверхневого шару і мають високу стійкість до ударних навантажень. З цих сталей виготовляють зубчасті колеса, розподільчі вали, копіри, гільзи, гідро циліндри, поршневі пари: сталі марок 18ХГТ, 20ХГР, 25ХГМ, 20Х, 18Х2Н4ВА.
- *машинобудівельні покращувані* сталі (ГОСТ 4543 – 71). Це середньо вуглецеві сталі (0,3 – 0,5%С) леговані Cr, Ni, Mn, Si, Ti. Їх використовують для відповідальних деталей машин після термічної обробки – покращення (гартування + високотемпературне відпущення), що дає оптимальне поєднання міцності, в'язкості і пластичності. З цих сталей виготовляють колінчасті вали, вали двигунів (шатуни), редукторів, штоки, деталі турбін, компресорів: сталі марок 30Х, 40ХН, 30ХГСА, 40ХФА, 38ХМЮА.
- *автоматні* сталі (ГОСТ 1414 – 75). Ці сталі мають збільшену оброблюваність різанням на верстатах, бо збільшений вміст сірки і фосфору забезпечує підвищену крихкість зрізаної стружки, забезпечуючи високу чистоту поверхні. Однак механічні властивості цих сталей невисокі, і тому їх використовують для невідповідальних деталей масового попиту (шайби, гравери, шпильки, згони, та інше): сталі марок А1, А30, А20СГ, АЦ45Х, А40Г.
- *пружні* сталі (ГОСТ 14959 – 79). Це середньо вуглецеві сталі (0,6 – 0,8%С), низьколеговані Mn, Si, Cr, Ni. Вони мають високу границю пружності, опір малим деформаціям, релаксаційну здатність при достатній в'язкості і пластичності. Виготовляють з цих сталей різні пружини, ресори, демпфери: сталі марок 65Г, 60С2, 60С3ФА, 70С2ХА.
- *особливо високоміцні і в'язкі* сталі. По хімічному складу це без вуглецеві ( $\leq 0,03\%C$ ), складно і високо леговані (до 20 % Ni, 10% Co, Mo, Ti). Вони є особливо високоякісними і дуже дорогими, тому їх використовують для деталей особливого призначення і якості: хімічної апаратури, теплоенергетичних установок, деяких штамтів. Вони мають також високу корозійну, жаро і холодностійкість: сталі марок Н18 К9М5, Н4Х12К15Т, 03Н10Х11М2Т, Н18К8М5Т.
- *корозійностійкі* сталі (ГОСТ 5632 – 72). Мають високу стійкість до хімічної корозії за рахунок легування Cr (~ 10 – 17%), Ni (до 10%). Вміст вуглецю може бути різним. Застосовують для деталей, що працюють в агресивних середовищах (вода, пар, розчини кислот та лугів) гідравліч-

- ного, теплоенергетичного обладнання, лопатки турбін, труби, карбюратори: сталі марок 12X13, 20X17H2, 95X18, 09X15H8Ю, 10X17H13M3Т.
- *Жаростійкі, теплотривкі* сталі (ГОСТ 20072 – 74). Це окалиностійкі сталі, температурний інтервал експлуатації яких перебільшує 550°C. Вони також опираються хімічній корозії і повинні мати високу границю повзучості і тривалої міцності. Жаростійкі сталі використовують для виготовлення труб, клапанних, деталей паро- і газотурбінних двигунів. Ці сталі поділяють по температурі експлуатації: I група – 400..550°C: 15ХМ, 25Х2М1Ф, II група – 500..650°C: сталі марок 40Х10С2М, 30Х13Н7С2МФ.
  - *кріогенні* сталі (ГОСТ 5632 – 72). По хімічному складу є низько вуглецеві (~0,1%С) і високолеговані Cr, Ni, Mn, Si, Ti. Особливість цих сталей висока пластичність і в'язкість, які не змінюються при зниженні температури до -296°C. Їх використовують для деталей холодильних установок, кріогенного обладнання: сталі марок 08Х18Н10, 12Х18Н10Т, 03Х20Н16АГ6, 0Н6А.
  - *зносостійкі* сталі (ГОСТ 5635 – 72). Ці сталі або безвуглецеві або високовуглецеві (1,1..1,3%С). Висока стійкість цих сталей до абразивного тертя та ударних навантажень визначається значною кількістю марганцю ( $\geq 10\%$ ). Зносостійкі сталі використовують для виготовлення лопастей гідротурбін, відцентрових гідронасосів, хрестовин рейок, дробилок, ковшів екскаваторів, робочих органів гірничих машин, траків: сталі марок 0Х14Г12, 03Х1Г10, 110Г13, Г13.
  - *шарикопідшипникові* сталі (ГОСТ 801 – 78). Це високовуглецеві сталі (0,95..1,05%С) і низьколеговані Mn, Si, Cr. За чистотою це особливо високоякісні сталі. Їх використовують для деталей підшипників кочення: кілець, роликів, кульок: сталі марок ШХ4, ШХ15СГ, ШХ9Ш. ШХ15ВД.
  - *ливарні* сталі (ГОСТ 977 – 88, ГОСТ 2176 – 77). Відзначаються ці сталі низькою ліквациєю, усадкою, утворенням дрібного рівноосного зерна при кристалізації, високою рідко текучістю. Ці сталі мають більшу кількість домішок. З них виготовляють крупно габаритні виливки вагонеток, вагонів, суден, тракторів: сталі марок 15Л, 30Л, 45Л, 35ХГСЛ, 08ГДНФЛ.

#### 12.4.4. Інструментальні леговані сталі.

Інструментальні сталі призначені для виготовлення оброблювального чи вимірювального інструменту. Основними споживчими властивостями інструментальних легованих сталей є висока твердість, зносостійкість і міцність при високій (500..800°C) теплостійкості. При цьому вони повинні володіти прогартованістю, малими об'ємними змінами, штампованістю, оброблюваністю. Такі особливості надаються сталям карбідними фазами легуючих елементів W, Mo, V, Ti, Co, Cr, Mn. Леговані інструментальні сталі за призначенням поділяють на групи:

- *штампові* сталі підвищеної в'язкості (ГОСТ 5950 – 73). Вміщують 0,6..0,75%С, леговані Mn, Cr, Si, V. Їх поділяють на сталі штампів холод-

ного і гарячого деформування: сталі марок 5ХНМ, 5ХЗВЗМФС, 7ХГ2ВМ, 6Х6ВЗМФС;

- *швидкорізальні* сталі (ГОСТ 19265 – 73). Високі різальні властивості забезпечуються вмістом вуглецю  $\sim 0,8...1,25\%$  і легуванням вольфрамом. З цих сталей виготовляють різці, фрези, свердла: сталі марок Р18, Р9, Р6М5, Р9М4К8, В11М7К23;
- інструментальні сталі *високої твердості* (ГОСТ 1435 – 74). Це високо вуглецеві (0,7..1,35%С) і низьколеговані Mn, Si, Cr, Ni та інші, сталі для тонкого, малого перерізу різального інструменту: сталі марок ХВГ, Х12, 9ХС, Х6ВФ;
- інструментальні сталі для *вимірювального інструменту*: калібрів, шаблонів, плиток. Повинні мати високу твердість, зносостійкість, збереження постійності розмірів: сталі марок Х, ХВГ, Х12Ф1.

#### 12.4.5. Сталі спеціального призначення.

Сталі і сплави спеціального призначення часто називають прецизійними, тобто з особливими магнітними, електричними, тепловими, пружними властивостями, чи рідким сполученням властивостей, рівень яких в значній мірі обумовлений точністю хімічного складу, ретельністю отримання і обробки. Як конструкційні матеріали найбільш поширені сталі:

- з заданим коефіцієнтом лінійного розширення;
- з високим електроопором;
- магнітні.

Сталі з *високим коефіцієнтом лінійного розширення* (ГОСТ 109994 – 74) призначені для деталей, які впаюють у скляні та керамічні корпуси вакуумних приладів. Це сплави системи Fe+Ni+Co+Cu. Представниками цієї групи сталей є ковар (29НК, 29% Ni, 18% Co, залишок – Fe), інвар (36% Ni,  $\leq 0,05\%$ С, залишок – Fe). Для інших приладів, де при роботі в змінних високо-температурних умовах необхідна особлива точність розмірів, використовують сталі марок 18ХТФ, 18ХМТФ.

Сталі з *високим електроопором* (ГОСТ 109994 – 74) мають електроопір в десятки разів вищий, ніж у вуглецевої сталі, і високу жаростійкість (до 1350°C). При цьому вони повинні мати високу пластичність, яка б забезпечувала гарну деформованість та оброблюваність. Це сплави системи Fe+Cr+Al – *фехраль* (Х13Ю4); Fe+Ni+Cr – *хромель*, *ферроніхром* (0Х23Ю5, 0Х27Ю5А, Х15Н60); Ni+Cr – *ніхром* (Х20Н80). Вуглець в цих сплавах суворо обмежений (0,006...0,12%С), бо знижує пластичність виробів. Ці сталі призначені для виготовлення елементів нагрівальних пристроїв, реостатів, резисторів, терморезисторів, тензодатчиків.

*Магнітні* сталі і сплави поділяють на магнітно-м'які і магнітно-тверді та парамагнітні. Магнітно-тверді (ГОСТ 17809 – 72) характеризуються високою коерцитивною силою і магнітною енергією. Це високовуглецеві сталі

(1,2...1,4%С), леговані хромом кобальтом, алюмінієм і іншими. Їх використовують для виготовлення постійних магнітів. Найбільш застосованими є вуглецеві магніти (ЕХ2, ЕХ3) та сплави *альніко* (ЮНДК15, ЮН14ДК25А, ЮНДК31ТЗБА). Ці сплави тверді, крихкі не піддаються деформації, тому магніти з них виготовляють литтям.

Магнітно-м'які сталі (ГОСТ2127 – 75) називають електротехнічними. Магнітно-м'які сталі відрізняються легким намагнічуванням у слабких магнітних полях. Основними властивостями є висока магнітна пронизливість, низька коерцитивна сила, що забезпечується гомогенною структурою – чистий твердий розчин з відсутністю домішок. Ці сталі є без вуглецевими (0,05...0,005%С) і з вмістом кремнію 0,8...4,8%, або леговані нікелем. Ці сталі призначені для виготовлення магнітопроводів постійного і перемінного струму, якорів і полюсів електротехнічних машин, роторів, статорів, пластин трансформаторів. Парамагнітні сталі – це аустенітні сталі системи Fe+Ni+Cr+Ti, які мають дуже низьку магнітність і високу механічну міцність, однак у них низька границя текучості, що обмежує використання в навантажених вузлах. Це сталі 55Г9Н9Х3, 40Г14Н9Ф2.

## Лекція 12

### 12.5. Маркування сталей

*Марка сталі* це її умовне позначення, що відбиває особливості хімічного складу та призначення, допомагає її ідентифікувати та раціонально обрати для конкретних практичних цілей. Частіше за все маркування сталей здійснюється за якістю та за хімічним складом.

Сталі звичайної якості позначають буквами "Ст" і умовним номером марки (від 0 до 6) залежно від хімічного складу і механічних властивостей. Чим вище вміст вуглецю, тим більше її номер і тим міцнішою вона є.

Перед маркою вказують групу якості сталі, причому група "А" в позначенні марки сталі не ставиться. Далі вказують порядковий номер сталі по ГОСТ 380 – 84. Буква "Г" після номера марки вказує на підвищений вміст марганцю в сталі.

*Приклади:*

Ст1кп - вуглецева сталь звичайної якості, марки № 1, кипляча, поставляється споживачам по механічним властивостям (група А);

ВСт5Гсп - вуглецева сталь звичайної якості з підвищеним вмістом марганцю, спокійна, марки №5, з гарантованими механічними властивостями і хімічним складом (група В);

БСт3сп – вуглецева сталь звичайної якості, номер марки №3, спокійна, повністю розкислена, з гарантованими механічними властивостями і хімічним складом (група Б);

БСт0 - вуглецева сталь звичайної якості, номер марки 0, групи Б, (сталі марок Ст0 і БСт0 по ступеню розкислювання не розділяють).

Якісні та високоякісні сталі маркують таким чином:

Вуглецеві сталі маркують, вказуючи вміст вуглецю у долях відсотку. У легованих сталях також вказують вид і кількість легуючих елементів.

1. Частіше за все на початку марки вказують вміст вуглецю числом, відповідно його середньої концентрації;

- якщо число на початку марки двозначне то вміст вуглецю визначається в сотих частках відсотка, для сталей, що містять до 0,8% вуглецю;
- якщо число однозначне, то вміст вуглецю визначається в десятих частках відсотка, для сталей, що містять від 0,5% до 1,5% вуглецю;

*Приклади:*

05кп – сталь вуглецева якісна, кипляча, містить 0,05% С;

60 – сталь вуглецева якісна, спокійна, містить 0,60% С;

9ХС – сталь легована якісна, містить 0,9% вуглецю.

