

**О.М. Юрченко, Ж.О. Кормош, О.В. Парасюк**

**Основи матеріалознавства**  
**Частина 2. Метали та сплави. Неметалеві матеріали**

*Конспект лекцій*  
*для студентів хімічного факультету*



СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ  
ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра аналітичної хімії та екотехнологій

**О.М. Юрченко, Ж.О. Кормош, О.В.Парасюк**

**Основи матеріалознавства**  
**Частина 2. Metали та сплави. Неметалеві матеріали**

*Конспект лекцій*  
*для студентів хімічного факультету*

**Луцьк**  
**2018**

УДК 669.01(075)  
Ю83

*Рекомендовано до друку науково-методичною радою Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки  
(протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2018 р.)*

**Укладачі: к.ф.-м.н. Юрченко О.М., к.х.н. Кормош Ж.О., к.х.н. Парасюк О.В.**

*Рецензенти: доктор педагогічних наук, професор кафедри матеріалознавства Луцького національного технічного університету Гулай О.І.  
кандидат хімічних наук, доцент кафедри органічної хімії та фармації СНУ імені Лесі Українки Супрунович С.В.*

Основи матеріалознавства. Частина 2. Metали та сплави. Неметалеві матеріали. Конспект лекцій для студентів хімічного факультету /  
Ю83 Укладачі: Юрченко О.М., Кормош Ж.О., Парасюк О.В. – Луцьк: Вежа-друк, 2018– 56 с.

Анотація: дане видання містить пояснювальну записку, навчальну програму курсу, конспект лекцій.

Рекомендовано студентам хімічного факультету.

**УДК 669.01(075)  
ББК 24.я73  
М83**

© Юрченко О.М., Кормош Ж.О.,  
Парасюк О.В.  
2018

## Пояснювальна записка

Даний конспект лекцій призначений студентам хімічного факультету при вивченні курсу «Основи матеріалознавства»

**Метою** навчальної дисципліни «Основи матеріалознавства» є пізнання природи, будови і властивостей матеріалів, а також методів їх удосконалення та зміцнення для найбільш ефективного використання в техніці.

**Основними завданнями** вивчення дисциплін є:

- ознайомитись з кристалічною будовою речовин, основними типами кристалічних ґраток, дефектами структури, явищами анізотропії та поліморфізму;
- вивчити фізичну суть явищ, що відбуваються в матеріалах при впливі на них різних чинників в умовах виробництва і експлуатації і показати їх вплив на властивості матеріалів;
- навчити встановлювати залежність між складом, будовою та властивостями матеріалів;
- вивчити способи зміцнення матеріалів, що забезпечують високу надійність і довговічність деталей машин, інструментів і інших виробів;
- вивчити основні групи металевих і неметалевих матеріалів, їх властивості і область застосування.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми **студенти повинні:**

**знати :**

- атомно-кристалічну будову металів, дефекти кристалічної будови;
- фізичну суть явищ, що відбуваються в матеріалах в умовах виробництва і експлуатації; їх взаємозв'язок з властивостями; основні властивості сучасних металевих і неметалевих матеріалів.

**вміти :**

- оцінити поведінку матеріалу і причини відмови деталей машин при дії на них різних експлуатаційних чинників; в результаті аналізу умов експлуатації і виробництва вірно вибирати матеріал, призначати його обробку з метою отримання заданої структури і властивостей, що забезпечують високу надійність і довговічність деталей машин.

## Програма навчальної дисципліни

### Змістовий модуль 2. Метали та сплави.

#### Тема 3. Залізовуглецеві сплави.

**Компоненти й фази в системі залізо - вуглець.** Сплави заліза. Чавун та сталь. Властивості заліза та вуглецю. Вплив легування та домішок на властивості сплавів. Діаграма стану залізо-вуглець. Структурні складові залізвуглецевих сплавів: ферит, перліт, аустеніт, ледебурит, цементит та графіт. Графітизація. Діаграма стану залізо—цементит. Доевтектоїдні, евтектоїдна та заевтектоїдні сталі. Первинний та вторинний цементит. Доевтектоїдні, евтектоїдні та заевтектоїдні чавуни. Особливості кристалізації.

**Сталь, основи класифікації та позначення марок.** Класифікація сталей: за хімічним складом; за способом виробництва (звичайної якості, якісні, високоякісні, особливо високоякісні); за застосуванням (конструкційні, будівельні, інструментальні, з особливими експлуатаційними характеристиками та ін.); за внутрішньою структурою (доевтектоїдні, евтектоїдні, заевтектоїдні, ледебуритні, феритні, аустенітні та ін.).

**Вуглецеві й леговані сталі.** Маркування сталей за хімічним складом. Умовні позначення легувальних елементів. Класифікація за ступенем розкиснення (киплячі, напівспокійні, спокійні) та маркування. Класифікація за способом вторинного пререплаву (переплав у вакуумних індукційних печах; електрошлаковий переплав; переплав у вакуумних дугових печах; плазмово-дуговий переплав та ін) та способи маркування. Маркування сталей за якістю.

**Сталі з особливими фізичними й хімічними властивостями.** Стійкі до кислот, стійкі до іржі, жаротривкі та жаростійкі, з особливими тепловими властивостями, магнітні, сталі з високим електроопором та їх застосування.

**Чавуни.** Основи класифікації. Вплив домішок (кремнію, сірки) на ливарні й механічні властивості чавунів. Вплив на механічні властивості чавунів величини й характеру розподілу вкраплень графіту. Класифікація чавунів за формою й розмірами виділень графіту та будовою металічної основи. Сірі чавуни (феритний, феритно-перлітний, перлітний). Ковкі чавуни феритної та феритно-перлітні структури. Технологічні особливості отримання. Високоміцний чавун. Технологічні особливості отримання. Модифікування. Феритний та перлітний високоміцний чавун. Відбілений чавун. Білий чавун. Особливості структури. Маркування, застосування

Чавуни спеціального призначення: антифрикційні, жаростійкі, корозійно-стійкі та ін.

#### **Тема 4. Термічна та хіміко-термічна обробка металів і сплавів.**

**Термічна обробка.** Стадії термічної обробки.

**Відпал.** Види відпалу. Повний, неповний, ізотермічний відпал. Дифузійний відпал. Рекристалізаційний відпал.

**Нормалізація.**

**Загартування.** Загартувальні структури, що отримуються при різній швидкості охолодження: мартенсит, троостит, сорбіт. Загартуваність та прогартуваність сталі. Способи загартування: неперервне, переривчате, ступінчате та ізотермічне.

**Відпуск.** Види відпуску: низькотемпературний, високотемпературний відпуск.

**Старіння.** Природне та штучне старіння.

**Обробка холодом.** Охолоджувачі при обробці холодом.

**Хіміко-термічна обробка.** Дифузійне насичення поверхні неметалами (вуглецем, азотом, бором, кремнієм, сіркою). Дифузійна металізація. Основні види хіміко-термічної обробки металів. Цементування сталі.

#### **Тема 5. Кольорові метали та їх сплави.**

**Мідь та мідні сплави.** Мідь. Фізико-хімічні властивості. Маркування, застосування міді. Сплави на основі міді.

Латуні. Однофазні та двофазні латуні. Вплив легувальних домішок на розчинність цинку в міді та на технологічні властивості. Багатокомпонентні латуні. Класифікація латуней за технологічною ознакою: деформовані та ливарні. Застосування. Маркування.

Бронзи. Принцип маркування бронз. Олов'яні бронзи. Деформовані та ливарні олов'яні бронзи. Алюмінієві бронзи. Кремністі бронзи. Свинцеві бронзи. Берилієві бронзи. Властивості, застосування, маркування.

**Алюміній та його сплави.** Алюміній. Фізико-хімічні властивості. Маркування, застосування. Технічний алюміній. Алюміній високої чистоти.

Класифікація алюмінієвих сплавів. Деформовані, ливарні, одержані методом порошкової металургії алюмінієві сплави. Технологія отримання. Сплави, що піддаються деформаціям. Дуралюміні. Сплави Al—Cu—Mg—Mn, леговані цинком та хромом. Вплив легування кремнієм на сплави Al—Cu—Mg—Mn. Сплави Al—Cu—Mg—Si, леговані Fe, Ni, Ti. Алюмінієві сплави, фазова діаграма яких має евтектику: Al—Si, Al—Cu, Al—Mg. Основні ливарні алюмінієві сплави. Властивості. Застосування. Маркування.

**Магній та магнієві сплави.** Магній. Фізико-хімічні властивості. Маркування, застосування. Магнієві сплави. Сплави, що піддаються деформаціям, ливарні сплави. Властивості. Застосування. Маркування. Термічна обробка магнієвих сплавів. Захист магнієвих сплавів від корозії.

**Титан та його сплави.** Титан. Фізико-хімічні властивості. Маркування, застосування. Сплави титану. Властивості. Застосування. Маркування.

**Бабіти.** Олов'яні бабіти. Свинцеві бабіти. Цинкові антифрикційні сплави. Склад. Властивості. Застосування.

**Матеріали високої твердості.** Тверді сплави та вироби з них. Металокерамічні тверді сплави: вольфрамкобальтові, титановольфрамкобальтові та титанотанталовольфрамкобальтові. Застосування. Мінералокераміка. Наплавочні тверді сплави. Стеліт. Сормайт. Природні та штучні алмази, кубічний нітрид бора як матеріали високої твердості.

## **Тема 6. Метали та сплави, які застосовуються в електро- та радіотехніці**

**Матеріали високої провідності. Намотувальні та монтажні провідники.**

**Провідникові матеріали на основі міді.** Вироби з міді: дроти, кабелі, шини розподільчих пристроїв, гнучкі багатожильні шнури, аноди при гальванічних покриттях. Маркування катодної міді. Основні домішки у міді. Питомий електричний опір міді різних марок. Способи переробки електролітичної міді. Маркування мідних виливків. Маркування листів та смуг. Маркування дротів-катанок. Мідний обмоточний дріт. Маркування. Ізоляція для мідних дротів. Одно- та багатожильні монтажні дроти. Листи, смуги, труби та дроти для електротехнічної промисловості з латуней. Використання латуней та бронз для виготовлення деталей електротехнічної апаратури.