- якщо марка сталі починається з літери "У" то вміст вуглецю визначається в десятих частках відсотка для інструментальних сталей:

*Приклади:*

У7 – вуглецева інструментальна, якісна сталь, що містить 0,7%С, спокійна (всі інструментальні сталі добре розкислюють);

У12 - вуглецева інструментальна, якісна сталь, спокійна містить 1,2%С;

- якщо марка сталі починається з літери легуючого елемента, то сталь є високо вуглецевою, тобто вміст вуглецю становить близько 1%:

*Приклади:*

Х12 – легована інструментальна, якісна сталь, вміст вуглецю ~ 1%;

ШХ15СГ – сталь легована конструкційна, шарикопідшипникова, якісна, вміст вуглецю ~ 1%

2. В марках легованих сталей вказують легуючі елементи після вмісту вуглецю. Легуючі елементи, що входять до складу сталі, позначають прописними буквами.

Якщо після букви, що позначає легуючий елемент, стоїть цифра, то вона вказує вміст цього елемента у відсотках. Якщо цифри немає, то сталь містить 0,8 - 1,5% легуючого елемента, за винятком молібдену і ванадію (вміст яких в солях звичайно до 0,2 - 0,3%), а також бору (в сталі з буквою Р його повинне бути не менше 0,0010%).

Умовні позначення легуючих елементів в металах і сплавах наводяться в таблиці 1.

*Приклади:*

14Г2 – низько легована якісна сталь, спокійна, містить приблизно 0,14% вуглецю і до 2,0% марганцю;

03Х16Н15МЗБ – високо легована якісна сталь, спокійна містить 0,03% С, 16,0% Cr, 15,0% Ni, до 3,0% Mo, до 1,0% Nb.

3. Високоякісні і особливо високоякісні сталі.



Маркують, так само як і якісні, але в кінці марки високоякісної сталі ставлять букву А, (ця буква в середині марочного позначення вказує на наявність азоту, спеціально введеного в сталь);  
- в кінці марки особливо високоякісної сталі через тире позначають літеру "Ш".

*Приклади:*

У8А - вуглецева інструментальна високоякісна сталь, що містить 0,8% вуглецю;

30ХГС-Ш – особливо високоякісна середньовуглецева сталь, що містить 0,30% вуглецю і від 0,8 до 1,5% хрому, марганцю і кремнію кожного.

4. В марці сталі умовно вказують групу сталі за призначенням певною літерою на першій позиції марки. Літера А – те, що сталь за призначенням автоматна та належить до групи звичайної якості; літера Ш – сталь шарикопідшипникова, У – сталь вуглецева інструментальна, Р – сталь інструментальна швидкоріжуча, Е – сталь електротехнічна, Л – сталь ливарна (однак позначається в кінці марки).

*Приклади:*

А30СГ – сталь конструкційна легована автоматна, середньовуглецева, звичайної якості, вміщує 0,3%С та ~ 1% кремнію та марганцю кожного.

Р18 – сталь інструментальна швидкорізальна, високо вуглецева, якісна, вміщує ~ 1%С, 18% карбиду WС.

## **Лекція 13**

### **13. Чавуни.**

Чавунами називають сплави заліза з вуглецем, що містять більше 2,14% вуглецю. Вони містять ті ж домішки, що і сталь, але в більшій кількості. В цілому чавуни мають вміст вуглецю 2...4%, кремнію – 1,5...4%, марганцю – 0,6...1,25%, фосфору – 0,1...1,2%, сірки –  $\leq 0,06\%$ .

#### **13.1. Класифікація чавунів.**

Вуглець в чавуні може знаходитись в стані цементиту, графіту чи в складі металевої фази.

Графіт збільшує зносостійкість і антифрикційні властивості чавуну, за рахунок власної мастильної дії. Чавуни добре обробляються різанням, забезпечують менш шорстку поверхню. Наявність евтектики в чавунах зумовлює їх гарні ливарні властивості. Механічні властивості чавунів в основному обумовлені кількістю і структурними особливостями графітної складової. Чим менше графітних включень, чим вони дрібніші і більше ступінь їх ізольованості, тим вище міцність чавуну. Залежно від стану вуглецю в чавуні, розрізняють:

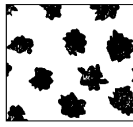
*Білий чавун* – в якому весь вуглець знаходиться в зв'язаному стані у вигляді цементиту, і *половинчастий чавун* – в якому вуглець в значній мірі або повністю знаходиться у вільному стані у вигляді графіту.

Половинчасті чавуни в залежності від форми графіту, що визначає міцність та властивості опору деформації, підрозділяють на:

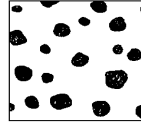
- сірі - пластинчата або червоподібна форма графіту;
- високоміцні - кулястий графіт;
- ковкі – хлоп'євидний графіт.



а



б



в

Рисунок 16. – Вид графіту в чавуні: а – пластинчатий; б – хлоп'євидний; в – кулястий.

Найбільшу міцність чавунів забезпечує куляста форма графіту, для хлоп'євидної форми графіту характерна збільшена пластичність. Чавун з пластинчатою або червоподібною формою графіту можна розглядати як високовуглецеву сталь в якій графіт відіграє роль надрізів, які послаблюють металеву основу.

### 13.2. Характеристика видів чавунів.

*Білі чавуни (переробні)* використовуються як сировина в металургії для отримання сталі чи залізних сплавів., тому що з-за значної кількості цементиту вони дуже крихкі важко обробляються.

*Сірі чавуни (ливарні)* (ГОСТ 1412 – 85) складаються з металевої основи з вкрапленням графіту пластинчатої форми. Металева основа сірих чавунів в залежності від складу і умов кристалізації може бути перлітною, феритною чи ферито-перлітною. Сірі чавуни мають високі ливарні властивості (рідкотекучість, мала усадка, незначний пригар металу), добре обробляються різанням і опираються зносу, однак внаслідок низької пластичності використовуються в більшості для невідповідальних деталей: станини верстатів, колони, каретки, кришки, картери, гальму вальні барабани, маховики, корпуси редукторів, радіатори, санітарно-технічні труби тощо. *Приклад:* СЧ 18-36, СЧ 10-25, СЧ 20-42.

*Ковкі чавуни* (ГОСТ 1214 – 79) мають феритну або перлітну металеву основу і хлоп'євидний графіт, що штучно отримують при довготривалому графітизуючому відпалюванні білих чавунів. Ковкі чавуни з перлітною основою характеризуються високою твердістю і міцністю в поєднанні з невеликою пластичністю. Феритні ковкі чавуни характеризуються високою пластичніс-

тю але меншою міцністю. Використовують ковкі чавуни для виготовлення різних тонкостінних деталей, що працюють при ударних та вібраційних навантаженнях: фланці, муфти, картери, ступиці. Приклад: КЧ 30-6, КЧ 37-17, КЧ 45-7, КЧ 55-4.

*Високоміцні чавуни* (ГОСТ 7293 – 85) мають феритну чи перлітну основу з включеннями дрібного кулястого графіту, яку отримують при модифікації рідкого чавуну магнієм, ітрієм та інш. Кулястий графіт, має мінімальну поверхню при даному об'ємі і значно менше послаблює металеву основу, не являючись концентратором напружень. Ці чавуни мають високу твердість, міцність, здатність гасити вібрації, зносостійкість. Вони використовуються для масивних відповідальних виливок замість сталевих: циліндри, шестерні, колінчасті і розподільчі вали. *Приклад:* ВЧ 35, ВЧ60, ВЧ100.

Крім простих чавунів також існують і леговані, спеціальні чавуни. Вони створені на основі простих з обов'язковим комплексом легування. Це жаростійкі, корозійностійкі, зносостійкі, антифрикційні та немагнітні чавуни.

*Жаростійкі чавуни* (ГОСТ 7769 – 82) – це сірі та високоміцні чавуни, леговані кремнієм та хромом. Вони мають значний діапазон високих робочих температур 700...1000°C, високу окалиностійкість, корозійну стійкість. Їх використовують в теплоенергетиці, казанобудуванні. *Приклад:* ЧС5, ЧС17, ЧХ28, ЧХ32, ЧН19Х3Ш, ЧН11Г7Ш.

*Корозійностійкі чавуни* (ГОСТ 11849 – 76) леговані Si, Ni, Cr. Вони мають стійкість в сірчаній, азотній та органічних кислотах. *Приклад:* фероселід – ЧС13, ЧС15, антихлор - ЧС15М4, ЧС17М3, ЧН15Д7.

*Зносостійкі чавуни* – це сірі та високоміцні чавуни високої твердості, стійкості до абразивного тертя. З них виливають деталі гірничих машин, тракторів, екскаваторів, днища двигунів, циліндрів тощо. *Приклад:* ИЧХНТ, ИЧН1МШ.

*Антифрикційні чавуни* (ГОСТ 1585 – 85) мають високу міцність, зносостійкість, низький коефіцієнт тертя. Графітові включення в цих чавунах виконують функції переносу мастильного матеріалу і самі є змащенням. Чавуни використовують в підшипниках ковзання, вузлах тертя. *Приклад:* АЧК-1, АЧВ-2, АЧС-2.

*Немагнітні чавуни* – це аустенітні високолеговані чавуни. Їх використовують у випадках коли потрібна мінімальна втрата потужності (кришки масляних вмикачів, кінцеві коробки трансформаторів, стійки для магнітів).

### 13.3. Маркування чавунів.

Чавуни маркують двома буквами що вказують на вид чавуну і числами, що характеризують механічні властивості.

- сірий чавун позначають буквами – "СЧ";
- високоміцний – "ВЧ";

– ковкий – "КЧ".

Перше число в марці відповідає мінімальному значенню тимчасового опору при розтягуванні, в МПа.

Друге число, що пишеться через дефіс або не вказується – границя міцності при згинанні (для сірих чавунів), або відносне подовження (для ковких і високоміцних чавунів).

*Приклад:*

СЧ10 - сірий чавун з межею міцності при розтягуванні 100 МПа;

ВЧ70 - високоміцний чавун з  $\sigma_{т.о.} \approx 700$  МПа при розтягуванні;

КЧ35 - ковкий чавун  $\sigma_{т.о.} \approx 350$  МПа.

В спеціальних чавунах вказується тип чавуну і перелік легуючих елементів з вказівкою їх кількості (аналогічно легованим сталям).

*Приклад:*

ЖЧХ28 – жаростійкий чавун, хрому ~ 28%;

ЧХ32 – чавун корозійностійкий, хрому ~ 32%;

ИЧХНТ – зносостійкий чавун, легований Cr, Ni, Ti у кількості ~ по 1,0...1,5 % кожного.

В марках антифрикційних чавунів позначають тип чавуну і вказують номер у відповідному ГОСТі.

*Приклад:*

АЧС-1 – антифрикційний чавун сірий №1,

АЧВ-2 - антифрикційний чавун високоміцний №2.

## **Лекція 14**

### **14. Термічна обробка залізовуглецевих сплавів.**

З метою підготовки структури сталевих заготовок, надання потрібних вимог міцності, твердості та пластичності чи формування певного комплексу характеристик, в умовах виробництва застосовують різні види та технології термічної та хіміко-термічної обробки.

Основними видами термічної обробки, що по-різному змінюють структуру та властивості сталей і які призначають в залежності від потреб до напівфабрикатів (виливки, поковки, прокат тощо) чи готових виробів, є відпалювання, нормалізація, гартування та відпуснення.

#### **14.1. Відпалювання.**

В залежності від температури нагріву, умов охолодження та отриманих структури і властивостей застосовують різні види відпалювання, схеми яких дані на рис. 17.

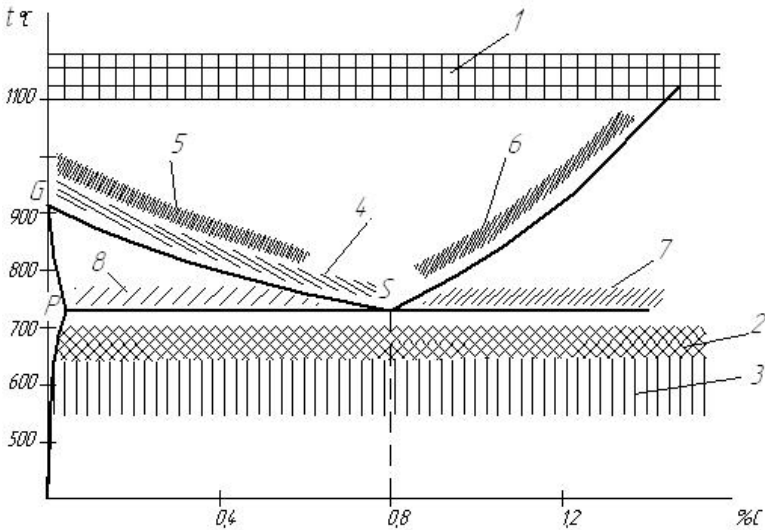


Рисунок 17. – Діаграма стану Fe – Fe<sub>3</sub>C з температурними інтервалами відпалювання.

1 – *гомогенізація*. Використовують для литих заготовок з легованої сталі, з метою зменшення дендритної чи внутрішньокристалічної ліквіації, яка збільшує схильність сталі до крихкого зламу, знижує пластичність і в'язкість. Нагрівають до  $t \sim 1100 - 1200^\circ\text{C}$ , охолоджують до  $800^\circ\text{C}$  в печі а далі на повітрі.

2 – *низькотемпературне відпалювання для зниження твердості та рекристалізаційне відпалювання*. Відпущення для зниження твердості нерівно важної структури після прокатки використовують для високолегованих сталей. При цьому покращується оброблюваність, за рахунок сфероїдизації карбідів. Рекристалізаційне відпалювання використовують як проміжну операцію для знімання наклепу при холодному деформуванні. Режим: нагрівають до  $t \sim 650 - 700^\circ\text{C}$ , охолоджують на повітрі.