**Провідникові матеріали на основі алюмінію.** Алюмінієвий дріт, методи отримання, маркування. Шини, пресовані із алюмінію та алюмінієвих сплавів, для радіотехнічної промисловості.

**Матеріали високого опору.** Сплави високого електричного опору, сплави з малим температурним коефіцієнтом опору, сплави, які не плавляться і не окиснюються при високій температурі. Сплави нікелеві та мідно-нікелеві (нікель напівфабрикат, нікель марганцевокислий, нікель кремнистий, хромель, копель, манганін, константан, монель, мельхіор; нейзильбер та інші). Питомий опір, застосування, маркування. Дріт із прецизійних сплавів з високим електричним опором. Класифікація дроту за призначенням (для нагрівних елементів, елементів опору), за живучістю (нормальної живучості, підвищеної). Особливості маркування. Матеріали термоелектричних термометрів. Термопари.

**Напівпровідникові та надчисті матеріали.** Германій полікристалічний зонноочищений. Германій монокристалічний електронного типу провідності, легований сурмою, та діркового типу провідності, легований галієм. Кремній монокристалічний. Кремній монокристалічний для силової напівпровідникової техніки. Маркування.

**Надчисті матеріали.** Загальний принцип маркування надчистих матеріалів. Класифікація матеріалів: надчисті, високочисті, хімічно чисті, Ч - чисті матеріали (технічно чисті).

**Магнітні матеріали. Електротехнічні сталі.** Матеріали на основі чистого заліза, нікелю, кобальту та їх сплавів. Здатність до намагнічування. Класи магнітних матеріалів: магнітом'які, магнітотверді матеріали з високою коерцитивною силою, прецизійні матеріали зі спеціальними властивостями (високою магнітострикцією, термомагнітні, корозійно-стійкі). Склад, властивості, маркування, застосування.

**Надпровідність та надпровідні матеріали.** Надпровідність. Критична температура. Напруженість критичного магнітного поля. Критичне значення струму. Ефект Мейснера. Високотемпературна надпровідність. Практичне застосування високотемпературної надпровідності. Магнітна левітація.

### **Змістовий модуль 3. Неметалеві матеріали**

#### **Тема 7. Порошкові матеріали. Лісоматеріали**

**Порошкові матеріали.** Порошкова металургія: відновлення металів із окислів та солей, пресування утворених металевих порошоків та спіканням у захисній атмосфері чи вакуумі. Пористі підшипники. Спечені матеріали на основі заліза-міді-графіту з доданням карбідів кремнію або тугоплавких окислів використовують для фрикційних виробів. Порошкові матеріали для фільтрувальних виробів. Металокермічні магніти на основі порошоків.

**Лісоматеріали.** Деревина. Переваги та недоліки застосування. Основні відомості про будову деревини. Хімічна структура різних порід деревини. Основні розрізи стовбура: поперечний, тангенційний та радіальний. Будова деревини: заболонь, ядро, серцевина, серцевинні промені, луб, кора, річні кільця. Основні вади деревини, які впливають на фізико-

механічні властивості. Зовнішні ознаки деревини: колір, текстура, блиск та запах. Вологість деревини. Класифікація деревини за ступенем вологості: кімнатно-суха, повітряно-суха, сира, волога. Ваговий та електричний метод вимірювання вологості деревини. Усушка деревини. Лінійна та об'ємна усушка деревини. Коефіцієнт усушки. Густина деревини. Механічні властивості деревини.

Різновиди деревини та її застосування. Види лісоматеріалів: дошки, бруси, шпали, колоди і ін. Обробка деревини. Пресована деревина. Фанера. Основні марки фанери. Лігнофоль. Армована фанера. Деревинностружкові плити. Деревинношаруваті пластики. Деревинноволокнисті плити. Маркування, застосування.

### **Тема 8. Полімери та пластичні маси**

**Полімери.** Природні та штучні полімери. Органічні та неорганічні полімери. Фізичні стани полімерів: склоподібний, високоеластичний, в'язкотекучий. Старіння як основний недолік полімерів. Причини старіння. Вплив багатократних деформацій, вологи на старіння. Стабілізатори.

**Пластичні маси.** Складові пластмас. Наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, пігменти. Класифікація пластмас за характером вихідного полімера: термопластичні (термопласти) і термореактивні (реактопласти).

Класифікація пластмас за видом наповнювача: порошкові, волокнисті, шаруваті, крихтоподібні, газонаповненні.

Термопластичні пластмаси. Поліетилен. Поліетилен низької та високої густини. Поліпропилен. Полістирол. Пенополістирол. Полівінілхлорид. Пластики. Вініпласт. Органічне скло. Поліаміди: капрон, нейлон, анід й інші. Фторопласт. Полікарбонат. Склад, основні хімічні та механічні властивості, застосування.

Термореактивні пластмаси. Пластмаси з порошковими наповнювачами. Прес-порошки. Пластмаси з волокнистими наповнювачами. Волокніти. Скловолкніти. Азбоволкніти. Склад, основні хімічні та механічні властивості, застосування.

Шаруваті пластмаси. Гетинакс. Текстоліт. Деревинношаруваті пластики. Азботекстоліт. Склотекстоліт. Склад, основні хімічні та механічні властивості, застосування.

Газонаповнені пластмаси. Пінопласти. Поропласти. Склад, основні властивості, застосування.

### **Тема 9. Гумові, скляні, клеєві та лакофарбні матеріали**

**Гума.** Склад гуми та її класифікація за призначенням. Основні добавки: прискорювачі, активатори вулканізації, наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори. Процес вулканізації. Ебоніт. Активні та неактивні наповнювачі. Гуми загального та спеціального призначення. Склад, основні хімічні та механічні властивості, застосування.



**Скляні матеріали та кераміки.** Скло. Технологія одержання. Формування виробів із скла: лиття, прокатування, пресування, витягування, видування. Термічне обпалювання, загартування скла.

Кварцове скло. Склокристалічні матеріали (ситали). Скловолокно. Кераміка. Фарфор. Фаянс.

Радіотехнічна кераміка (високоякісна, конденсаторна, форвакуумна, п'єзоелектрична, феромагнітна). Корундова кераміка.

**Клеї та властивості клеєвих з'єднань.** Клеї. Класифікація клеїв за плівкоутворювальною речовиною, адгезійними властивостями, поведінкою при нагріванні, за умовами тверднення, зовнішнім виглядом, призначенням.

Фенол-каучукові клеї. Фенолополівінілацетатні клеї. Фенолокремній-органічні клеї. Клеї на основі епоксидних смол. Клеї холодного тверднення. Епоксидні клеї. Поліуретанові клеї. Клеї на основі кремнійорганічних сполук. Клеї на основі гетероциклічних полімерів. Гумові клеї. Кістковий та казеїновий клеї. Склад, отримання, властивості, застосування.

**Лакофарбні матеріали.** Компоненти лакофарбних матеріалів: плівкоутворюючі речовини, смоли для збільшення адгезії, розчинники, пластифікатори, твердники, пігменти та фарбники; наповнювачі для підвищення в'язкості й пониження блиску, добавки для фарб спеціального призначення.

Плівкоутворювальні речовини: синтетичні смоли, ефіри целюлоза, рослинна олія. Класифікація лакофарбних матеріалів за вмістом та за плівкоутворюючою речовиною.

Лаки. Склад. Класифікація лаків за типом розчинника: скипидарні, масляні, спиртові.

Фарби. Склад. Класифікація фарб за типом розчинника: емалі та масляні. Пігменти. Фарбники.

Ґрунтовки. Склад. Класифікація ґрунтовок за дією пігменту: утворюючі окисні плівки на поверхні металу, пасивувальні, протекторні, з інертними пігментами, які створюють ізолювальні покриття. Застосування.

Шпаклівки. Склад. Застосування.

## РОЗДІЛ 4. ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВІ СПЛАВИ

### 4.1. Компоненти й фази в системі залізо—вуглець

Понад 95% усіх конструкційних матеріалів займають сплави заліза. Головні з них — це чавун та сталь. Залізо в чистому вигляді знаходять у земній корі досить рідко через значну схильність до окиснення. У той же час налічується близько 200 мінералів, які містять залізо — це оксиди, карбонати, сульфідні та інші сполуки, які ще називають залізними рудами.

Чисте залізо — сріблясто-білий метал, температура плавлення 1539°C. Відомі дві поліморфні модифікації заліза:  $\alpha\text{-Fe}$ , яка існує при температурах нижче 910 °C та вище 1392 °C;  $\gamma\text{-Fe}$  існує в діапазоні 910-1392 °C. Для інтервалу температур 1392-1539 °C  $\alpha\text{-Fe}$  називають ще  $\beta\text{-Fe}$ . До температури 768 °C залізо магнітне. При цій температурі залізо переходить із феромагнітного стану в парамагнітний. Кристалічна ґратка  $\alpha\text{-Fe}$  - ОЦК з періодом ґратки 0,28606 нм,  $\gamma\text{-Fe}$  — ГЦК з періодом ґратки 0,3645 нм.

Вуглець — неметалічний елемент, температура плавлення 3500°C. Поліморфний: може існувати у вигляді модифікацій вуглецю або алмазу. Вуглець розчиняється у залізі в рідкому та твердому станах, а також може бути у вигляді хімічної сполуки - цементиту, а у високовуглецевих сплавах - у вигляді графіту.

Сплави заліза з вуглецем мають досить широке застосування в промисловості та залежно від вмісту вуглецю поділяються на дві великі групи: сталі із вмістом вуглецю до 2,14% та чавуни, що містять вуглецю більше 2,14%. Сплави залізо-вуглець із вмістом вуглецю понад 6,67% не мають практичного застосування.