3 – *відпалювання для знищення напружень*. Цьому виду відпалювання піддають виливки, зварені вироби, деталі після обробки різанням, правки, в яких виникають внутрішні (залишкові) напруження. Режим: до  $t \sim 550 - 650^\circ\text{C}$ , охолодження разом з піччю.

4 – *повне відпалювання з фазовою перекристалізацією*. Цей вид відпалювання є підготовчою термічною обробкою. Відпалу піддають виливки, поковки, сортовий і фасонний прокат, труби, листи тощо для зниження міцності, твердості, покращення оброблюваності середньовуглецевої та високовуглецевої сталі, подрібнення зерна, усунення структурної неоднорідності та внутрішніх напружень. Режим: нагрівання до  $t \sim A_{C3} + (30 - 50^\circ\text{C})$ , охолодження разом з піччю.

5 – *нормалізація доевтектоїдних сталей*. Цей вид відпусчення часто заміняє гартування з відпусченням. Нормалізація визиває повну фазову перекристалізацію, тому отримана структура є дисперсною, що збільшує опір крихкому руйнуванню, знижує поріг холодноламкості; забезпечує гарну оброблюваність; дозволяє отримати оптимальне сполучення міцності і пластичності вуглецевих та легованих сталей. Режим: нагрівання до  $t \sim A_{C3} + (50 - 70^\circ\text{C})$ , охолодження прискорене, на повітрі чи обдувом.

6 – нормалізація заевтектоїдних сталей застосовується для усунення цементитної сітки;

7 – *сфероїдизація*. Застосовують для заевтектоїдних вуглецевих та легованих сталей з метою отримання зернистої (сфероїдальної) форми перліту, замість пластинчатої. Сталь з зернистим перлітом має трохи меншу твердість і міцність, але набуває гарної оброблюваності різанням, тобто можливе використання великих швидкостей різання і отримання високої чистоти поверхні. Режим: нагрівання до  $t \sim 750 - 780^\circ\text{C}$ , охолодження до  $620 - 680^\circ\text{C}$  в печі, а далі на повітрі.

8 – *неповне відпалювання*. Використовують для покращення оброблюваності різанням конструкційних вуглецевих та легованих сталей. Режим: нагрів до  $t \sim A_{C1} + 50^\circ\text{C}$ , охолодження до  $600^\circ\text{C}$  разом з пічкою, а даль на повітрі.

## 14.2. Гартування та відпусчення сталі.

Гартування полягає в нагріві сталі на  $30 - 50^\circ\text{C}$  вище лінії  $A_{C3}$  для доевтектоїдних сталей чи вище лінії  $A_{C1}$  для заевтектоїдних сталей; витримці для завершення фазових перетворень и подальшому охолодженню зі швидкістю більшою за критичну. Для вуглецевих сталей охолодження проводять частіше у воді, а для легованих – в маслі чи інших середовищах. Щоб зменшити крихкість і напруження, що викликаються гартуванням, і отримати потрібний комплекс механічних властивостей, сталі після гартування обов'язково піддають відпусценню.

Конструкційні сталі в основному піддають гарту для підвищення міцності, твердості, отримання достатньої в'язкості, інструментальні сталі гартують з метою надання твердості, різальних властивостей, зносостійкості.

Вибір температурного режиму при гартування залежить від хімічного складу сталі, структури та кінцевого комплексу вимог, які ставляться до неї.

Доевтектоїдні сталі нагрівають на  $20 - 30^\circ\text{C}$  вище точки  $A_{C3}$ . В цьому разі сталь з вихідною структурою  $\Phi + \Pi(\Phi + \text{Fe}_3\text{C})$  набуває гомогенну структуру аустеніту, яка при охолодженні з надкритичною швидкістю перетворюється в мартенсит (рис 18).

Заевтектоїдні сталі нагрівають при гартуванні до  $t \sim (30 - 50^\circ\text{C}) + A_1$ , при цьому в структурі крім аустеніту зберігається деяка кількість цементиту. Після охолодження структура сталі буде складатися з мартенситу і нерозчинених часток карбідів, які мають високу твердість.

Леговані сталі нагрівають до температур більших за звичайні, для більш повного розчинення легуючих елементів і отримання легованого аустеніту.

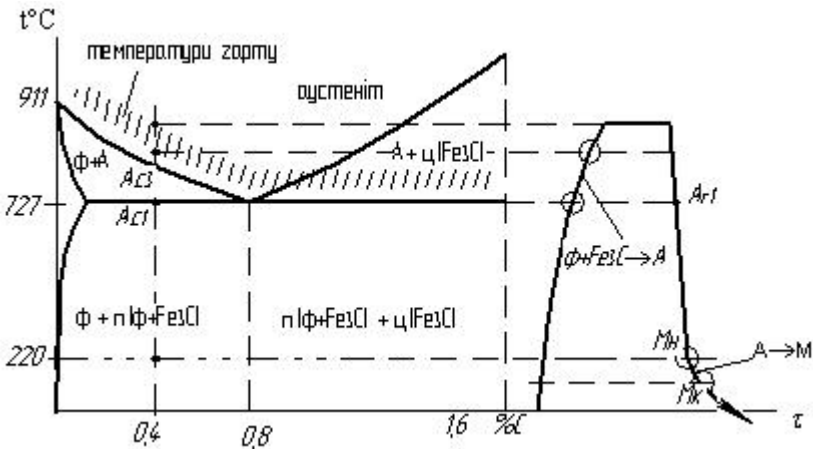


Рисунок 18. – Схема гартування сталі

Тривалість нагріву при гартування повинна забезпечувати прогрівання виробу по перерізу і завершення фазових перетворень, але не повинна приводити до зростання зерен і знеуглецювання поверхневих шарів сталі. З метою запобігання останнього застосовують нагрівання в захисній чи інертній атмосфері.

Охолодження при гартуванні повинно забезпечити отримання структури мартенситу в межах потрібного перерізу виробу, при цьому не повинно викликати гартувальних дефектів: тріщин, деформацій, викривлення та високих залишкових напружень. Швидкість охолодження повинна бути над критичною в інтервалі температур  $A_{T1} - M_H$  для придушення розпаду аустеніту в області перлітного перетворення і уповільненою при охолодженні в інтервалі температур  $M_H - M_K$  (висока швидкість небажана бо приводить до різкого збільшення залишкових напружень і навіть до утворення тріщин).

В залежності від швидкості охолодження при розпаді аустеніту можуть утворюватися також дисперсні ферито-цементитні структури – сорбіт, троостит.

Завершальною операцією гартування є відпущення, в результаті якого сталь отримує потрібні структуру і властивості. Крім того знешкоджуються внутрішні напруження, що виникають при гарті.

Відпущення полягає в нагріванні загартованої сталі до температур нижчих  $A_{C1}$ , тривалій витримці при заданій температурі і подальшому повільному охолодженні.

Температура та швидкість охолодження мають суттєвий вплив на формування остаточної структури. За цією ознакою розрізняють три види відпуснення: низькотемпературне (низьке), середньо температурне (середнє) і високотемпературне (високе) (рис. 19).

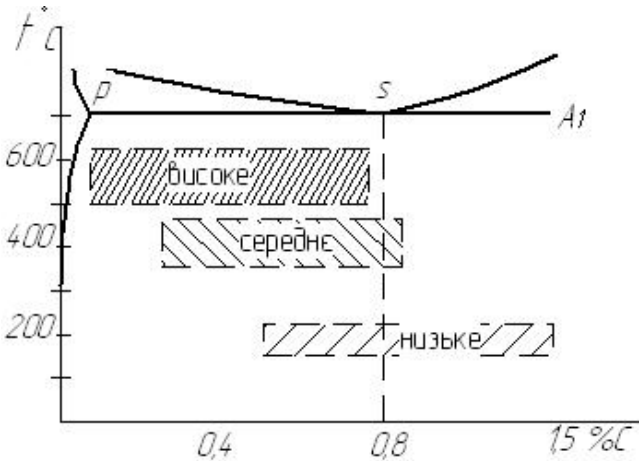


Рисунок 19. – Види відпуснення.

Низькотемпературне (низьке) відпуснення проводять з нагріванням до 250 °С. При цьому знижується внутрішня напруга, мартенсит гарту переходить у відпущений мартенсит, підвищується міцність і небагато поліпшується в'язкість, без помітного зниження твердості. Застосовують для загартованих сталей (0,5—1,3 %С), які після низького відпуснення зберігають твердість в межах HRC 58—63, а отже, високу зносостійкість. Проте такий виріб (якщо око не має в'язкої серцевини) не витримує значних динамічних навантажень.

Низькотемпературному відпусненню піддають ріжучий і вимірювальний інструмент з вуглецевих і низьколегованих сталей, а також деталі, що зазнали поверхневий гарт, цементацію, ціанування або нітроцементацію. Тривалість відпуснення зазвичай 1—2,5 годин, а для виробів великих перетинів і вимірювальних інструментів призначають більш тривалішу витримку.

Середньотемпературне (середнє) відпуснення виконують при 350—500 °С і застосовують головним чином для пружин і ресор, а також для штампів. Таке відпуснення забезпечує високу межу пружності, межу витривалості і релаксаційну стійкість. Структура сталі після середнього відпуснення – троостит відпуснення або троосто-мартенсит; твердість становить HRC 40—50.

Високотемпературне (високе) відпуснення проводять при 500—680 °С. Структура сталі після високої відпуснення – сорбіт відпуснення. Високе відпуснення створює якнайкраще співвідношення міцності і в'язкості сталі.

Гартування з високим відпусненням в порівнянні з нормалізованим або відпаленим станом одночасно підвищує  $\sigma_{T0}$  і  $\sigma_{02}$ ,  $\delta$  і  $\psi$ , а також КС U. Тер-



мічну обробку, що складається з гартування і високого відпущення, називають *поліпшенням*.

Поліпшенню піддають середньовуглецеві (0,3 – 0,5 %С) конструкційні сталі, до яких пред'являються високі вимоги до межі текучості, межі витривалості і ударної в'язкості. Поліпшення значно підвищує конструктивну міцність сталі, зменшуючи чутливість до концентраторів напруги, роботу розв'язку тріщини, знижує температуру верхнього і нижнього порогу холодноламкості.

Відпущення при 550 – 600 °С протягом 1 – 2 годин майже повністю знімає залишкові напруження, що виникли при гартуванні. Залежно від габаритних розмірів виробу тривалість високого відпущення складає 1,0 – 6 годин.

Гартуванню з високим відпущенням (600 – 700°С) піддають низьковуглецеву і низьколеговану товстолистову сталь, це підвищує її опір крихкому руйнуванню і зменшує схильність до старіння.

## **Лекція 15.**

### **15. Кольорові метали та сплави на їх основі**

#### **15.1. Мідь та сплави на її основі**

*Мідь* – метал червоно-рожевого кольору, пластичний, м'який. Щільність становить 8,96 г/см<sup>3</sup>, температура плавлення 1083°С, кристалічні ґратки ГЦК. Мідь хімічно малоактивна. Має високий електроопір, прийнятий в техніці за еталонне значення – 100%. Важливе значення також має теплопровідність міді. Механічні властивості міді не високі і суттєво залежать від умов виготовлення деталей. Серед технологічних властивостей можна відзначити гарну оброблюваність тиском, можливість пайки і досить низькі ливарні властивості, зварюваність та оброблюваність різанням. Чиста мідь використовується в електротехніці для виготовлення електричних, телеграфних та телефонних дротів (М00, М0, М1), теплотехнічних виробів (нагрівачів, теплообмінників, радіаторів) у вакуумній техніці, а також в якості основи мідних сплавів.

Основними перевагами мідних сплавів є висока електропровідність, низький коефіцієнт тертя, висока пластичність, значна міцність (до 1200МПа), корозійна стійкість в агресивних середовищах, можливість термомеханічної обробки.

Мідні сплави поділяються на:

- *Латуні* – сплав Cu + Zn;
- *Бронзи* – сплав Cu + Sn, Cu + Al, Si, Be;
- *Мідно-нікелеві* сплави.

По хімічному складу сплави міді бувають *прості* (бінарні) та *спеціальні леговані* (багатокомпонентні)

По технологічним властивостям і способу виготовлення мідні сплави поділяють на *деформовані* та *ливарні*. З деформованих виготовляють листи, труби, напівфабрикати різного профілю. З ливарних – корпусні, фасонні вилки та художні вироби.

Зміцнення мідних сплавів термічною обробкою ускладнене, тому що розчинність легуючих елементів в міді обмежена, краще застосовувати термомеханічне зміцнення чи наклеп. Пластичність мідних сплавів підвищується відпалюванням (600 – 700°C).

## 15.2. Латунь.

*Латунями* (ГОСТ15527 – 70 і ГОСТ17711 – 80) називають сплав міді з цинком та різними легуючими добавками (Al, Sn, Mn, Ni, Si, Pb та іншими, сума котрих не більше 10%). Вміст цинку в латуні змінюється до 49%. Цинк визначає механічні властивості латуні: чим більше Zn, тим вище твердість, міцність і як наслідок крихкість, при цьому знижуються характеристики пластичності. З збільшенням вмісту Zn колір латуней змінюється від рожево-жовтуватого до світло-жовтого.