Властивості сталі та чавуну як залізовуглецевих сплавів визначаються властивостями структурних складових: фериту, перліту, аустеніту, ледебуриту, цементиту та графіту.

*Ферит* - твердий розчин вуглецю в  $\alpha\text{-Fe}$  із максимальним вмістом вуглецю 0,02% (при 727 °C), м'який, пластичний, магнітний до 768 °C.

*Аустеніт* - твердий розчин вуглецю в  $\gamma\text{-Fe}$  із максимальним вмістом вуглецю 2,14% (при 1147 °C), немагнітний, м'який і пластичний.

*Цементит* - хімічна сполука заліза з вуглецем  $\text{Fe}_3\text{C}$ , температура плавлення знаходиться в широких межах 1250-1600 °C залежно від складу, дуже твердий і крихкий.

*Перліт* - суміш кристалів цементиту й фериту, яка утворюється внаслідок розпаду аустеніту при вторинній кристалізації, вміст вуглецю в ньому - 0,8%.

*Ледебурит* - це евтектика, суміш аустеніту та цементиту, яка утворюється при концентрації вуглецю 4,3% в діапазоні температур 1147-727 °C (нижче 727 °C аустеніт переходить у перліт), твердий і крихкий.

*Графіт* — кристалічна речовина, має гексагональну пошарову кристалічну ґратку, густина  $2,25 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, температура плавлення 3500 °C, м'який, має низьку міцність.

Залізо та вуглець, будучи головними компонентами сплавів, визначають усі їхні основні властивості: фізико-хімічні, механічні, технологічні та

експлуатаційні. Проте перелічені властивості сталей і чавунів можуть дещо відрізнятися в зв'язку з тим, що під час технологічного процесу їх одержання до складу можуть потрапляти різні домішки. Залежно від концентрації домішок можуть утворюватися нові структурні складові, які взаємодіють із залізом та вуглецем. Наприклад, цементит, крім заліза, може містити й інші карбідоутворювальні елементи та перетворюватися у легований цементит. Ці домішки підвищують опір деформації та знижують пластичність матеріалу. Високий вміст сірки в сталі викликає утворення легкоплавких евтектик заліза та сульфідів заліза, які в присутності кисню заліза понижують температуру плавлення. Газы утворюють оксиди, гідриди й нітриди, які негативно впливають на механічні властивості сплавів, утворюють у злитках раковини та пори.

#### 4.2. Діаграма стану залізо-вуглець.

Вуглець, який входить до складу залізобуглецевого сплаву, може утворювати із залізом нестійку при високих температурах (метастабільну) сполуку  $Fe_3C$  — цементит або виділятися із рідкої фази в процесі кристалізації у вигляді стабільної фази — графіту. Графіт може також утворюватися внаслідок розпаду при високій температурі  $Fe_3C$ . Цей процес називається *графітизацією*.

Діаграма стану залізо - цементит відображує метастабільну рівновагу фаз (рис. 4.1). Точка А відповідає температурі плавлення чистого заліза, а точка D — температурі плавлення цементиту. Таким чином, лінія ABCD відповідає температурам плавлення сплавів залізо-вуглець з концентрацією вуглецю від 0 до 6,67%. Ця лінія називається лінією *ліквідуса*. Сплави, що містять вуглецю більше 6,67% не мають практичного застосування.

Кінець тверднення сплавів проходить з температур, відкладених вздовж лінії AECF. Ця лінія називається лінією *солідусу*. Уздовж цієї лінії завершується процес первинної кристалізації залізобуглецевих сплавів. Точка E відповідає максимальній розчинності вуглецю в  $\gamma - Fe$  (2,14%) при температурі 1147 °C. Із зміною концентрації вуглецю в сплаві при температурах, що відповідають ділянці ABC лінії ліквідуса, із рідкого розчину кристалізується аустеніт, а при температурах, що відповідають ділянці CD, — цементит, який називається первинним. Точка C називається *евтектикою*, в ній при концентрації вуглецю 4,3% із рідкого розплаву одночасно кристалізується суміш аустеніту та первинного цементиту. Така суміш називається ледебуритом.

Усі залізобуглецеві сплави, які внаслідок первинної кристалізації мають структуру аустеніту й концентрацію вуглецю не більше 2,14% називаються *сталями*, ті ж сплави, котрі мають ледебуритну структуру й містять більше 2,14% вуглецю, називаються *чавунами*.

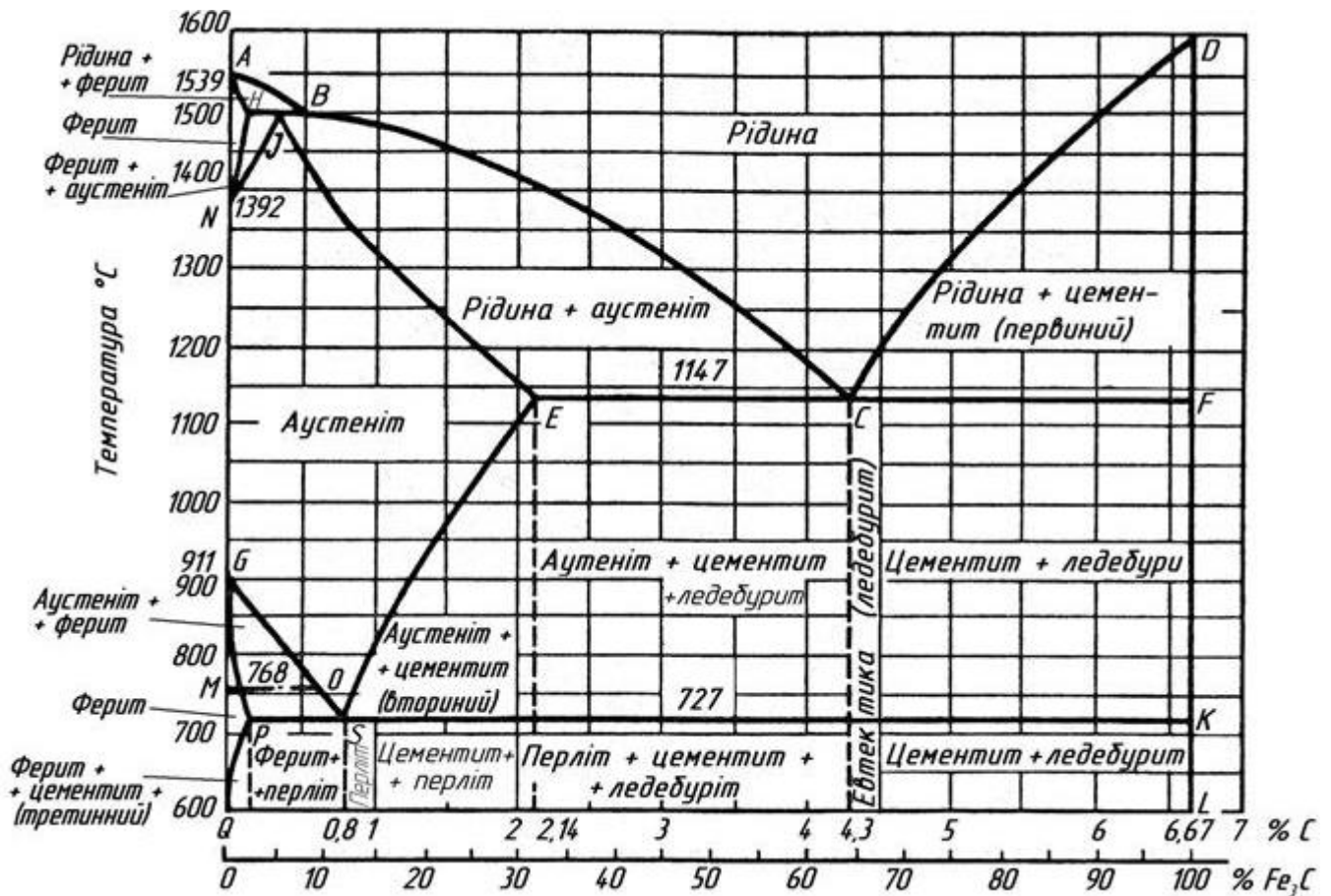


Рис. 4.1. Діаграма стану залізо-цементит.

Після первинної кристалізації, тобто нижче лінії АЕСF, у залізвуглецевих сплавах з пониженням температури відбуваються структурні перетворення. Точка G відповідає поліморфному перетворенню  $\gamma\text{-Fe}$  в  $\alpha\text{-Fe}$  при температурі  $911^\circ\text{C}$ . Точка S при температурі  $727^\circ\text{C}$  та концентрації вуглецю  $0,8\%$  показує мінімальну температуру рівноважного існування аустеніту, нижче якої відбувається розпад аустеніту з одночасним виділенням фериту й цементиту - утворюється евтектоїдна суміш, яка називається перлітом.

Точка P характеризує максимальну розчинність вуглецю в  $\alpha\text{-Fe}$  при  $727^\circ\text{C}$ , яка не перевищує  $0,02\%$ .

Залізвуглецеві сплави, що мають концентрацію вуглецю до  $0,8\%$ , називаються *доевтектоїдними сталями* У своїй структурі ці сталі містять тільки ферит і перліт. Чисто перлітний сплав заліза й вуглецю, в якому концентрація вуглецю дорівнює  $0,8\%$ , називається *евтектоїдною сталлю*. Перлітно-цементитний залізвуглецевий сплав з концентрацією вуглецю більше  $0,8$  та менше  $2,14\%$  називається *заевтектоїдною сталлю*. Цементит, який утворюється в заевтектоїдних сталях внаслідок вторинної кристалізації, називається *вторинним цементитом*.