*Прості, однофазні латуні* мають структуру твердого розчину цинку в міді. В них вміст цинку не перебільшує 39%. Ці латуні досить пластичні, добре паяються, зварюються, обробляються тиском в гарячому і холодному стані, мають високу корозійну стійкість. Їх використовують для виготовлення радіаторних трубок, деталей конденсаторно-холодильного обладнання, ущільнювальних прокладок, дроту, гільз, деталей електрообладнання, штампованих та пресованих деталей. *Приклад:* Л96, Л80, Л70, Л68, Л59.

*Багатоконпонентні латуні* можуть бути леговані різними компонентами чи їх комплексами. Легуючі елементи в латунях суттєво змінюють їх властивості. Так Al, Si, Ni, Mn підвищують механічні властивості латуней і збільшують їх корозійну стійкість; Sn – збільшує корозійну стійкість в морській воді; Pb – покращує оброблюваність різанням. Леговані латуні застосовують для виробів, що працюють при більших навантаженнях та у більш складних умовах експлуатації. *Приклад:* Л АЖ 60-1-1, ЛЖМц 59-1-1, ЛС 59-1, ЛЦ40С, ЛЦ40МцЗЖ.

Завдяки гарному поєднанню механічних, технологічних і широкому діапазону споживчих властивостей, порівняльній дешевизні латуні є одні з найбільш розповсюджених конструкційних матеріалів.

## 15.3. Бронза.

*Бронзою* називають сплави міді з оловом чи деякими іншими елементами: алюмінієм, кремнієм, берилієм, свинцем та інш. Назву конкретний вид бронзи отримує по основному компоненту, що входить у сплав із міддю. *На-*

*приклад:* олов'яні бронзи, кременисті бронзи. До складу бронзи також можуть входити і легуючі елементи.

Структура та властивості бронзи змінюються в залежності від швидкості охолодження при кристалізації сплавів, виду термічної обробки і характеру обробки тиском. Для покращення властивостей їх піддають термічній обробці: відпалюванню, гартуванню з відпусченням або пластичному деформуванню з метою наклепу. Більшість бронз (крім алюмінієвих) гарно піддаються зварюванню і паянню.

*Олов'яні бронзи.* Вміщують до 14% олова, збільшення кількості якого підвищує твердість і міцність. Однак, внаслідок високої вартості олова його частку замінюють свинцем чи цинком. Додаткове легування здійснюють Zn, Pb, Ni, P. Фосфор покращує ливарні властивості і збільшує твердість, Свинець і цинк покращують оброблюваність різанням і антифрикційні властивості. Олов'яні бронзи мають високі антифрикційні властивості, корозійну стійкість і досить високі пружні властивості. З них виготовляють різний прокат, дріт для пружин, ливарних деталей корпусів складної форми, деталей високого навантаження, опорні шайби, шестерні, деталі паро- і гідроапаратури. *Приклад:* БрОФ10-1, БрОФ8,5-0,3, БрЩ4Ц4С17.

*Алюмінієві бронзи.* Вміщують 5...11%Al. Вони є найбільш розповсюдженими дешевими заміниками олов'яних бронз і навіть перевищують їх по ряду властивостей: ливарним, порівнювально вищою міцністю, жаростійкістю, хімічною стійкістю. Недоліком цих бронз є важке паяння і зварювання. Бронзи, що містять до 7,5%Al однофазні, дуже пластичні, стійкі до стирання і використовуються для виготовлення напівфабрикатів різного профілю, стрічки, листів, дроту для пружних елементів і струмопровідних пружин. Двофазні бронзи зазвичай леговані Ni, Mn, Fe. Нікель (Ni) – підвищує механічні і фізичні властивості, жаростійкість, корозійну стійкість. Марганець (Mn) – підвищує технологічні властивості, морозостійкість, оброблюваність тиском. Залізо (Fe) – в комплексі з іншими елементами суттєво підвищує міцність і зносостійкість. З цих бронз виготовляють фасонні виливки, шестерні, втулки, деталі турбін і двигунів, деякі застосовують для виготовлення литих підшипників і втулок. *Приклад:* БрА5, БрА7, БрАЖМц 10-3-1,5.

*Кременисті бронзи.* Вміщують до 3,0%Si. Основними легуючими елементами є Mn і Ni. Ці бронзи перевершують інші в міцності і стійкості в лужних середовищах, тому використовуються для виготовлення труб і арматури хімічної промисловості. В багатьох випадках вони є заміниками дорогих олов'яних чи берилієвих бронз і латуней. Кременисті бронзи легко обробляються тиском, різанням і зварюються, однак їх ливарні характеристики низькі. *Приклад:* БрКМЦ3-1,

*Берилієві бронзи.* Містять до 1,8...2,5% Be. Легуючими елементами в них є Mn, Ni, Fe, Co, Ti та інші. Ці бронзи крім високої міцності характеризуються високою пружністю і електропровідністю. Вони добре обробляються різанням і зварюються. З виду високої вартості ці бронзи використовуються для особливо відповідальних виробів контрольно-вимірювальних приладів,

контактів, роз'ємів, різних пружних елементів в авіаційній апаратурі, радіотехніці, зв'язку тощо. *Приклад:* БрБ2, БрБНТ 1,7; БрБНТ 1,9.

*Свинцеві бронзи.* Містять до 27...33% свинцю (Pb). За рахунок того, що свинець практично не розчиняється в міді, в цих бронзах по границям зерен розміщується евтектика у вигляді крапель. Саме така структура й забезпечує основну характеристику свинцевої бронзи – антифрикційність. Однак механічні характеристики їх не високі. Легують ці бронзи Ni і Sn. Використовують свинцеві бронзи в вузлах тертя, підшипниках ковзання, біметалевих виробів. *Приклад:* БрС30, БрСН60-2,5, БрСО12-8.

#### 15.4. Мідно-нікелеві сплави.

Cu з Ni утворюють тверді розчини. Ni збільшує твердість, міцність і електроопір, зменшує коефіцієнт лінійного розширення, підвищує корозійну і теплостійкість. Мідно-нікелеві сплави виділені в особливу групу (ГОСТ 492 – 73). Їх поділяють на конструкційні – мельхіор, нейзильбер, куніаль, та електротехнічні – копель, константан, манганін. З мельхіору (МНЖМц30-0,8-1) виготовляють конденсаторні трубки, медичний інструмент, деталі точної механіки і хімічної апаратури; нейзильбер (МНЦ15-20) використовують для електротехнічних плоских пружин, реле, термопар, реостатів, деталей карбюраторів; куніаль (МНА13-3) застосовують для деталей підвищеної міцності, пружин; копель (МНМц43-0,5) і константан (МЕМц40,1,5) ідуть на виготовлення дроту вимірjuвальних і нагрівальних приладів, термопар, компенсаторів; манганін (МНМц3-12) має малу термо е.д.с та електроопір і використовується в резисторах, електроприладах.

#### 15.5. Маркування мідних сплавів

*Латуні* маркуються буквою "Л", наступне число за нею означає вміст міді, залишком (до 100%) є цинк. Це характерно для простих латуней.

*Приклад:*

Л86 – латунь, міді 86%, цинку – 14%;

Л59 – латунь, міді 59%, цинку – 41%.

Леговані багатокomпонентні латуні маркуються з врахуванням технологічних властивостей.

В ливарних латунях після букви "Л" вказують цинк та його вміст у відсотках, далі іде перелік легуючих елементів з позначенням їх кількості, залишком (до 100%) є мідь.

*Приклад:*

ЛЦ40С – латунь, цинку 40%, свинцю – 1%, міді – 59%;

ЛЦ40МцЗЖ – латунь, цинку 40%, марганцю – 3%, заліза – 1%, міді – 56%.

Деформовані латуні маркують з вказуванням після букви "Л" всього переліку легуючих елементів після чого через дефіс їх кількості, причому на першій позиції вказують кількість міді, залишком (до 100%) є цинк.

*Приклад:*

ЛС59-1 – латунь, міді 59%, свинцю – 1%;

ЛАЖ60-1-1 – латунь, міді 60%, алюмінію – 1%, заліза – 1%.

Бронзи маркуються буквами "Бр", далі слідує буквене і числове позначення елементів, причому кількість міді не вказується, а визначається по різності до 100%.

В марках бронзи, оброблюваної тиском (деформована) після букв "Бр" стоїть буквене позначення легуючих елементів в порядку зменшення їх концентрацій, а далі в тій же послідовності через дефіс вказується їх кількість.

*Приклад:*

БрОФ10-1 – бронза олов'яна, олова – 10%, фосфору – 1%, міді – 89%;

БрКМц3-1 – бронза кремениста, кремнію – 3%, марганцю – 1%, міді – 96%.

В ливарних бронзах після кожного буквеного позначення легуючого елемента вказується його вміст у %.

*Приклад:*

БрО4Ц4С17 – бронза олов'яниста, олова 4%, цинку – 4%, свинцю – 17%, міді – 75%.

БрС30 – бронза свинцева, свинцю 30%, міді – 70%.

БрА10ЖЗМц2 – бронза алюмінієва, алюмінію – 10%, заліза – 3%, марганцю – 2%, міді – 85%.

## **Лекція 16**

### **16.1. Алюміній та сплави на його основі**

Алюміній – сріблясто-білий метал з гратками ГЦК, щільність  $2,7 \text{ г/см}^3$ , температура плавлення –  $660^\circ\text{C}$ . Міцність і твердість алюмінію не великі, однак пластичність достатньо висока:  $\sigma_{\text{в}}=50\text{МПа}$ ,  $\text{НВ}=50 \text{ МПа}$ ,  $\delta=50\%$ . Алюміній характеризується високими електропровідністю, теплопровідністю та корозійною стійкістю. Серед технологічних властивостей слід відзначити гарну оброблюваність тиском, зварюваність, , не високу оброблюваність різанням.

Особливо чистий алюміній (А999, А995, А99, А97) та технічно чистий (А85, А8, А7, А0-99,0%А1) використовується для елементів конструкцій які не несуть значних навантажень, для електричного дроту, кабелів, шин, конденсаторів, в хімічній та харчовій промисловості.

В якості конструкційного матеріалу в промисловості частіше використовуються сплави алюмінію. Перевагами їх є висока міцність, мала питома вага, корозійна стійкість, тепло-, електропровідність, гарні технологічні властивості. Найбільш поширеними є сплави алюмінію з Cu, Si, Mg, Mn, Zn.

Класифікуються сплави алюмінію по складу, споживчим і технологічним властивостям (способу обробки), і по можливості зміцнення термічною обробкою.

По складу та споживчим властивостям сплави алюмінію поділяють на :

- *сплави високої міцності*. Вони мають складний хімічний состав, легуються Cu і Mg та мають в порівнянні з іншими більшу міцність ( $\sigma_b \geq 600\text{МПа}$ ). Приклад: В95;
- *жаростійкі сплави*. Леговані Ni. Температура експлуатації складає 300...350°C;
- *сплави підвищеної пластичності*. Мають обмежений вміст міді ( $\leq 0,5\%$ ), додатково легуються Mg та Mn. Поєднують незначну твердість і високі показники пластичності;
- *антифрикційні сплави* – сплави Al та Sn, додатково леговані Ni, Cu та іншими.

За технологічними ознаками алюмінієві сплави поділяють на:

- ливарні;
- оброблювані тиском (деформовані).

В кожній з цих груп існують підгрупи зміцнюваних і не зміцнюваних термічною обробкою сплавів.

## 16.2. Характеристика алюмінієвих сплавів.

До найбільш поширених алюмінієвих сплавів відносять силумін, дуралюмін, авіаль і антифрикційні сплави.

*Силумін* – ливарний сплав Al (основа) з Si (4...13%, до 23%) та легуючими елементами Cu, Mn, Mg, Zn, Be. Силуміни поєднують жаростійкість, зносостійкість і розмірну стабільність при задовільних механічних характеристиках. Ці сплави використовують в серійному виробництві для деталей гідро і пневмо систем складної конфігурації, корпусних виробів. Приклад: АЛ5, АЛ8, АК12М2МгН.

*Дуралюмін* – сплав на основі Al з Cu (2,2...5,2%) + Mg (0,2...2,7%) + Mn (0,2...1,0%). Відносять сплав до оброблюваних тиском і зміцнюваних термічною обробкою. Ці сплави поєднують високу міцність з високою пластичністю при середній твердості. Деталі виготовляють прокаткою, пресуванням, куванням. Використовують для авіаційного і транспортного машинобудування. *Приклад*: Д1, Д6, Д31.

*Авіаль* – сплав Al (основа) з Mg, Si, Mn (чи Cr) та Cu (в сумі до 3%). Ці сплави найменш леговані, є деформованими, зміцнюються термічною обробкою. При середній міцності мають високу технологічність і стійкість проти корозії. З авіалю виготовляють ковани та штамповані деталі складної форми, широко використовують і в будівництві (профілі, рами), деталі авіаційної техніки. *Приклад*: АВ1, АД1, АД31.

*Кувальні сплави* – це сплави системи Al + Cu + Mg леговані Ni та Fe. Відзначаються високою пластичністю, стійкістю до утворення гарячих тріщин, тому деталі з них отримують гарячою обробкою тиском: під моторні рами, стикові вузли, кріпильні деталі, крильчатки вентиляторів, лонжерони. *Приклад:* АК6, АК8, АК4.