Подібно до сталей чавуни, які містять вуглецю більше  $2,14\%$ , але менше  $4,3\%$  називаються *доевтектоїдними*. При їхній кристалізації із рідкої фази спочатку утворюються кристали аустеніту, оскільки в надлишку залізо, а під кінець утворюється евтектика - ледебурит. Отже, кінцева структура: аустеніт+ледебурит. *Заевтектоїдні чавуни* (з концентрацією вуглецю більше  $4,3\%$ , але менше  $6,67\%$ ) утворюють при кристалізації спочатку кристали

цементиту, оскільки в надлишку вуглець, а в кінці утворюється евтектика - ледебурит, тобто, кінцева структура заевтектоїдних чавунів: цементит + ледебурит.

Перетворення в доевтектоїдних чавунах починається при температурах лінії ліквідусу (BC). Із рідини випадають кристали аустеніту, при цьому її склад змінюється вздовж лінії ліквідусу, а аустеніту - вздовж лінії солідусу. При температурі 1147 °С концентрація вуглецю в аустеніті досягає максимуму - 2,14% (точка E), а решта рідини має концентрацію вуглецю 4,3% - евтектичного складу (точка C). Тверднення розплаву нижче 1147 °С відбувається з утворенням двох фаз: аустеніту й цементиту, що утворюють ледебурит. При подальшому пониженні температури із аустеніту виділяється цементит, а склад аустеніту змінюється вздовж лінії SE. Отже, всі доевтектичні чавуни при температурі нижче 727 °С мають складну структуру та містять — перліт, ледебурит вторинного цементиту й графіт.

Евтектичні чавуни кристалізуються при температурі 1147°С, утворюючи суміш аустеніт+цементит, тобто ледебурит. З пониженням до 727 °С аустеніт зазнає евтектоїдного розпаду з виділенням фериту й цементиту, які утворюють перліт. Отже, евтектичний чавун при температурах нижчих 727 °С складається з перліту й цементиту (ледебуриту). Залежно від швидкості охолодження ледебурит може мати стільникову (при повільному охолодженні) або пластинчасту (при швидкому охолодженні) будову.

Кристалізація заевтектичних чавунів починається з виділення кристалів цементиту. Концентрація вуглецю в розплаві знижується зі зменшенням температури вздовж лінії CD. При 1147 °С рідка фаза досягає евтектичної концентрації вуглецю 4,3%, яка кристалізується, утворює ледебурит. При подальшому охолодженні заевтектичний чавун набуває структури, що складається з первинного цементиту й ледебуриту (перліт+цементит). Заевтектичні чавуни не мають вільних виділень вуглецю у вигляді графіту, оскільки увесь вуглець пов'язується в перліт й цементит і характеризується значною твердістю.

Усі розглянуті структурні перетворення оборотні, тобто при збільшенні температури будуть проходити у зворотному напрямку.

Використовуючи розглянуту діаграму стану залізобуглецевих сплавів, слід враховувати, що вона характеризує звичайні залізобуглецеві сплави й не може використовуватись для легованих чи спеціального призначення сталей.

#### **4.3. Сталь, основи класифікації та позначення марок.**

Сучасна промисловість випускає значну кількість марок сталей. Проте не існує єдиної системи маркування сталей, тобто за якоюсь єдиною ознакою, що була б спільною для всіх марок, оскільки їхні властивості та призначення досить різноманітні.

Сталі класифікують за такими основними ознаками:

- за хімічним складом класифікують переважно конструкційні сталі— вуглецеві, леговані;

- за способом виробництва класифікують сталі, в яких важливо знати умови металургійного виробництва й передусім вміст у них шкідливих домішок, — звичайної якості, якісні, високоякісні, особливо високоякісні;
- за застосуванням — конструкційні, будівельні, інструментальні, з особливими експлуатаційними характеристиками та ін.;
- за внутрішньою структурою — доевтектоїдні, евтектоїдні, заевтектоїдні, ледебуритні, феритні, аустенітні та ін.

#### 4.3.1. Вуглецеві й леговані сталі.

Таблиця 4.1.

Умовні позначення легувальних елементів

Легуючий елемент	Умовне позначення	Легуючий елемент	Умовне позначення	Легуючий елемент	Умовне позначення
N	А	Ga	Гл	Ni	Н
Al	Ю	Cd	Кд	Nb	Б
Be	Л	Co	К	Pb	Св
B	Р	Si	С	Se	Е
V	Ф	Mg	Ш	Ti	Т
Bi	Ви	Mn	Г	P	П
W	В	Cu	Д	Cr	Х
C	У	Mo	М	Zr	Ц

Більшість сталей у своєму маркуванні відображають насамперед хімічний склад сталі. Для такого маркування використовується загальний принцип: першими цифрами вкачується середній вміст вуглецю в сотих частках процента; далі йдуть літери російського алфавіту, які вказують вміст легувальних домішок та цифри, то вказують процентний вміст даного хімічного елемента. Якщо після літери відсутня цифра, то вміст хімічного елемента складає не більше 1%. Умовні позначення легувальних елементів наведені в таблиці 4.1.

За ступенем розкиснення сталі маркуються як: киплячі - „кп”, напівспокійні - „пс”, спокійні - з індексом „сп” або без індексу. Деякі сорти сталі піддають вторинному переплаву, що вказується в марці сталі у відповідній аббревіатурі: ВИ - переплав у вакуумних індукційних печах; Ш - електрошлаковий переплав; ВД — переплав у вакуумних дугових печах; ПДП - плазово-дуговий переплав та інші.

Сталі звичайної якості маркуються із зазначенням після індексу „Ст” середнього вмісту вуглецю в десятих частках процента. Якісні, високоякісні та особливо високоякісні сталі у маркуванні після слова „Сталь” цифрою відображають середній вміст вуглецю в сотих частках процента для конструкційних та в десятих частках для інструментальних сталей.

Приклади маркування сталей:

- Ст 3 - вуглецева сталь звичайної якості із вмістом вуглецю 0,14-0,22%;
- Сталь 20 - конструкційна вуглецева якісна сталь із середнім вмістом вуглецю ~ 0,20%;

- У10 - інструментальна вуглецева якісна сталь з концентрацією вуглецю - 0,95-1,05%;
- 10ХН3 - легована конструкційна хромонікелева сталь із вмістом вуглецю ~ 10%, хрому до 1%; нікелю ~ 3%;
- 17Х2К3А - високоякісна легована конструкційна хромокобальтова сталь із середнім вмістом вуглецю ~0,17%, хрому ~ 2%, кобальту -3%.

Винятком при маркуванні є окремі групи сталей, які позначаються певною буквою: Р — швидкорізальні, Ш — шарикопідшипникові, Е — магнітні та інші.

Найширше в машинобудуванні використовуються конструкційні вуглецеві та леговані сталі, оскільки мають ряд переваг: добре обробляються тиском та різанням, зварюються, виливаються. Низьковуглецеві сталі марок 10, 15, 20 добре зварюються, куються, штамуються, але їхня міцність недостатня. Леговані конструкційні сталі у переважній більшості мають вміст вуглецю 0,25 - 0,45% та використовуються для виготовлення відповідальних деталей машин, які повинні піддаватись загартуванню та відпуску. Інструментальні сталі застосовують для виготовлення мірного та різального інструмента й штамів. Вони повинні мати високу зносостійкість та достатню твердість, добру ударну в'язкість. Так, сталь У7-У9 йде на виготовлення молотків і зубил; У10-У12 - для виготовлення різьбонарізного інструмента; У13 та У13А йде на виготовлення напилків тощо. Швидкорізальні сталі Р9, Р18 та інші застосовуються для виготовлення інструмента, який повинен витримувати значні нагріви (до 650 °С) без втрати твердості й стійкості.

#### **4.3.2. Сталі з особливими фізичними й хімічними властивостями.**

Серед сталей цієї категорії розрізняють:

- стійкі до кислот та стійкі до іржі;
- жаротривкі та жаростійкі;
- з особливими тепловими властивостями;
- магнітні;
- з високим електроопором.

Стійкі до іржі та кислот сталі й сплави мають високі антикорозійні властивості в різних агресивних середовищах завдяки утворенню на поверхні тонкої, але міцної плівки окису хрому. Найбільш поширені - це сталі 1Х13 і 2Х13, які містять відповідно 0,1 та 0.2% вуглецю й 13% хрому, а також низьковуглецеві сталі Х17—Х19 і Х28, які містять 17,19 та 28% хрому. Високі показники стійкості до агресивних середовищ мають і низьковуглецеві аустенітні хромонікелеві сталі типу Х18Н9, які містять 18% хрому й 9% нікелю.

Жаротривкі та жаростійкі сталі мають дещо різні фізико-хімічні властивості: жаротривкі мають високу окалинотривкість і достатню міцність при високих температурах, а жаростійкі при дії високих температур не утворюють окалини, але не витримують значних навантажень при високій температурі. Для забезпечення жаростійкості до складу сталей вводяться легувальні елементи алюміній, кремній, хром. Наприклад, низьковуглецева сталь Х25Н2С2 стійка до температур 1100-1150°С і використовується для виготовлення труб, листів, ящиків для цементації; сталь 3Х13Н7С2 витримує

температури до 950 °С та значні навантаження, тому використовується для виготовлення клапанів випуску поршневих двигунів.

Маловуглецеві сталі (вуглецю до 0,35%), які містять значні (до 44%) кількості нікелю належать до сталей з особливими тепловими властивостями, оскільки мають низький коефіцієнт теплового розширення. Найпоширеніші серед таких сталей: Н36 - інвар, який використовують в оптичних та геодезичних приладах, оскільки вони повинні працювати в широкому діапазоні температур; Н42 - платиніт - має близький до скла коефіцієнт лінійного розширення, тому використовується в приладах, де потрібен контакт сталь-скло; Х8Н36 - елінвар - йде на виготовлення внутрішніх механічних частин фізичних приладів та годинникових механізмів.