*Сплави Al + Mg, Al + Mn* це сплави, що не зміцнюються термічною обробкою. Вони мають гарну пластичність при середній міцності. Зміцнення цих сплавів здійснюється нагартівкою. Ці сплави добре обробляються тиском (ковкою, штамповкою), гарно зварюються, мають високу корозійну стійкість, обробка різанням ускладнена. Використовують для зварених та клепанних елементів ненавантажених конструкцій, різних резервуарів, емкостей, трубопроводів. *Приклад:* АМг2, АМг6, АМц, АМц4.

*Антифрикційні сплави* представляють сплави Al + Sn та Al + Ni. Вони мають низький коефіцієнт тертя і високу теплопровідність. Використовуються для виливок вкладишів та втулок підшипників та вузлів тертя, для отримання біметалевої стрічки. *Приклад:* АО3-7, АО9-2, АО20-1, АН-2,5, АСМ, АСМТ.

### **16.3. Маркування алюмінієвих сплавів.**

Сплави алюмінію маркують з вказуванням типу та назви сплаву і порядкового номеру у відповідному ГОСТі.

- "АЛ" позначають ливарні сплави – силуміни.
- "АВ" і "АД" позначають авіаль та деформовані алюмінієві сплави.
- "Д" позначають дуралюміній.
- "АК" позначають кувальні сплави.
- "АМг", "АМц" позначають сплави алюмінію з Mg та Mn відповідно.

*Приклад:*

АЛ4 – силумін, №4;

АЛ8 – ливарний сплав №8;

Д16 – дуралюмін №16 по ГОСТ;

АМг6 – деформований, не зміцнювальний сплав №6.

### **17. Титан та його сплави.**

*Титан (Ti)* – метал сріблясто-білого кольору. Температура плавлення – 1660°C. Має дві поліморфні модифікації  $Ti_{\alpha}$  (ГТ)  $Ti_{\beta}$  (ОЦК). Щільність 4320кг/м<sup>3</sup>. Титан, внаслідок утворення на поверхні окисної плівки має стійкість проти корозії. Титан має високу міцність, гарну пластичність, його механічні властивості:  $\sigma_{\text{в}}=500\text{МПа}$ ,  $\delta=30\%$ .

Чистий титан обробляється тиском, зварюється, однак обробка різанням ускладнена.

Технічно чистий титан виготовляють трьох марок: ВТ1-00 (99,53%Ti), ВТ1-0 (99,46%Ti), ВТ-1 (99,44%Ti) у виді листів, труб, прутків, дроту та інших напівфабрикатів.

Для покращення механічних та технологічних властивостей з титану легуванням (Al, Mo, V, Mn, Cr, Sn, Fe, Zr, Si ) отримують сплави.

Титанові сплави в залежності від їх складу можна піддавати термічні обробці. За структурою розрізняють  $\alpha$ -сплави, що не зміцнюються і  $\alpha + \beta$  – сплави, які зміцнюють гартуванням з старінням. Найбільше поширення отримали  $\alpha$  – сплави ВТ5, ОТ4 та  $\alpha + \beta$  – сплави ВТ6, ВТ8, ВТ14. Збільшення порядкового номеру сплаву відповідає зростання міцності.

Титанові сплави добре обробляються тиском, мають гарні ливарні і механічні властивості. Титанові сплави використовують для виготовлення деталей високої питомої міцності, опору корозії середовища в авіації, транспортному та хімічному машинобудуванні.

## 18. Магній та його сплави.

*Магній* (Mg) – хімічний елемент, метал сріблясто-білого кольору. Кристалічні ґратки ГПУ. Температура плавлення – 651°C. Щільність – 1739 г/м<sup>3</sup>. Чистий магній на повітрі легко загоряється, є хімічно активний, має низьку стійкість до корозії. Механічні властивості магнію:  $\sigma_b=115$ МПа, НВ=30 МПа,  $\delta=8\%$ .

Магній маркується за чистотою і випускається трьох марок (ГОСТ 804 – 72): МГ90 (99, 9% Mg ), МГ95 (99,95% Mg), МГ96 (99,96% Mg). Промислові вироби з магнію не виготовляють. Він використовується, головним чином, у виробництві легких сплавів, для розкислення, відновлення в металургійних процесах. Чистий магній застосовують у піротехніці, хімічній промисловості.

Промислове значення мають сплави магнію. Їх основна перевага - низька щільність. Сплави магнію мають порівняльно високу міцність, добре гасять вібрації, однак маючи низький модуль пружності використовуються тільки для ненавантажених деталей. Магнієві сплави мають низьку корозійну стійкість, ускладнену технологічну обробку.

До складу магнієвих сплавів входять Mn, Al, Zn, Ce, Zr та інші.

Магнієві сплави класифікують по способу виробництва на:

- ливарні (2856 – 79) – маркуються буквами "МЛ", з позначкою номеру по ГОСТу;
- деформовані (ГОСТ 14957 – 76) – маркуються "МА" з відповідним номером.

Магнієві сплави піддаються термічній обробці – дифузійному відпалюванню для виливків і рекристалізаційному відпалюванню після пластичної обробки.

Магнієві сплави використовують для виготовлення виробів: авіабудування (деталі коліс, двигунів, агрегатів); транспортного машинобудування (диски коліс, деталі двигунів, коробки передач, гальмівні барабани тощо).



## Лекція 17.

### 19. Антифрикційні сплави.

*Антифрикційні сплави* – матеріали з низьким коефіцієнтом тертя ковзання, достатньою твердістю, гарною пластичністю, здатністю утримувати змащувальний матеріал на поверхні. Крім того, антифрикційні матеріали повинні мати низьку схильність до адгезії, гарну теплопровідність, бути корозійностійкими в робочому середовищі. Основні властивості цих матеріалів реалізуються за рахунок структурних особливостей: однорідна, м'яка, пластична основа з включеннями твердих часток. М'яка основа повинна забезпечувати гарну прироблюваність поверхонь тертя, а рівномірно розподілені в основі тверді включення – зменшувати (наряду зі змащенням) коефіцієнт тертя (рис. 17).

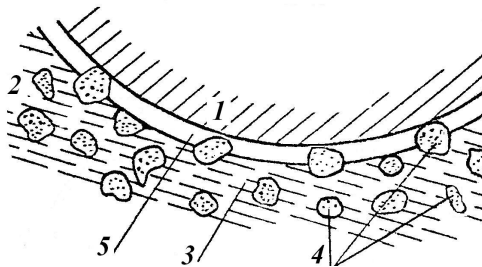


Рисунок 17. – Схема роботи антифрикційного матеріалу: 1 – поверхня валу, 2 – м'яка основа, 3 – тверді включення, 4 – шар мастила, що зменшує тертя.

При обертанні вал опирається на тверді частки, що забезпечують зносостійкість, а основна маса, яка швидше стирається, прироблюється до валу і утворює сітку мікроскопічних каналів по яким циркулює мастило і видаляються продукти зносу.

Антифрикційні сплави використовують для заливки вкладишів підшипників ковзання.

Загальна назва антифрикційних сплавів – *бабіти*. Ці сплави виготовляються на основі Sn, Pb, Zn, Ca з добавками Sb та Cu. Найменування бабіту визначається його основою.

*Олов'яні бабіти* (Б88, Б83) мають склад Sn – Sb – Cu. В них найкраще сполучення антифрикційних і фізико-механічних властивостей і використовуються для підшипників відповідального призначення важко навантажених машин, турбін.

*Свинцеві бабіти* (Б16, БС6, БН) мають склад Pb – Sb – Ni – Cd. Їх застосовують для менш навантажених підшипників, та в вузлах ударних і знакозмінних навантажень.

*Цинкові бабіти* (ЦАМ10-5, ЦАМ 9,5-1,5) мають склад Zn – Al – Cu. Їм характерна висока міцність, температура експлуатації становить до 100°C. Їх

використовують в вузлах з невисокими швидкостями ковзання, для виготовлення біметалевих виробів, вкладишів, втулок тощо.

*Кальцієві бабіти* (БКА, БК2, БК2Ш), їх склад Са – Pb – Na. Вони мають невисоку міцність, тому розміщуються в міцних корпусах, або з них виготовляють тонкостінні підшипникові гільзи чи біметалеву стрічку.

## 20. Порошкові та композиційні матеріали.

*Порошковими* називають матеріали, які отримують шляхом пресування металевих порошків в вироби певної форми і розмірів, з подальшим спіканням. Ці матеріали називають *металокераміка*. Їх відрізняє дуже висока міцність, твердість, зносостійкість, жаростійкість, однак вони крихкі. Виготовляють металокераміку на основі карбіду вольфраму і карбіду титану. Вольфрамкові сплави мають 75 – 95% WC і відповідно 25 – 2% Co (BK3, BK6, BK10, BK20), тобто представляють собою частинки карбіду вольфраму спеченого кобальтом. Титановольфрамкові сплави вміщують 85 – 66% WC, 5 – 30% TiC і 12 – 4%Co (T15K6, T5K10, T30K4). Ці сплави використовують як інструментальні, різальні пластинки з цих сплавів працюють при великих швидкостях різання та в умовах абразивного тертя.

*Композиційні* матеріали складаються з металевої (частіше Al, Mg, Ni, Ti та їх сплави) матриці, яка зміцнена високоміцними волокнами чи тонко дисперсними тугоплавкими частинками. Композиційні матеріали відрізняються від сплавів більш високими значеннями границі тимчасового опору і границі текучості (збільшення на 50 – 100%), модуля пружності, коефіцієнта жорсткості, зниженою схильністю до тріщиноутворення та високою жаростійкістю.

Використання композиційних матеріалів збільшує жорсткість конструкцій при одночасному зниженні металоемкості. Композиційні матеріали в якості конструкційних, використовуються практично в всіх галузях промисловості, для високо навантажених відповідальних деталей: лопатки турбін, насосів, компресорів, деталі двигунів, в гірничій галузі – буровий інструмент, деталі комбайнів, конвеєрів тощо.

В дисперсійних композиційних матеріалах матриця є основним елементом, який несе навантаження і ефект зміцнення досягається за рахунок гальмування дислокацій дисперсними частинками зміцнювальної фази розмірами 10 – 500нм, і відстанями між ними 100 – 500нм. Найширше використовуються сплави на основі алюмінію – САП (спечений алюмінієвий порошок), зміцнювачем в якому є  $Al_2O_3$ , в кількості 16 – 22%. Жаростійким є нікелевий металокерамічний ВДУ, матрицею якого служить суміш Ni + 20%Cr, Ni + 15%Mo, а зміцнювачем оксиди торію, гафнію, ітрію та інші складні оксиди. В цих композитах міцність зберігається до  $(0,9 - 0,95)t_{пл}$ .

Волокнисті металокераміки мають ряд особливостей: гарну електро- і теплопровідність, вологостійкість, широкий діапазон робочих температур, підвищену жорсткість і міцність в одному напрямку, особливість механізму руйнування та інші. В таких композитах матриця повинна повністю охоплювати

вати всі волокна для запобігання контакту між ними. Армування матриці виконують борові, карбонові волокна, а також волокна з тугоплавких з'єднань (карбідів, нітридів, оксидів). В деяких випадках використовують проволоку Ti, Mo, W. Міцність таких композитів  $\sigma_{т.о.} = 2500 - 3500$  МПа.

*Сплави з ефектом "пам'яті форми"* це група сплавів, які після пластичної деформації відновлюють свою первісно надану геометричну форму або в результаті нагрівання (ефект пам'яті форми), або безпосередньо після припинення дії деформуючого зусилля (надпружність). Структурним механізмом, який визначає властивості "пам'яті" є кристалографічне зворотне мартенситне перетворення.

До цієї групи сплавів відносять композиційні сплави системи Ni – Al, Ni – Co, Ni – Ti, Ti – Nb та інші. Найвідомішим є нітінол, який витримує тисячі циклів відновлювання. При цьому він має високу міцність ( $\sigma_{т.о.} = 770 - 1100$  МПа) та гарну пластичність ( $\delta = 10 - 15\%$ ), добре поглинає вібрацію та шум, має високу корозійну та кавітаційну стійкість. Цей сплав використовують в автоматичних перебивачах струму, температурно-чутливих датчиках, деталях контрольно-вимірювальної техніки, в космічних приладах, антенах тощо.

## 21. Металеве скло

Металеве скло – це аморфні метали, які отримують шляхом охолодження розплаву з швидкістю, що перевищує  $10^6 - 10^8$  °C/с. В цьому випадку зародження і зростання кристалічної фази стають неможливими.

Отримання аморфної структури в принципі можливо для всіх металів. Найбільш легкий аморфний стан досягається в сплавах (з'єднаннях) Al, Pb, Sn, Cu і ін. Для отримання металевого скла на базі Ni, Co, Fe, Mn, Cr до них додають неметали або елементи напівметалів C, P, Si, As, S і ін, які називають аморфоутворювальні елементи. Аморфні сплави частіше відповідають формулі  $M_{80}X_{20}$ , де M – один або декілька перехідних елементів, X – один або декілька неметалів або інших аморфоутворювальних елементів ( $Fe_{80}P_{13}C$ ,  $Ni_{82}P_{18}$ ,  $Ni_{80}S_{20}$  і ін.).

Склоподібний стан – метастабільний. При нагріві, коли рухливість атомів зростає, протікає процес кристалізації, що поступово приводить метал (сплав) через ряд метастабільних в стабільний кристалічний стан.