Серед магнітних сталей розрізняють: магнітом'які, з яких виготовляють сердечники магнітних пристроїв, та магнітотверді, з яких виготовляють постійні магніти для електровимірювальних приладів. Найпоширеніші магнітом'які сталі - це електротехнічне залізо тину ЭА й ЭАА й сплави заліза з кремнієм Э11, Э22, Э31 та інші, де цифри означають процентний вміст кремнію (тобто 1,1%, 2,2% та 3,1%). Такі сталі йдуть на виготовлення роторів і статорів асинхронних двигунів, сердечників силових трансформаторів. Магнітотверді сплави одержують легуванням кобальтом, вольфрамом, хромом, нікелем, міддю й алюмінієм.

Найпоширеніші сталі й сплави з високим електричним опором: Х13Ю4 (*фехраль*) застосовується для виготовлення реостатів та нагрівальних елементів, витримує температуру до 900 °С; *хромаль* 0Х23Ю5 - маловуглецева хромоалюмінієва сталь, має теж застосування, але витримує температуру до 1150 °С; широко для нагрівальних елементів використовуються сплави нікелю, заліза й хрому (*фероніхроми*), такі як Х15Н60 та інші.

#### **4.4. Чавуни. Основи їхньої класифікації**

Температура плавлення чавунів на 300-400 °С менша, ніж у сталей, тому чавун широко використовується як ливарний матеріал, а маючи м'яку складову графіт, ще й добре обробляється різанням. Чавуни мають підвищений вміст кремнію (0,8-4,5%), який сприяє графітизації, фосфору - до 1,8%, котрий поліпшує рідинотекучість, та сірки - до 0,8%, яка є шкідливою домішкою, що погіршує ливарні й механічні властивості. Суттєво впливають на механічні властивості чавунів величина й характер розподілу графіту. Чим менше графітних вкраплень та чим вони менші й більш ізольовані один від одного, тим більше підвищується міцність чавуну. Вкраплення пластинчастого графіту зменшують міцність на розтяг і згин, погіршують пластичність чавуну. Разом з тим присутність графітних вкраплень підвищує зносостійкість й антифрикційні властивості чавуну, поліпшує оброблюваність різанням. Структура й властивості чавунів залежать в основному від умов одержання виливок: температури рідкого металу, домішок, а особливо від умов охолодження при литті. Навіть за однакового хімічного вмісту чавуни можуть сильно відрізнитись структурою та властивостями. Тому при класифікації чавунів хімічний вміст до уваги не береться.



За формою й розмірами виділень графіту та будовою металічної основи розрізняють такі марки чавунів:

а) Сірі чавуни, в структурі яких присутній графіт пластинчастої форми, поділяють на: феритний чавун марок СЧ 12-28, СЧ 15-32, котрий використовується для маловідповідальних деталей; феритно-перлітний чавун марок СЧ 18-36, СЧ 21-40, що йде на виготовлення станин верстаків і механізмів, поршнів, циліндрів; перлітний чавун марок СЧ 24-44, СЧ32-52, з якого виготовляють деталі, що працюють в умовах інтенсивного зносу (гальмівні барабани, шестерні, інше). При класифікації цих чавунів перші дві цифри вказують на межу міцності на розтяг у  $\text{Н/м}^2$ , а дві інших — межу міцності на згин, теж у  $\text{Н/м}^2$ .

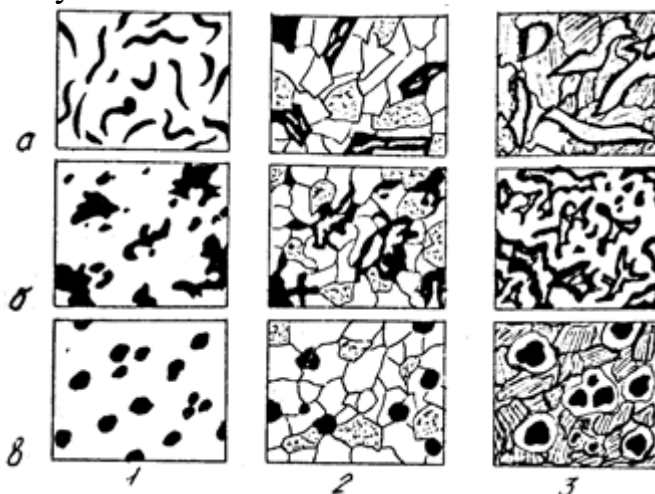


Рис. 4.2 - Структура графітизованих чавунів: а - сірих; б - ковких; в - високоміцних; 1 - шліфи не травлені; 2 - феритна основа; 3 - перлітна основа.

б) Ковкі чавуни, які в структурі мають графіт пластівчастої форми, тому він характеризується високими механічними властивостями, особливо пластичністю. Технологічно процес одержання ковких чавунів складніший, їх одержують в електричних печах, що дозволяє зменшити вміст вуглецю та повніше видалити сірку й фосфор. Усі ковкі чавуни містять і значно менше кремнію. Розрізняють: ковкі чавуни феритної структури марки КЧ 35-10, КЧ 37-12, з яких виготовляють флянці та муфти, й феритно-перлітні ковкі чавуни марки КЧ 45—6, котрі йдуть на виготовлення задніх мостів та картерів автомобілів. Перші дві цифри вказують на межу міцності на розтяг у  $\text{Н/м}^2$ , а дві інші — показують мінімальне відносне видовження матеріалу, що він витримує в (%).

в) Високоміцний чавун у структурі містить графіт кулеподібної форми, що значно менше порушує суцільність металічної основи. Це найбільш міцні чавуни, які за цією характеристикою не поступаються вуглецевим конструкційним сталям. Високоміцні чавуни одержують модифікуванням магнію або церію у ковші рідкого чавуну.

*Модифікування* — це процес уведення у розплавлений метал модифікаторів, речовин, які вже в малих кількостях впливають на процес кристалізації, подрібнюючи структурні складові.

Розрізняють: феритний високоміцний чавун марок ВЧ 40—7, ВЧ 45—5, з якого виготовляють шестерні, циліндри, флянці, інше; високоміцний перлітний

чавун марок ВЧ 50—2, ВЧ 55—2, який іде на виготовлення циліндрів та поршнів.

г) Відбілений чавун у серцевині має структуру, аналогічну до сірого та високоміцного чавуну, а структура поверхневого шару ледебурит+перліт. При цьому твердість відбілених чавунів зростає до HB450—500, підвищується зносостійкість, але погіршується оброблюваність різанням. Цей чавун використовується в обмежених кількостях для деталей простої форми, хоча у виливках утворюється досить чиста поверхня, яка не потребує додаткової обробки. Відбілені чавуни маркування не мають.

д) Білий чавун — це доєвтектичний чавун перлітно-цементитної структури. Ці чавуни мають високу зносостійкість і твердість, але їх механічні властивості сильно занижені, тому це обмежує області їхнього використання. В основному білі чавуни використовують як зносостійкі конструкційні матеріали, вводячи в них марганець, бор, титан, ванадій та інші хімічні елементи. Маркують їх за вмістом легувальних домішок, як і сталі. Так, зносостійкі чавуни ИЧХ4Г7Д, ИЧХ3ТД, ИЧХ28Н2, ИЧХ28Н2М2 та інші використовують для виготовлення деталей млинів, різних подрібнювачів матеріалів, елементів конструкцій пневмотранспорту та інше.

Промисловість у значно менших кількостях випускає й інші види чавунів спеціального призначення: антифрикційні (АСЧ, АКЧ, АВЧ), жаростійкі (ЖЧХ), корозійно-стійкі (СЧЩ, ЧИХТ) та інші.

#### **4.5. Термічна та хіміко- термічна обробка металів і сплавів**

*Термічна обробка* — це теплова дія на метали й сплави для надання їм бажаної структури та властивостей. Термічна обробка дає змогу одержувати певні фізико-механічні властивості, зменшувати ливарні напруги, здрибнювати початкову структуру металів, зменшувати твердість для полегшення механічної обробки, скорочувати неоднорідність хімічного складу та зменшувати кількість газів, розчинених у метали. Термічна обробка складається із трьох послідовних операцій: нагрів до певної температури, витримка при цій температурі, охолодження із заданою швидкістю до кімнатної температури. При термічній обробці сталі буде відбуватись зміна її структури.

Температури, при яких у сталі відбуваються структурні зміни, називаються *критичними*.

Знання про критичні точки сталі потрібні для розуміння перетворень, що виникають у сталі під час нагрівання й охолодження; для визначення температур термічної обробки в сталі та гарячій обробці тиском.

На діаграмі «залізо-вуглець» (рис. 4.3) критичним точкам  $A_{c1}$ ,  $A_{c2}$ ,  $A_{cT}$  відповідно належать лінії PS, GS, SE.

$A_1$  — перетворення перліту в аустеніт (723 °С);

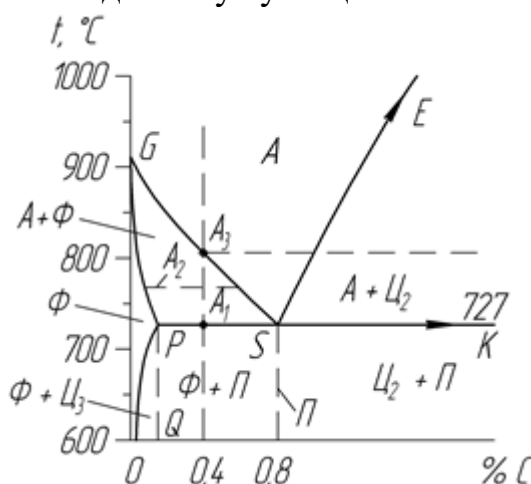
$A_2$  — магнітне перетворення в сталі (768 °С);

$A_3$  — кінцеве перетворення фериту в доєвтектоїдній сталі (910 °С);

$A_{cm}$ —перетворення вторинного цементиту в аустеніт у заєвтектоїдній сталі (1130 °С).

Температура загартування та відпалювання звичайно береться на 30–50°C вище точок  $A_{c1}$ , і  $A_{c3}$  відповідно для заевтектоїдної та доевтектоїдної сталі. Але слід урахувати, що діаграма «залізо-вуглець» характеризує стан чистих залізобуглецевих сплавів. У промисловості вуглецеву сталь використовують із домішками марганцю, кремнію, сірки, фосфору, а також нікелю, хрому тощо. Домішки елементів у сталі по-різному впливають на положення критичних точок. Тому на практиці для правильного призначення режиму термообробки, особливо для нових марок сталі або у випадках сумніву в хімічному складі наявної сталі, нерідко застосовують експериментальний метод визначення критичних точок.

Точка  $A_2$  для термічної обробки сталі не має практичного значення. До термічної обробки залежно від вмісту вуглецю сталь може мати такі структури:



**Рис.4.3.** Критичні температури на діаграмі стану  $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ .

- ферит+перліт, якщо сталь доевтектоїдна ( $\text{C} < 0,8\%$ );
- перліт, для евтектоїдних сталей ( $\text{C} = 0,8\%$ );
- перліт+вторинний цементит, якщо сталь заевтектоїдна ( $\text{C} > 0,8\%$ ).

При термічній обробці сталі нагрівають на 30-50 °C вище критичних температур й одержують при цьому структуру однорідного дрібнозернистого аустеніту. Залежно від швидкості охолодження аустеніт буде набувати структуру перліту, сорбіту, трооститу або мартенситу.

*Перліт* - це складова фаза залізо-вуглецевих сплавів, суміш кристалів цементиту й фериту, який утворюється внаслідок розпаду аустеніту при вторинній кристалізації. *Сорбіт* - теж суміш кристалів фериту й цементиту, але відрізняється від перліту більш тонкою структурою, яка забезпечує вищу міцність сталі. *Троостит* - це ще більш тонкодисперсна структура фериту й цементиту, яка утворюється в інтервалі температур 500—400 °C внаслідок загартування, а також при температурах 350-400 °C внаслідок відпуску. Ці два види трооститу дещо різняться між собою: троостит відпуску має зернистий цементит, а троостит загартування - пластинчастий, тому й більшу пластичність. Троостити мають підвищену твердість і міцність, помірну пластичність і в'язкість. *Мартенсит* - пересичений розчин вуглецю в  $\alpha$ -залізі такої ж концентрації, як у вихідному аустеніті. Мартенситній структурі сталі відповідає найвища твердість сталі.

**4.5.1. Відпал.** Відпал сталі проводять при температурах 750—900 °С, витримуючи її при цій температурі до утворення однорідного аустеніту й повільно охолоджують. Одержана структура - перліт+ферит (для доевтектоїдної сталі) або перліт+цементит (для заевтектоїдної). Внаслідок такої обробки сталь набуває мінімальної твердості та максимальної пластичності й в'язкості. З допомогою відпалу можна змінити форму й розміри зерен структури сталі, зменшити шкідливі внутрішні напруги, позбавитись неоднорідності хімічного складу. Відпал найчастіше використовують як попередню операцію термообробки для усунення дефектів лиття чи кування та для підготовки матеріалу до обробки різанням чи загартування.

Розрізняють наступні види відпалу: повний, неповний, ізотермічний, дифузійний та рекристалізаційний.

*Повний відпал* полягає у нагріві сталі до температур на 20—30 градусів вище критичної температури, витримці при цій температурі та наступному повільному охолодженні.

*Неповний відпал* — це нагрів сталі на 20-30 градусів вище точки  $A_1$ , але не більше температури  $A_3$ , витримкою при цій температурі й подальшим повільним охолодженням (для заевтектоїдних сталей неповний відпал проводиться замість повного).

При *ізотермічному відпалі* нагрів і витримка проводяться так, як і при повному чи неповному відпалі. Після цього вироби швидко охолоджують до температури, що лежить на 50-70 градусів нижче точки  $A_1$ .

*Дифузійний відпал* застосовують для хімічно неоднорідної сталі. Він полягає у нагріві сталі на 100-200 градусів вище критичної температури  $A_3$ , тривалій витримці при цій температурі для вирівнювання хімічної неоднорідності зерен за рахунок дифузії та повільному охолодженні.

*Рекристалізаційний відпал* використовують для зняття несприятливих факторів, що виникають при куванні, штампуванні, прокатці, тобто при тих обробках, коли збільшується твердість поверхневого шару металу, знижується пластичність і в'язкість, з'являються внутрішні напруги та погіршується оброблюваність.

**4.5.2. Нормалізація.** *Нормалізація* — це різновид відпалу з нагрівом до температур вище  $A_3$ , витримкою й охолодженням на повітрі. Структура сталі після такої обробки більш дрібнозерниста й має більшу твердість і міцність. Нормалізація застосовується замість відпалу для маловуглецевих сплавів (вміст вуглецю менше 0,4%), для одержання дрібнозернистої структури у виливках та поковках, для усунення наклепу, для підготовки сталі до загартування, а також для досягнення високої міцності у високовуглецевих сталей

**4.5.3. Загартування.** При загартуванні сталь нагрівають до тих же температур, що й при відпалі, витримують певний час та проводять швидке охолодження зануренням у воду чи мастило. Залежно від швидкості охолодження одержують різні загартувальні структури: мартенсит, троостит чи сорбіт. Загартуванню піддають вали силових установок, шестерні, штампи, різний інструмент (зубила, молотки, свердла, фрези, інше). Найважливіші

характеристики сталі - загартовуваність й прогартовуваність. Загартовуваність сталі залежить від вмісту в ній вуглецю й показує здатність сталі до підвищення твердості під час загартування. Так, сталі з  $< 0.3\%$  вуглецю, мають низкий рівень загартовуваності, тому загартуванню не піддаються.

*Прогартовуваність* — це глибина проникнення загартування, тобто здатність сплаву одержувати мартенситну структуру вглибину виробу. У вуглецевих сталей низька прогартовуваність, тому масивні деталі з високими механічними властивостями виготовляють не з вуглецевих, а з легованих сталей. Існують різні способи загартування: неперервне, переривчасте, ступінчасте та ізотермічне. Відмінність між ними полягає у специфічних методах охолодження. Неперервне охолодження проводять в одному охолоджувачі. Загартування спочатку у воді, а потім у мастилі називають переривчастим. При ступінчастому охолодженні нагріте тіло поміщують спочатку в гаряче середовище, а потім, після певної витримки, охолоджують на повітрі або в мастилі. Ізотермічне загартування виконують як ступінчасте, але з більш тривалою витримкою вище температури  $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Загартований останнім способом сплав має високу міцність й достатню пластичність.

**4.5.4. Відпуск, старіння та обробка холодом.** *Відпуск* - це кінцева операція термічної обробки загартованих та мартенситних сплавів, яка полягає в нагріві загартованого сплаву до температур нижче лінії PSK, витримці при заданій температурі та наступним охолодженням з певною швидкістю. Відпуск частково чи повністю ліквідує внутрішні напруги в загартованому сплаві. Розрізняють три види відпуску.

*Низькотемпературний відпуск* - це термообробка при температурах  $180\text{-}250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , коли дещо понижуються внутрішні напруги, підвищується міцність й в'язкість з незначним зменшенням твердості. Середньотемпературний відпуск проводять при температурах  $350\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , у наслідок якого мартенсит перетворюється в троостит, твердість понижується, але пружність значно зростає. Високотемпературний відпуск - це термічна обробка в діапазоні температур  $500\text{-}680\text{ }^{\circ}\text{C}$ , внаслідок якого мартенсит перетворюється в сорбіт. Міцність сплаву залишається достатньо високою, а в'язкість різко зростає.

*Старіння* відноситься до різновидів термічної обробки, при якій в загартованому без поліморфного перетворення сплаві відбувається розпад пересиченого твердого розчину. При старінні загартованого сплаву з часом його властивості змінюються без помітної зміни мікроструктури. Внаслідок старіння відбувається зміцнення сплавів, хоча при цьому помітно понижується ударна в'язкість. Старіння може бути природне, тобто без дії температури та штучне, яке проходить під дією температури.

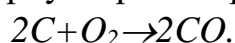
Для підвищення зносостійкості ріжучих інструментів та цементованих і загартованих деталей застосовують *обробку холодом* - короткочасне охолодження після загартування до  $-30\text{-}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При цьому досягається температура кінця мартенситного перетворення залишкового аустеніту. Охолоджувачами є рідкі кисень, аміак чи повітря.

**4.5.5. Хіміко-термічна обробка залізовуглецевих сплавів** — це поєднання теплової й хімічної дії для зміни складу, структури та властивостей поверхневих шарів виробів дифузійним насиченням їх металами або неметалами. При здійсненні хіміко-термічної обробки поверхневий шар металу насичують необхідними хімічними елементами внаслідок контакту металу з середовищем, де необхідний хімічний елемент міститься у великій кількості. При цьому поверхня металу поглинає атоми середовища, які проникають на певну глибину внаслідок дифузії. Глибина дифузійного шару залежить від температури, часу насичення та концентрації дифузного елемента. Можливе дифузійне насичення поверхні неметалами: вуглецем, азотом, бором, кремнієм, сіркою та металами: хромом, алюмінієм, ванадієм, молібденом, титаном, берилієм. Дифузійне насичення металами називають *дифузійною металізацією*.

Розглянемо основні види хіміко-термічної обробки металів.

*Цементування сталі* - це процес насичення поверхневого шару вуглецем. Цементатії піддають маловуглецеві сталі із вмістом вуглецю не більше 0,25%. Процес цементатії проводять при температурах 910-1050°C у твердому або газоподібному карбюризаторі (середовищі, яке містить значну кількість вуглецю). Атомарний вуглець адсорбується поверхнею металу та дифундує вглиб. Цементований шар має змінну концентрацію вуглецю, яка зменшується в глибину металу. Глибина цементованого шару складає 0,5-2 мм, при цьому поверхневі шари після цементатії відповідають заевтектоїдному складу, а в більш глибоких вміст вуглецю поступово зменшується.