Металеве скло володіє високою твердістю, великою міцністю і зносостійкістю. Так, для сплаву  $Fe_{80}P_{13}C$   $\sigma_{т.о.} = 3100$  МПа,  $HV=760$  МПа; для сплаву  $Fe_{80}V_{20}$   $\sigma_{т.о.} = 3700$  МПа,  $HV=1100$  МПа. Аморфні сплави Fe, Co, Ni з добавками аморфоутворювальних елементів B, C, Si, P (15—25 %) можуть бути вельми ефективно використані як магнітно-м'які матеріали.

Магнітні властивості аморфного сплаву  $Fe_{80}P_{13}C_7$  перевищують властивості навіть кращих магнітно-м'яких матеріалів на основі нікелю ( $H_c = 6,37$  А/м  $\mu = 163000$ ). Із-за дуже високого питомого електроопору аморфні сплави

характеризуються дуже низькими втратами на вихрові струми — це їх головне достоїнство.

Область застосування металевих стекол поки що обмежена тим, що їх швидким охолодженням (гартом) з рідкого стану вдається отримати тільки у вигляді тонких стрічок (до 60 мкм) або дроту діаметром 0,5—20 мкм. Проте є широкі перспективи розвитку цієї групи матеріалів.

## Лекція 18

### 22. Полімери та пластмаси.

#### 22.1. Загальні відомості

Полімерні пластичні матеріали - штучні матеріали, що отримують на основі природних або синтетичних високомолекулярних полімерів шляхом формування тиском, при нагріві в розм'якшеному стані з подальшим переходом в твердий стан, сформованої маси при подальшому її нагріванні (терморективні) або охолодженні (термопластичні). У інженерній практиці такі матеріали отримали найменування "пластмаси".

Пластмаса - матеріал, що є композицією полімеру або олігомеру різними інгредієнтами, що знаходиться при формуванні виробів у в'язкотекучому або пластичному станах, а при експлуатації - в скловидному або кристалічному станах.

Широке розповсюдження пластмас зумовили наступні їх достоїнства:

- необмежені запаси сировини;
- легкість переробки у виробі з невеликими трудовими витратами;
- комплекс цінних властивостей;
- мала собівартість.

Основні корисні властивості пластмас:

- невелика щільність 10...20 кг/м<sup>3</sup>- 900 кг/м<sup>3</sup>;
- низька теплопровідність;
- задовільна конструктивна міцність;
- хороші фрикційні і антифрикційні властивості;
- низька стиранність;
- діелектричні властивості;
- високі, оптичні властивості (безбарвність і прозорість органічних стекол);
- висока хімічна стійкість у ряді середовищ і нескхильність корозії;
- хороші декоративні властивості (пластмаси забарвлюються в будь-які кольори і довго зберігають довговічність).

Цінною властивістю пластмас є легкість їх обробки для додання їм різноманітної, навіть найскладнішої форми за допомогою різних технологічних прийомів (литво, пресування, екструзія і ін.), які можуть бути механізовані і

автоматизовані. Велика група пластмас дозволяє зварювати їх між собою і, таким чином, виготовляти складної форми труби і різні місткості.

До шкідливих властивостей пластмас слід віднести наступні:

- низька ударна в'язкість; підвищена повзучість;
- високий температурний коефіцієнт лінійного розширення;
- низька теплостійкість;
- здатність запалати або піддаватися деструкції під дією вогню;
- накопичення зарядів на поверхні виробів (потрібні антистатиками);
- старіння;
- токсичність;
- пожежна небезпечність.

Загальна класифікація пластмас може бути дана за наступними ознаками: походженню полімерів, по складу і структурі, за походженням наповнювачів і їх вигляду, по пружних властивостях при нормальній температурі, по відношенню до нагріву і області застосування.

*За походженням* полімери, використовувані для виготовлення пластмас, діляться на природні і синтетичні. Природні полімери, у свою чергу, можуть бути: органічними і неорганічними.

*По складу* пластмаси можуть бути простими ненаповненими (чистий полімер) і складними наповненими, зокрема газонаповненими.

*По структурі* пластмаси ділять на гомогенні (однорідні) і гетерогенні (неоднорідні). Структура пластмас в першу чергу визначається їх складом.

*Наповнювачі* для пластмас за походженням розрізняють як органічні (бавовняні очоси, тканини, папір і ін.), неорганічні (слюда, кварц, скловолокно, мінеральна мука і ін.) так і газоповітря. По вигляду наповнювачі для пластмас діляться на порошкоподібних, волокнистих і листових.

*По пружних властивостях* при нормальній температурі розрізняють жорсткі ( $E > 1$  ГПа), напівжорсткі ( $E = 1 \dots 0,4$  ГПа), м'які ( $E = 0,02 \dots 0,1$  ГПа) і еластичні ( $E < 0,02$  ГПа). Прикладом жорстких пластмас є фено- і амінопласти; напівжорстких – поліаміди і пропилен; м'яких – полівініл і поліетилен, до еластичних відносять каучук.

*По відношенню до нагріву* пластмаси можуть бути термореактивними (реактопласти) і термопластичними (термопласти). До основних термопластичних полімерів відносяться поліетилен, полістирол, полівінілхлорид (вінілпласт) і ін. Термопластичні полімери, як правило, не поєднують з наповнювачами. Недоліком цих пластмас є незначна міцність і теплостійкість. Серед термореактивних полімерів найбільшого поширення набули фенолформальдегід, а також поліефірні та полісіліконові (кремнійорганічні) полімери. Термореактивні полімери володіють підвищеною теплостійкістю, проте для них характерні крихкість, велика усадка при виготовленні виробів (10... 15%).

*По застосуванню* пластмаси можна підрозділити на конструкційні загального і спеціального (фрикційні і антифрикційні, ущільнювачі, тепло- і електроізоляційні, хімічно стійкі, декоративні та інш.) призначення і з особли-

вими фізико-хімічними властивостями (наприклад, оптично прозорі). Проте це ділення умовне, так одна та ж пластмаса може володіти різними властивостями.

Загальноприйнятої єдиної наукової класифікації пластмас не існує, один і той же вид пластмаси може мати різні фірмові назви, які не дають ніяких уявлень про властивості матеріалу.

Відповідно до ГОСТ 5752-51 пластмаси прийнято розділяти на 4 класи залежно від походження і способу отримання основних компонентів смол, що входять до складу пластмас, з підрозділом цих класів на групи по хімічній структурі смол-полімерів. Кожна група розділяється у свою чергу на види по хімічних і технічних найменуваннях пластмас.

- Клас А складають пластмаси на основі високомолекулярних з'єднань, що отримують ланцюговою полімеризацією. Пластмаси класу А підрозділяються на 9 груп і розділяються на 35 видів: етиленолоїд, етиленоліт, хлорвінілоїд, хлорвініліт, ізобутиленопласт і ін.
- Клас Б включає пластмаси на основі високомолекулярних з'єднань, що отримують поліконденсацією. Пластмаси класу Б підрозділяються на 7 груп, що включають 32 класи, серед яких феноліт, фенодереволіт, гумоасболіт, аміоцеллоліт, гліфтальслюдоліт і ін.
- Клас В складають пластмаси на основі природних хімічних модифікованих полімерів. У клас В входять 3 групи полімерів: полімери на основі білкових речовин, а також полімери на основі простих і складних ефірів целюлози. Ці групи роззуються на 7 видів (наприклад, метилцеллоплівка, етилцеллоліт і ін.).
- Клас Г складають пластмаси на основі природних і штучних асфальтів, а також смол, отримуваних деструкцією різних органічних речовин. Цей клас ділиться всього на три види: бітумоцеллоліт, пекоасболіт і бітуміноліт.

Додаткова класифікація пластмас побудована по убуваючому впливу наповнювача:

- клас I - з листовим наповнювачем (текстоліт, асботекстоліт, гетинакс, деревинно-шаруватий пластик, склотекстоліт, просочені тканини);
- клас II - з волокнистим наповнювачем (волокніт, прескросшка на основі текстилю, склотканини, деревного шпону, асбоволокнити на основі фенолформальдегідних смол, асбоволокнити на основі смол мочевино-мелавіно-формальдегідів і ін.);
- клас III - з порошковим наповнювачем (преспорошки загального призначення, преспорошки з високими електроізоляційними властивостями і ін.);
- клас IV - без наповнювача (полівіхлориди, полівінілацетати, полістирол і сополімери і ін.);
- клас V - з газоповітряним наповнювачем (міпора, пінополівінілхлорид)

- рид, пінополістирол, пінополіуретан, поролон і ін.);
- клас VI - наповнювачі будь-якого типу на основі епоксидних або поліефірних смол;
  - клас VII - профільні пластмаси, а також стандартизовані вироби універсального призначення (труби, арматура і сполучні частини, устаткування і деталі, плівка і ін.).

## 22.2. Склад полімерних матеріалів.

До складу складних наповнених пластмас входять наповнювачі, пластифікатори і отверджувачі, а також різного роду добавки. Вигляд кожного з компонентів, їх поєднання і кількісне співвідношення визначають властивості пластмас і дозволяють змінювати характеристики в широких межах. Для отримання забарвлених пластмас використовуються пігменти.

*Органічні і неорганічні наповнювачі* використовуються у складі пластмас (40...70% по масі) для зниження їх вартості, а також поліпшення ряду технологічних споживчих властивостей - підвищення опірності усадці, міцності і твердості, зниження повзучості і ін.

Органічні наповнювачі підвищують міцність, знижують крихкість, але погіршують термо- і водостійкість пластмас. Мінеральні наповнювачі підвищують міцність, водостійкість, хімічну стійкість, тепло- і електроізоляційні властивості пластмас, але часто підвищують їх крихкість і щільність.

Наповнювачі можуть утворювати з полімером механічну суміш або вступати ним в хімічну взаємодію (білі сажа, органокремнізем). Активність наповнювача по відношенню до того, що полімерному пов'язує визначається його адсорбційною здатністю і ступенем полярності. За наявності хімічної взаємодії підвищується термостійкість полімерного матеріалу, а також його міцнісні властивості.

Наповнювачі можуть вводитися до складу полімерного матеріалу і для додання необхідних фізико-хімічних властивостей, наприклад, азбестові наповнювачі - для поліпшення тепло-, водостійкості, хімічної стійкості і стійкості до високочастотних дій; наповнювачі на основі скловолокна - для більшої термостійкості, хорошій опірності тепловим ударам, поліпшення електроізоляційних властивостей. Порошкоподібних наповнювачів виготовляють на основі деревної муки, целюлози, слюди, тальку, кварцової муки, мела, графіту, каоліну і ін. Як волокна використовуються бавовняні, азбестові, скляні і полімерні волокна, а як листи - папір, тканини, деревна шпона, рожекки з скловолокна і ін.

Від вибору виду наповнювача багато в чому залежать механічні властивості полімерного матеріалу. Так, порошкоподібних наповнювачів підвищують твердість і межа міцності при стисненні; наповнювачі волокнистої структури збільшують міцність на вигин, особливо при динамічній дії наван-

таження; ще значніше підвищується міцність у разі використання листового наповнювача.

*Пластифікатори* застосовують для поліпшення сформованості і зменшення крихкості пластмас. Пластифікатори полегшують ковзання макромолекул один щодо друг одного в результаті підвищують гнучкість і еластичність полімерів, полегшують умови переробки пластмас. Як пластифікатори широко використовуються органічні речовини з високою температурою кипіння і низькою температурою замерзання (олейнова кислота, стеарин).

*Отверджувачі* (1...3%) вводять в термореактивні пластмаси для прискорення процесу їх твердіння і утворення просторово-сітчастих структур. Отверджувачами є: сіра, різні аміни, органічні переокси і ін.

*Добавки-стабілізатори* грають особливу роль у складі пластмас. Їх введення може забезпечити зміну яких-небудь властивостей: зменшення горючості (антипірени), статичних зарядів (антистатика), захист від цвілі (антисептики), термо- або світлостабілізація, прискорення (уповільнення) твердіння і ін. У необхідних випадках вводяться також речовини, що зв'язують шкідливі летючі продукти, що виділяються

Добавки-стабілізатори сприяють тривалому збереженню властивостей пластмас (перешкоджають старінню) в процесах їх експлуатації або зберігання.

*Змащувальні речовини* вводять для зменшення адгезії пластмасових виробів до металевих частин прес-форми.

## Лекція 19

### 22.3. Характеристики деяких пластмас і виробів на їх основі.

#### 22.3.1. Пластмаси з листовим наповнювачем

*Паперово-шаруваті пластики (ПШП)* (ГОСТ 9590-76) отримують пресуванням спеціального паперу, просоченого термореактивними полімерами. Для внутрішніх шарів застосовують крафт-папір, для верхніх - декоративний.

ПШП випускають трьох марок: А - підвищеної зносостійкості для обробки горизонтальних поверхонь; Б - для обробки вертикальних поверхонь і менш жорстких умов експлуатації; В - для декоративних виробів.

Поверхня ПШП може імітувати цінні породи дерева або каменя, бути глянсовою або матовою, одно- або багатокольною. Друкарський малюнок захищає спеціальний покриваючий папір "оверлей" .

*Фібра* - твердий монолітний матеріал, що утворюється в результаті обробки декількох шарів паперу-основи реагентом, який пергаментує їх. Фібра випускається одно- і багат шаровою. Багат шарова (склеєна) фібра виготовляється з декількох окремих шарів. За призначенням фібра буває:

- високоміцна - з обмеженими показниками маслобензинопоглинання,



призначена для особливо міцних деталей;

- киснестійка - призначена для виготовлення киснестійких прокладок; вогнестійка;
- касторово-гліцерина - пружна і еластична, просочена касторовою олією і церезином, призначена для ущільнень в з'єднаннях металевих конструкцій і трубопроводів;
- технічна – легко штампуєма міцна фібра з обмеженим водопоглиненням, призначена для деталей машин і приладів;
- електротехнічна - з високими показниками електричної міцності, жививана як електроізоляційний матеріал і ін.

*Гетинакс* – матеріал, який одержують просоченням різних сортів паперу модифікованими фенольними і карбомідними смолами. Гетинакс стійкий до дії хімікатів, розчинників, харчових продуктів, застосовується при температурі 120°C – 140°C. За призначенням гетинакс ділять на електротехнічний і декоративний. Він використовується для внутрішнього декоративного облицювання вагонів, судів, літаків, в будівництві, а також у виробництві трансформаторів, телефонів, електронних плат, втулок і шестерень.

*Текстоліт* – шаруваті пластмаси, що отримують з наповнювача (бавовняні тканини – шифон, міткаль, бязь) і фенолформальдегідного зв'язувача. Текстоліт відрізняється міцністю, здатністю поглинати шуми і гасити вібрації, добре чинить опір розколюванню, проте він може працювати тільки при невисоких температурах (до 90°C). Залежно від призначення текстоліти ділять на конструкційні (зубчаті колеса, вкладиші підшипників, шківів, втулки, прокладки в машинобудуванні), електротехнічні (розподільні щити і монтажні панелі), графітізовані ін.

*Деревинно-шаруваті пластики (ДШП)* - штучний деревний матеріал, виготовлений з лущеного шпону, просоченого і склеєного резольним фенолформальдегідним полімером. Істотна анізотропія властивостей матеріалу досягається при однаковому розташуванні волокон в суміжних шарах, і навпаки, однакові механічні властивості у різних напрямках забезпечуються при взаємно перпендикулярному розташуванні волокон. Деревинно-шаруваті пластики відрізняються від початкової деревини і фанери більшою щільністю (1250...1330 кг/м<sup>3</sup>) і володіють високими механічними властивостями, високим опором стиранню. ДШП володіють високою теплостійкістю і низькою теплопровідністю, вони немагнітні. Ці пластики стійкі до дії масел, розчинників, миючих засобів, але чутливі до вологи. ДШП застосовують при виробництві радіо- і електроприладів, а також в будівельних і машинобудівних конструкціях, що несуть, допоміжних, кріпильних і монтажних елементах, від яких потрібна хімічна стійкість, немагнітна, високий опір стиранню (шківів, втулки, повзуни лісопильних рам, корпуси насосів, підшипники, деталі автомобілів і залізничних вагонів, човнів, матриці для витяжки і штампування). Шестерні з ДШП довговічні, підшипники з ДШП не утворюють задирів при роботі їх в парі з металевими виробами. Знижується рівень шуму.

*Склопластики* - пластмаси, що містять в якості зміцнюючого (що армує) наповнювача скловолокнисті матеріали. У деякі склопластики вводять інертні наповнювачі (каолін, тальк, слюда) для зменшення усадки, подання жорсткості і твердості. Вибір зв'язувача для склопластиків визначається умовами їх виготовлення і експлуатації. Склопластики на формальдегідному зв'язувачі мають вищі теплостійкість і електроізоляційні властивості, чим текстоліт, але недостатню віброміцність. Епоксидні смоли забезпечують найбільш високі механічні властивості і не вимагають високого тиску при пресуванні, що дозволяє виготовляти великогабаритні деталі. Кремнійорганічні смоли дають невелику механічну міцність, але високі тепло-, морозо- і корозійну стійкість.

Випускають три різновиди склопластиків:

- 1) на основі рубаних неорієнтованих волокон
- 2) орієнтованих довгих волокон;
- 3) тканин.

Вироби з використанням неорієнтованих або орієнтованих довгих волокон, укладених пасмами, називаються *скловолокнистами*, а вироби з тканин або подвійних волокон, склеєних між собою у вигляді скляної шпони і укладених як у фанері, *склотекстолітами*.

Неорієнтовані скловолокнисті володіють ізотропними міцностними характеристиками, набагато вищими, ніж в матеріалах з порошкоподібним наповнювачем, можуть пресуватися у вироби складної форми, зокрема, з металевую арматурою. Ці матеріали використовуються як конструкційні в електротехніці і машинобудуванні (золотники, ущільнення насосів і ін.).

Склопластикам властива велика (7... 10%) неоднорідність механічних властивостей, що обумовлено їх складом, структурою і технологією виробництва. У склотекстолітах сильно (у 2... 10 разів) виявляється анізотропія властивостей в подовжньому і поперечному напрямках. Щільність склопластиків в 1,5...2 рази менше, ніж скла, і в 1,5 рази - виробів з алюмінієвих сплавів, істотно перевищуючи останні по механічній міцності. Міцність при розтягуванні склотекстолітів при щільності 1800...2000 кг/м<sup>3</sup> складає 1000 МПа. Міцність склопластиків на вигин і розтягування в 5... 10 разів більше, ніж у скла. Модуль пружності склопластиків 18000...58000 МПа, що в 10...20 раз більше модуля пружності полімеру. Вони в декілька десятків разів більш, ніж скло, стійкі до ударних дій. Відношення межі витривалості до щільності (питома втомна міцність) склопластиків приблизно таке ж, як у низьковуглецевої сталі; вони можуть брати тривалі експлуатаційні навантаження. Склопластики володіють високою демпфуючою здатністю, добре працюють при вібраційних навантаженнях.

Склопластики володіють теплопровідністю в 6... 10 разів нижчою, ніж такі матеріали, як кераміка, бетон і залізобетон. По значенню температурного коефіцієнта склопластики близькі до легких металів. Тривало склопластики можуть працювати при температурі 200...400°C, проте короткочасно витримують декілька тисяч градусів, будучи теплозахисним матеріалом.

Недоліками склопластиків є схильність до старіння і знижена довговічність при експлуатації в суворих кліматичних умовах.

Склопластики як конструкційний матеріал застосовуються в різних галузях народного господарства. Склотекстоліти застосовують у вигляді силових виробів в авіаційній і ракетній техніці, в машинобудуванні і залізничній промисловості: деталі літальних апаратів, що несуть, кузови і кабіни автомашин, автоцистерни, залізничні вагони, корпуси човнів, судів, кожухи, захисні огорожі, вентиляційні труби, контейнери і ін.

У будівництві склопластики застосовують у вигляді плоских і хвилястих листів (склотекстоліти, поліефірні склопластики і ін.) для пристроїв світлопрозорої покрівлі промислових будівель і споруд, теплиць і оранжерей; малих архітектурних форм; панелей огорож і покриттів; оболонки і виробів коробчатого і трубчастого перетинів; віконних і дверних блоків і ін.

### **22.3.2. Пластмаси з волокнистим наповнювачем**

*Органоволокнити* - композиційні матеріали, що складаються з полімерного зв'язуючого і синтетичних волокон, як зміцнювачів. У комбінованих матеріалах разом з синтетичними волокнами застосовують мінеральні (скляні, карбо- і бороваолокна). Такі матеріали володіють більшою міцністю і жорсткістю.

Структура органоволокнитів бездефектна, а пористість не перевищує 1...3%, що забезпечується дифузією компонентів і хімічною взаємодією між ними. Текстура забезпечує стабільність механічних властивостей органоволокнитів при різкому перепаді температур, дії ударних і циклічних навантажень.

Органоволокнити володіють малою щільністю (1200... 1400 кг/м<sup>3</sup>), міцністю розтягуванні 300...3000 МПа, порівняно високими питомою міцністю і жорсткістю  $E = 13... 100$  ГПа). Ударна в'язкість висока (400...700 кДж/м<sup>2</sup>). Органоволокнити мають значну тривалість ресурсу і надійність експлуатації виробів при дії механічних, акустичних і вібраційних ударів. Вони володіють високими діелектричними властивості і низькою теплопровідністю. Більшість органоволокнитів можуть тривало працювати при температурі 100°C – 300°C; вони відрізняються низькими показниками горючості і димовиділення. Органоволокнити стійкі в агресивних середовищах вологому тропічному кліматі. Недоліком цих матеріалів є порівняно низька міцність при стисненні і висока повзучість (особливо для еластичних волокон).

Органоволокнити застосовують як ізоляційний і конструкційний матеріал електро- і радіопромисловості, авіаційній техніці і машинобудуванні; з них виготовляють труби, місткості для реактивів, покриття корпусів судів і ін.

*Карбоволокнити* - композиційні матеріали на основі полімерного зв'язувача (матриці) і зміцнювачів у вигляді вуглецевих волокон. Допускається сумісне використання вуглецевих і скляних волокон - карбоскловолкнити. Як матриця використовуються: синтетичні полімери (полімерні карбоволок-

нити); синтетичні полімери, піддані піролізу (коковані карбоволокнити); піролітичний вуглець (піровуглецеві карбоволокнити).

Карбоволокнити з полімерною матрицею використовують в судно- і автомобілебудуванні (кузови машин, шасі, грібні гвинти, підшипники, панелі опалювання), а також для виготовлення деталей апаратури хімічної, радіо- і електронної промисловості, рентгенівського устаткування і ін. Карбоволокнити з вуглецевою матрицею замінюють різні типи графіту для теплового захисту, виготовлення дисків авіаційних гальм, хімічно стійкої апаратури.

*Бороволокнити* - композиційні матеріали на основі полімерного зв'язувача і зміцнювача - борних волокон. Іноді в якості зміцнювача застосовують комплексні боросклонити, де декілька паралельних борних волокон обплітаються склонткою, що додає формостійкості і поліпшуючою технологічні властивості матеріалу. В якості зв'язувача використовують епоксидні, поліефірні, фенолоформальдегідні та інші смоли. Комірчаста мікроструктура борних волокон забезпечує високу міцність при зрушенні на межі розділу з матрицею.

Бороволокнити при щільності 2000...2100 кг/м<sup>3</sup> відрізняються високою міцністю при стисненні (920... 1500 Мпа), зсуві (1250... 1750 Мпа) і зрізі, низькою повзучістю, високою твердістю і модулем пружності. Бороволокнити володіють підвищеною теплопровідністю і електропровідністю. Бороволокнити володіють високим опором втомі, стійкі до дії радіації, води, органічних розчинників і паливно-мастильних матеріалів.

Вироби з бороволокнитів володіють хорошою працездатністю в умовах підвищених температур. Бороволокнити КМБ-1 і КМБ-1К призначені для тривалої роботи при температурі >200°C; КМБ-3 і КМБ-3к не вимагають високого тиску при переробці. Бороволокнити застосовують в авіаційній і космічній техніці (профілі, панелі, роти і лопатки компресорів, лопаті гвинтів і трансмісійні вали вертольотів і др).

### **22.3.3. Пластмаси без наповнювача**

*Органічне скло* - полярний аморфний полімер поліметилметакрилат. Органічне скло (ГОСТ 15809-70) застосовується в інтервалі температур -180...+80°C. Переваги органічного скла: поєднання легкості (у два рази легше за силікатне скло), міцності (по міцності на вигин перевершує силікатне скло в 7 разів, прозорості (пропускає понад 99% сонячного світла). Відрізняється легкістю обробки різанням, склеюється, зварюється, полірується, має можливість фарбування і красивий вид виробу. По міцності і жорсткості органічне скло краще багатьох термопластів, ударна в'язкість невелика, але вона мало міняється у всьому інтервалі робочих температур. Органічне скло стійке до лугів, розбавлених кислот, палива, мастил. У воді воно небагато набухає (поглинає до 2% води при 100% вологості), але це мало відбивається на властивостях. Органі-

чне скло розчинно в дихлоретані і інших розчинниках і тому легко склеюється. Органічне скло виняткове стійко проти атмосферного старіння.

Недоліки органічного скла: невисока стійкість в кислих середовищах, низька теплостійкість, горючість (при температурі вище 300°C), схильність до розтріскування під напругою - поява "срібла", тобто ділянок з дрібними тріщинами, на яких повністю відбивається світло. Органічне скло погано чинить опір стиранню.

Органічне скло застосовують для скління промислових будівель, світлотехнічних пристроїв і світловодів, світильників, годинних стекел, автомобільних фар, запобіжних щитків на верстатах і машинах. Як діелектрик органічне скло застосовують для виробів, що поєднують електричну міцність і стійкість проти старіння. Для збільшення міцності, ударної в'язкості і опору розтріскуванню листи органічного скла піддають двовісній витяжці.

#### **22.3.4. Пластмаси з газоповітряним наповнювачем**

*Газоповітряні* (комірчасті) пластмаси отримують з термопластичних і термореактивних полімерів хімічним і фізичним способами. При хімічному способі комірчаста газонаповнена структура утворюється при термічному розкладанні газоутворювачів і взаємодії компонентів; при фізичному - в результаті інтенсивного розширення розчинених газів при зниженні тиску або підвищенні температури, а також їх механічного диспергування. У газоповітряних пластмасах пори займають 90...98% об'єму матеріалу.

Газоповітряні пластмаси підрозділяють залежно від характеру пор на пінопласти і поропласти (торгова назва - поліуретан). Пінопласти мають переважно закриті пори у вигляді осередків, розділених тонкими перегородками, а поропласти мають пори, що поєднуються. Існують матеріали із змішаною структурою.