Цементатію у твердому карбюризаторі проводять у цементатійному ящику, який завантажують деревним вугіллям у вигляді гранул, вуглекислим барієм та кальцинованою содою. Цю суміш разом з виробом, який піддають цементатії, нагрівають до 910-950°C, витримують 6-12 годин залежно від необхідної товщини цементатії, охолоджують до 500°C та відкривають на повітрі. Деревне вугілля на повітрі утворює Карбон (II) оксид:



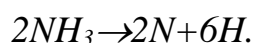
Барій карбонат також виділяє CO, який в контакті з залізом дає активний атомарний вуглець, що дифундує в аустеніт:



Цементатію у газоподібному карбюризаторі проводять в атмосфері природнього газу, який в основному складається з метану, який розкладається при високій температурі.

Після цементатії для зменшення зерна й внутрішніх напруг сталь піддають загартуванню з наступним відпуском. Кінцева структура поверхневого шару – мартенсит або мартенсит з вкрапленням карбідів. Твердість цементованого шару зберігається до температур 210-220°C.

*Азотування сталі* – це процес дифузійного насичення поверхні сталі Нітрогеном у парах амоніаку при 500-700°C. Амоніак дисоціює



Внаслідок насичення заліза Нітрогеном утворюються азотистий ферит, азотистий аустеніт та проміжні фази. Процес азотування більш тривалий із-за меншої рухливості атомів нітрогену, глибина азотованого шару – 0,3-0,7 мм. Азотований шар більш твердий, ніж цементований.

*Ціанування* – процес одночасного насичення виробу Карбоном та Нітрогеном. Проводять при 820-960<sup>0</sup>С у розплаві ціанистого натрію протягом 0,5-1,5 год. Товщина насиченого шару 0,15-0,35 мм. Після ціанування вироби загартовують і проводять низькотемпературний відпуск.

*Нітроцементация* – це газове ціанування, яке проводять у газовому середовищі, що містить аміак та насичений карбоном газ. Проводять при 850-870<sup>0</sup>С.

*Дифузійна металізація* – це процес насичення поверхні сталі металами та металоїдами, що збільшує зносостійкість, жароміцність, корозійну стійкість, твердість. Метали, розчиняючись в залізі, утворюють розчини заміщення, неметали – включення. Проводять алотування (насичення алюмінієм), титанування, берилізацію, силіціювання, борування і ін. Дифузійне насичення проводять у порошкових сумішах, газовому середовищі чи розплавленому легкоплавкому металі.

Дифузійне насичення хромом, кремнієм, бором збільшує корозійну стійкість, насичення алюмінієм підвищує окалиностійкість чавунних і сталевих деталей.

**4.5.6. Термомеханічна обробка** – сукупність пластичної деформації сталі, нагрітої до аустенітного стану, з її загартуванням та подальшим відпуском. Пластична деформація (куванням, прокатуванням, пресуванням і т.д.) змінює характер розподілу й збільшує густину недосконалостей кристалічної ґратки.

*Поверхневий наклеп* здійснюють гідроабразивною обробкою або під струменем дробу (чеканка, обкатка поверхні кульками й роликками). При цьому ущільнений та зміцнений шар складає 0,2-0,3 мм з високими напруженнями стиснення поверхні.

## РОЗДІЛ 5. КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ ТА СПЛАВИ.

Сьогодні кольорові метали та їхні сплави набули широкого застосування в машинобудуванні, електро- й радіотехніці, приладобудуванні й інших галузях промисловості завдяки багатьом цінним фізичним і хімічним властивостям: високій тепло- й електропровідності, малій густині, антифрикційним властивостям тощо. Чисті метали, такі як мідь, магній, олово та інші, використовуються в техніці порівняно мало через високу вартість та незначну міцність. Проте широкого застосування набули їх сплави.

### 5.1. Мідь та мідні сплави

Мідь - метал червоного, а на зламі рожевого кольорів. Температура плавлення 1083 °С, кристалічна ґратка гранецентрована кубічна, густина 8,94·10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup>. Мідь має найбільшу (крім срібла) електро- та теплопровідність. Вона добре протистоїть корозійним середовищам в атмосферних умовах, у морській воді, але малостійка до сірчистих газів та аміаку. Легко обробляється тиском, але погано різанням, має невисокі ливарні властивості через значну усадку. Мідь погано зварюється, але добре паяється. Залежно від чистоти виготовляють мідь у злитках таких марок: М00 (99,99% Cu), М0 (99,95% Cu),

М1 (99,9% Cu), М2 (99,7% Cu), М3 (99,5% Cu). Чисту мідь використовують тільки в електротехнічній промисловості та електровакуумній техніці

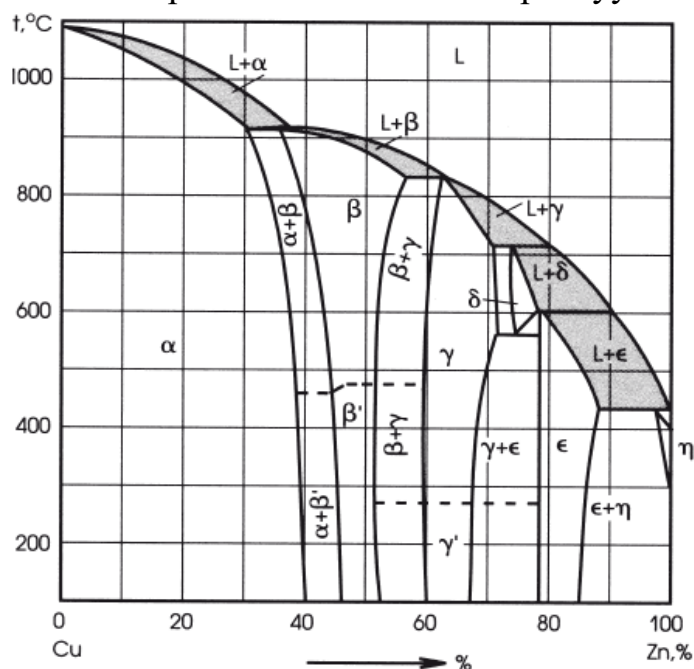


Рис. 5.1. Діаграма стану Cu-Zn

### 5.1.1. Сплави на основі міді.

Основні мідні сплави - це латуні та бронзи.

*Латуні* - це подвійні або багатокомпонентні сплави на основі міді, в яких основним легувальним елементом є цинк. Із діаграми стану мідь-цинк слідує, що при вмісті цинку <39% латунь складається із зерен твердої фази  $\alpha$ ; при вмісті цинку від 39% до 45% латунь має двофазну будову  $\alpha + \beta'$ ; при вмісті цинку 45-49% латунь повинна складатись із зерен твердого розчину  $\beta$ -фази; в діапазоні концентрацій цинку 49-60% структура латуні залежно від температури може бути  $\beta' + \gamma$ , або  $\beta + \gamma$ . Фаза  $\beta'$ , на відміну від  $\beta$ -фази, є більш твердою та крихкою,  $\gamma$ -фаза є сполукою  $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ .

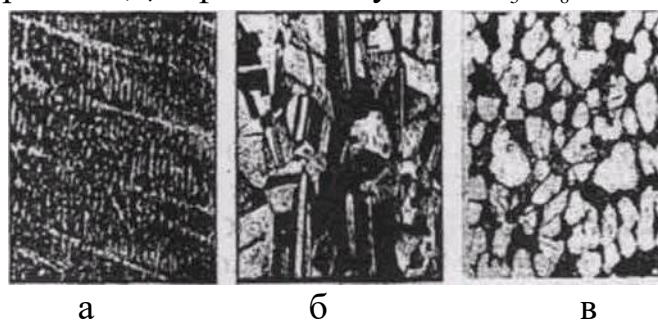


Рис.5.2. Мікроструктура латуні

Мікроструктура  $\alpha$ -латуні має дендритну будову (рис. 5.2, а): світлі ділянки - дендрити збагачені міддю, які закристалізувались першими із рідкої фази, темні ділянки - міждендритний простір, збагачений цинком. Відпалена  $\alpha$ -латунь (рис.5.2, б) має зернисту будову. Однофазні  $\alpha$ -латуні мають найбільшу пластичність, добре обробляються тиском у холодному та гарячому станах, корозійностійкі. Двофазні  $\alpha + \beta'$ -латуні (рис. 5.2, в) володіють заниженою пластичністю, але добре обробляються тиском в гарячому стані, якщо вони переведені у однофазний  $\beta$ -стан. Подвійні латуні часто легують  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Sn}$ ,



*Pb* та іншими елементами. Введення легувальних домішок зменшує або, навпаки, збільшує розчинність цинку в міді, що дає можливість керувати різними технологічними властивостями. Такі латуні називають *спеціальними* або *багатокомпонентними*.

При маркуванні за Держстандартом латуні позначаються початковою літерою Л, після чого вказуються перші літери основних елементів, які утворюють сплав: О - олово, Ц - цинк, Мц - марганець, Ж - залізо, Ф - фосфор, Б - берилій, Х - хром). Цифри, які йдуть за літерами, вказують кількість легувальних елементів у відсотках. Наприклад, ЛЖМц 54-2-1 означає, що латунь містить 54% *Cu*, 2% *Fe*, 1% *Mn*, решта 43% - *Zn*; ЛАЖ 60-1-5 означає: латунь містить 60% *Cu*, 1% *Al*, 5% *Fe*, решта - 34% *Zn*.

Усі латуні за технологічною ознакою поділяються на дві групи:

- деформовані, які йдуть на виготовлення листів, полос, труб, дроту,
- ливарні, котрі мають високу рідинотекучість, мало схильні до ліквіації, володіють антифрикційними властивостями й використовують для фасонного лиття.