Щільність комірчастих пластмас залежить від щільності полімеру і змісту газоутворювача і складає 10...200 кг/м<sup>3</sup>. Найбільш легкими є карбомідні поропласти (наприклад: міпора - має щільність 10...20 кг/м<sup>3</sup>).

Комірчасті пластмаси в більшості випадків руйнуються поступово і не мають явно вираженої межі міцності. Міцність їх визначають зазвичай при відносній деформації, що становить 2... 10%. Порівняно високі міцнісні показники дають пінопласти полістиролів і полівінілхлоридів. При щільності 40...70 кг/м<sup>3</sup> їх межа міцності при стисненні досягає 0,3... 1 МПа, а при розтягуванні 0,8...1,9 МПа. Жорсткі піно- і поропласти гнучкі і еластичні. Міцнісні показники комірчастих пластмас знижуються при зволоженні.

Для комірчастих пластмас характерні підвищені деформації повзучість, особливо інтенсивна при великих навантаженнях і дії атмосферних чинників. Комірчасті пластмаси дуже мало теплопровідні. Теплостійкість піно- і поропластів на основі термопластичних полімерів складає 60...70°C. Більшість газоповітряних пластмас горючі. Комірчасті пластмаси мають високе водопо-

глинання (малим водопоглинанням характеризуються матеріали із замкнутими порами). В той же час комірчасті пластмаси відрізняються водостійкістю і не загніваються. Найбільшу атмосферостійкість мають полістирольні і полівінілхлоридні пінопласти, знижену - фенольні. Пінопласти радіопрозорі. Поропласти за звичайних температурних умов мають хороше звукопоглинання.

Пінопласти застосовують для теплоізоляції кабін, контейнерів, приладів, холодильників, рефрижераторів, труб і ін. У будівництві вони використовуються при виробництві ізоляційних виробів, а в радіо- і електронній техніці для заливки деталей, оскільки, будучи легким заповнювачем, пінопласт підвищує питому міцність, жорсткість і вібростійкість силових елементів конструкцій. Поролон застосовують при виготовленні амортизаторів, м'яких сидінь, а в будівництві у вигляді плит і шкаралуп для утеплення стін і покриттів, теплоізоляції промислового устаткування і трубопроводів при температурі до 60°C.

## Лекція 20

### 23. Гумовотехнічні матеріали і вироби з них.

#### 23.1. Загальні відомості.

Гума – штучний матеріал, який отримують спеціальною обробкою (вулканізацією) суміші каучуку з різними добавками.

При вулканізації синтетичних каучуків їх макромолекули зв'язуються поперечними зв'язками ("містками" з сірки), що дозволяє підвищити механічну міцність, еластичність і теплостійкість отримуваних матеріалів – вулканізованого каучуку і гуми. На відміну від каучуку гума не має пластичних деформацій і не розчиняється в органічних розчинниках. При нормальній температурі гума знаходиться у високоеластичному стані, її властивості зберігаються в широкому діапазоні температур.

Основні споживчі властивості гумових матеріалів:

- щільність ( $910 \dots 2050 \text{ кг/м}^3$ );
- низька теплопровідність;
- еластичність ( $E = 1 \dots 10 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 1000\%$ );
- нестискувана ( $\mu = 0,4 \dots 0,5$ );
- високі діелектричні властивості;
- хімічна стійкість;
- низькі газо- і водопроникність;
- високий опір розриву і зносу.

В даний час гумові матеріали класифікуються:

- по вигляду сировини
- по вигляду наповнювача;
- по ступеню впорядкування макромолекул і по пористості;

- по технологічним способам переробки;
- за типами теплового старіння;
- по зміні об'єму після перебування в нафтовій рідині.

Класифікація *по вигляду сировини* враховує найменування каучуку, що з'явився початковою сировиною при виробництві гумових матеріалів:

НК - натуральний каучук

СКБ - синтетичний каучук бутадієновий

СКС - бутадієнстірольний каучук

СКІ - синтетичний каучук ізопрен

СКН - бутадієннітритний каучук

СКФ - синтетичний фторовмісний каучук

СКЕП - сополімер етилену з пропиленом

ХСПЕ – хлорсульфополіетилен

БК - бутилкаучук

СКУ - поліуретановий каучук.

По своєму виду *наповнювачі* для гумових матеріалів розрізняються на порошкоподібні і тканини.

*По ступеню впорядкування макромолекул і пористості* гумові матеріали можуть бути м'які, жорсткі (ебонітові), пористі (губчасті) і пастоподібні.

Серед *технологічних способів переробки* для гумових матеріалів використовуються витискування, пресування і литво.

*По тепловому старінню* існує сім типів: T07; ...; T25.

*По зміні об'єму після перебування в нафтовій рідині* розрізняють сім класів: K1;...;K7.

Умовне позначення гум виконується по ГОСТ 19198-73.

## 23.2. Склад гумових матеріалів

Основним компонентом гумових матеріалів є каучук.

Як добавки при виробництві гумових матеріалів використовуються вулканізуючі речовини, прискорювачі вулканізації, активатори прискорювачів, наповнювачі, протизістарювачі, пластифікатори і фарбники.

*Вулканізуючі речовини (вулканізатори)* - обов'язкові компоненти гумових матеріалів; вони беруть участь в утворенні просторово-сітчастої структури гуми. Найширше застосовується для вулканізації сіра. Її кількість в гумових матеріалах може змінюватися від 1 до 40% маси каучуку, при цьому збільшення змісту приводить до зростання твердості і жорсткості гумових матеріалів. При максимально можливому насиченні каучуку сіркою утворюється твердий і жорсткий матеріал, названий *ебоніт*. Ебоніт володіє високою хімічною стійкістю, хорошими діелектричними властивостями, легко обробляється, але має низьку теплостійкість.

Разом з сіркою, в якості вулканізаторів застосовуються селен і тіурам - органічна сірчиста сполука, на відміну від сірки що не взаємодіє з міддю.

Використання тіурама викликане технічними вимогами до гумових матеріалів, призначених для електротехнічної промисловості.

*Прискорювачі вулканізації* застосовуються для підвищення техніко-економічних показників процесу вулканізації, оскільки вони впливають на режим вулканізації і фізико-механічні властивості вулканізуючих речовин. Як прискорювачі вулканізацію використовують оксиди свинцю і магнію, а також різні полісульфіди в кількості до 1,5% маси каучуку. Активаторами прискорювачів є цинкові білила і магнезія.

*Наповнювачі* використовуються у виробництві як для зниження вартості гумових матеріалів, так і для додання їм необхідних фізико-механічних і споживчих властивостей. Серед порошкоподібних наповнювачів найбільш широке застосування знаходять сайодин, крейда, тальк, а як тканини наповнювачі використовуються корд, бельтинг, рукавні та інші тканини з кручених синтетичних (рідше бавовняних) ниток підвищеної міцності. Характер взаємодії наповнювачів з каучуком визначає їх як *активні* (наприклад, сажа підвищує механічні властивості), або *інертні* (крейда і тальк здешевлюють вартість гумових матеріалів). Як наповнювач часто вводять регенерат – продукт переробки старих гумових виробів і відходів гумового виробництва. Окрім зниження вартості регенерат підвищує якість гуми, знижуючи її схильність до старіння. Кількість наповнювачів визначається як інше по масі каучуку після визначення змісту необхідних добавок.

*Протизістарювачі* (антиоксиданти) уповільнюють процес старіння і забезпечують експлуатаційні властивості гумових матеріалів. Розрізняють хімічні і фізичні протизістарювачі. Хімічні антиоксиданти (альдоль, неозон і ін.) затримують окислення каучуку, а фізичні (парафін, віск і ін.) - створюють захисні плівки.

*Пластифікатори* (пом'якшувальні засоби) полегшують переробку гумової суміші і забезпечують поєднання каучуку з наповнювачем. Як пластифікатори застосовують каніфоль, парафін, стеаринову кислоту і ін. Кількість пластифікаторів може складати 30% маси каучуку. Пластифікатори підвищують пластичність і (або) еластичність, а також морозостійкість гуми.

*Фарбники* в гумових матеріалах також як і антиоксиданти використовуються для підвищення експлуатаційних властивостей. Так, наприклад, білі, жовті і зелені фарбники захищають від світлового старіння. Як фарбники застосовують вохру, ультрамарин і ін., в кількості до 10% маси каучуку. Для отримання світло фарбованих гум, призначених для роботи в умовах підвищених температур, замість найбільш поширеного наповнювача - сажі, використовують оксиди кремнію або титану.

### **23.3. Класифікація гумових матеріалів за призначенням і області застосування**

Гумові матеріали ділять на групи *загального* і *спеціального* призначення.



Для гум загального призначення основними компонентами є неполярні каучук – НК, СКИ, СКС і СКБ. Гуми на основі НК відрізняються високою еластичністю, міцністю, водо- і газонепроникністю, високими електроізоляційними властивостями. Найбільшого поширення в промисловості набули гуми на основі СКС (СКС-10, СКС-30, СКС-50). Ці гуми добре працюють при багатократних деформаціях, з хорошим опором старінню; по газонепроникності і діелектричним властивостям, рівноцінні гумам на основі НК.

Гумові матеріали загального призначення використовуються для виробництва виробів, що працюють у воді, на повітрі, в слабких розчинах кислот і лугів при температурі експлуатації  $-35...+130^{\circ}\text{C}$ . Такими виробами є шини, рукави, конвеєрні стрічки, ізоляція кабелів і ін.

Гумові матеріали спеціального призначення діляться на бензиномаслостійкі, хімічно стійкі, корозійностійкі, світлоозоностійкі, тепло- і морозостійкі, електротехнічні і зносостійкі.

Бензиномаслостійкі гумові матеріали виготовляють на основі наїрита, тіоколу, СКН і ін. типів каучуку. Їх основними споживчими властивостями є стійкість до дії гідравлічних рідин, масло-, бензино- і озоностійкість, а також водонепроникність. Гуми, стійкі до дії гідравлічних рідин виготовляють: для роботи в маслі - на основі СКН, для кремнійорганічних рідин на основі каучуку НК, СКМС і ін. Бензиномаслостійкі гуми на основі каучуку СКН можуть працювати в середовищі бензину, палива, масел в інтервалі температур  $-30...+130^{\circ}\text{C}$ . Акрилатні гуми (марки БАК – теплостійкі, мають адгезію до полімерів і металів, стійкі до дії сірковмісних масел і кисню, але володіють малою еластичністю, низькою морозостійкістю і невисокою стійкістю до дії гарячої води і пари. З бензиномаслостійких гум виготовляють шини, варильні камери, діафрагми і ін. Акрилатні гуми широко застосовують в автомобілебудуванні.

Хімічно стійкі гумові матеріали виготовляють на основі бутілкаучука. Виробам з таких гум пред'являються підвищені вимоги по масло-, бензино-, розчиненно- і теплостійкості. Вони використовуються, наприклад, для транспортних стрічок для подачі горючих матеріалів.

Корозійностійкі гумові матеріали виготовляють на основі ХСПЕ. Вони є незамінним конструкційним матеріалом для виробів, що працюють в морській воді. Корозійностійкі гумові матеріали, крім того, не обростають при експлуатації водоростями і мікроорганізмами.

Світлоозоностійкі гумові матеріали виготовляють на основі насичених каучуків - СКФ, СКЕП, ХСПЕ і БК. Гуми на основі фторовмісного каучуку СКФ стійкі до теплового старіння, дії масел, палива, різних розчинників (навіть при підвищених температурах), вони негорючі, володіють високим опором стиранню, але мають низьку еластичність і малу стійкість до більшості гальмівних рідин. Гуми на основі СКФ і етиленпропіленових каучуків СКЕП стійкі до дії сильних окислювачів ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_3$  і ін.), і не руйнуються при роботі в атмосферних умовах протягом декількох років. Гуми, на основі хлорсульфополіетиленового каучуку ХСПЕ застосовують як конструкційний

матеріал (протикорозійні, що не обростає морській воді водоростями і мікроорганізмами покриття), для захисту від гамма-випромінювання. Гуми на основі бугілкаучука БК широко застосовують в шинному виробництві, а також виробів, що працюють у контакті з концентрованими кислотами і іншими хімікатами. Світлоозоностійкі гумові матеріали призначені для масло- і бензиностійких виробів - гнучких шлангів, діафрагм, ущільнювачів і ін.

*Теплостійкі гумові матеріали* виготовляють на основі НК, СКТ і СКС. Морозостійкими є гуми на основі каучуків, що мають низькі температури склування, наприклад, НК, СКС-10, СКТ. Ці гумові матеріали використовуються для надтепло- і морозостійких виробів, електротехнічних деталей і ін.

*Електротехнічні гумові матеріали* діляться на дві групи: *ізоляційні і електропровідні*. Електроізоляційні гумові матеріали виготовляють на основі неполярних каучуків, наприклад, НК, СКБ, СКС, СКТ і БК. Електропровідні гуми для екранованих кабелів отримують з каучуків НК, СКН, наірита з обов'язковими добавками сажі та графіту в кількості 65...70% по масі каучуку.

*Зносостійкі гумові матеріали* виготовляють на основі СКУ. Робочі температури гум складають  $-30...+130^{\circ}\text{C}$ . Вони призначені для виробництва шин, амортизаторів, буферів, клапанів, обкладань в транспортних системах для абразивних матеріалів і ін.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**