*Бронзи*. Назва бронзам дається залежно від елемента, з яким сплавляється мідь - *олов'яниста, алюмінієва, кремніста, берилієва* та інші. Прийнято такий принцип маркування усіх бронз: на початку ставляться літери Бр, а далі виконується той же принцип, що й для латуней. Наприклад, БрОЦС 10-4-1 означає олов'янисту бронзу, що містить 10% *Sn*, 4% *Zn*, 1% *Pb*, а решта 85% *Cu*; БрАФ 8-1,5 - бронза алюмінієва, містить 8% *Al*, 1,5% *P*, решта 90,5% *Cu*. Інколи при маркуванні бронз процентний вміст легувальних домішок може вказуватись зразу ж після умовної букви, наприклад, остання марка бронзи може бути записана БрА8Ф1,5.

Фазові діаграми *Cu-Sn*, *Cu-Al*, *Cu-Si*, *Cu-Be* досить складні, а сплави відповідно можуть мати значну кількість фаз, які при різних температурах поведуться специфічно. Тому обмежимося розглядом застосування бронз, як конструкційних матеріалів.

*Олов'янисті бронзи* містять до 10% олова. Ці бронзи, як правило, легують цинком, залізом, фосфором, свинцем, нікелем та іншими елементами. Цинк покращує технологічні властивості бронзи, фосфор — ливарні властивості, підвищує твердість та міцність, нікель підвищує механічні властивості, корозійну стійкість, залізо здрібнює зерна, але погіршує технологічні властивості й опір корозії.

Як і латуні, олов'янисті бронзи бувають *деформовані*, котрі йдуть на виготовлення прутків, дроту як заготовок для пружин і пружинних деталей, та *ливарні*, що йдуть на виготовлення деталей литтям.

*Алюмінієві бронзи*. Найчастіше застосовують алюмінієві бронзи подвійні БрА5 та БрА7, а також додатково леговані нікелем, залізом, марганцем, іншими елементами. Ці бронзи застосовують в основному для різних втулок, напрямлювальних сідел, флянців, шестерень, інше. Алюмінієві бронзи добре протистоять корозії та мають високі механічні й технологічні характеристики, легко обробляються тиском у гарячому стані, а при вмісті алюмінію 7-8% - і в холодному стані. Внаслідок добрих ливарних властивостей із них можна

виготовляти різні деталі-вилівки, хоча слід враховувати значну усадку металу. Бронзи, що містять 9-11% алюмінію, а також нікель, марганець і залізо, можуть зміцнюватись загартуванням. Наприклад, бронза БрАЖН 10-4-4, маючи початкову твердість НВ 170-200, після загартування при 980°C та відпуску при 400 °С досягає твердості НВ400.

Властивості алюмінієвих бронз значною мірою залежать від вмісту алюмінію: сплави із вмістом алюмінію 4-5% мають високу пластичність й міцність, при збільшенні вмісту алюмінію до 10-12% зменшується міцність сплавів, залізо в алюмінієвих бронзах здрібнює зерна та підвищує механічні і антифрикційні властивості, нікель покращує зносостійкість.

*Кремністі бронзи* містять кремнію до 3,5%, що значно підвищує міцність та покращує пластичність бронз. У такі бронзи, як правило, вводяться нікель та марганець, які поліпшують механічні та корозійні властивості бронз. Кремністі бронзи легко обробляються різанням, тиском, легко зварюються, мають високу пружність та корозійно стійкі. Їх застосовують для виготовлення пружин та пружинистих деталей приладів, радіообладнання, що працює при підвищених температурах (до 250 °С), в агресивних середовищах (прісна та морська вода).

Деяко аналогічні властивості мають і *берилієві бронзи*. Поряд з високою межею міцності, текучості й пружності берилієві бронзи добре протистоять корозії, зварюються та обробляються різанням.

Особливе місце займають *свинцеві бронзи*. Оскільки свинець повністю не розчиняється в рідкій міді, тому сплави після тверднення складаються із кристалів міді та вкраплень свинцю, які розташовуються вздовж зерен або заповнюють міждендритний простір. Така структура бронз забезпечує високі антифрикційні властивості та дозволяє використовувати її для виготовлення вкладишів підшипників ковзання, що працюють при великих швидкостях та при значних навантаженнях. Цей вид бронзи має найвищу теплопровідність, тому добре відводить теплоту, що виникає під час тертя.

## **5.2. Алюміній та його сплави**

Алюміній — елемент III групи Періодичної таблиці, порядковий номер 13, атомна маса 26.98, температура плавлення 660 °С, має кристалічну гратку гранецентровану кубічну, сріблясто-білий колір, густина  $2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Алюміній має високу електро- (65%, порівняно з міддю) та теплопровідність.

Залежно від чистоти розрізняють алюміній А999 — особливої чистоти (99,999% Al), А995, А99, А97 і А95 - високої чистоти (відповідно 99,995%, 99,99%, 99,97%, 99,95% Al) і технічної чистоти : А85, А8, А7, А6, А5, А0 (відповідно 99,85%, 99,80%, 99,70%, 99,6%, 99,5%, 99,0% Al). Технічний алюміній виготовляють у вигляді листів, дроту та профілів різної конфігурації. Такий алюміній йде на виготовлення елементів конструкцій і деталей, що не несуть навантажень, коли потрібна висока пластичність, добра зварюваність, стійкість до корозії. Як основні домішки, в алюмінії присутні залізо, кремній, мідь, марганець та цинк. Основне застосування технічного алюмінію: трубопроводи, кабелі, електродріт, конденсатори, шини, цистерни та посуд для харчових продуктів, інше. Алюміній високої чистоти використовується в основному в радіоелектронній промисловості. Більш широко застосовуються сплави алюмінію.

**5.2.1. Класифікація алюмінієвих сплавів.** Найбільшого застосування набули сплави:  $Al - Cu$ ,  $Al - Si$ ,  $Al - Mg$ ,  $Al - Cu - Mg$ ,  $Al - Cu - Mg - Si$ ,  $Al - Cu - Si$  та  $Al - Zn - Cu - Mg$ . Усі алюмінієві сплави можна розділити на 3 групи:

- деформовані, тобто такі, що призначені для одержання листів, плит, дроту, профілей труб тощо;
- ливарні, що призначені для фасонного лиття;
- одержані методом порошкової металургії - САПи та САСи.

Для *ущільнення* більшості алюмінієвих сплавів застосовують *загартування* та *старіння*, а для *зняття деформаційних дефектів* структури — *відпал*. Загартування полягає у нагріванні до температури, коли надлишкові інтерметалідні фази, в основному, розчиняються в алюмінії, витримці при цій температурі та швидкому охолодженні до кімнатної температури для одержання пересиченого твердого розчину відповідного складу. Після загартування йде старіння, при якому сплав витримують при кімнатній температурі декілька діб або при підвищеній температурі 10-24 години. Внаслідок цього відбувається розпад пересиченого твердого розчину, що супроводжується ущільненням та зміцненням сплаву. Гомогенізаційному відпалу піддають злитки алюмінієвих сплавів для усунення їхньої дендритної ліквіації, яка супроводжується неоднорідністю твердого розчину. Температура гомогенізації 450-520 °С, витримка 4-40 год. Після гомогенізації структура сплавів стає дрібнозернистою, зменшується схильність до корозії напружених деталей. Для зняття наклепу та одержання дрібного зерна застосовують рекристалізаційний відпал, який полягає у нагріві до температур, вищих температури кінця первинної рекристалізації. Залежно від складу сплаву температура таких відпалів змінюється від 350 до 500 °С, витримка становить 0,5-2 год. Відпал для зменшення міцності сплавів після загартування та старіння проводять при 350-450 °С з витримкою 1-2 год. При цьому відбувається повний розпад пересиченого твердого розчину. Після відпалу сплав має низьку межу міцності, задовільну пластичність, високу корозійну здатність. До сплавів, які зміцнюються термічною обробкою, відносяться:

а) *Дуралюміни* - це сплави  $Al - Cu - Mg$ , в які додатково вводять марганець, який збільшує стійкість проти корозії. Як домішки, в дуралюмінах присутні залізо та кремній. Концентрація заліза не може перевищувати 0,7%, оскільки залізо зв'язує мідь і цим самим знижується ефект зміцнення при старінні. Кремній утворює фази, розчинні в алюмінії, які при старінні ущільнюють сплав, але міцність його зменшується. Дуралюміни, що виготовляються у листах, для захисту від корозії *плакують*, тобто покривають тонким шаром алюмінію високої чистоти, хоча така обробка помітно знижує міцність.

Найбільш поширені дуралюміни - Д1 та Д16 - добре обробляються різанням у загартованому стані та після старіння, але погано після відпалу, добре зварюються точковим зварюванням. Із них виготовляють деталі фюзеляжів літаків, кузови вантажних автомобілів, силові каркаси.

б) До *високоміцних алюмінієвих сплавів* належать сплави  $Al - Cu - Mg - Mn$ , леговані  $Zn$  та  $Cr$ . Найбільш поширені з них — В95 та В96. Ці сплави мають високу пластичність у гарячому стані та непогано деформуються в холодному після відпалу. Особливою міцністю відзначаються не листи, а профілі з цих

сплавів, що є результатом прес-ефекту. Сплав В95 добре обробляється різанням, з'єднується точковим зварюванням. Застосовується в літакобудуванні для виготовлення навантажених конструкцій. Сплав В96 використовують для виготовлення пресованих та кованих деталей.

в) Добавка кремнію у сплав  $Al - Cu - Mg - Mn$  робить його високوپластичним з досить високими ливарними властивостями. До цих сплавів належать сплави АК6 та АК8, які добре обробляються різанням, зварюються контактним та аргонодуговим зварюванням. Ці сплави рекомендують для сильнонавантажених штампованих деталей (лопаті гвинтів гелікоптерів, підмоторні рами, лонжерони тощо).

г) Для деталей, що працюють при температурах до 300 °С (поршні, головки двигунів літаків, обшивка надзвукових літаків, інше), широко використовуються жароміцні сплави типу АК4-1. Це сплави  $Al - Cu - Mg - Si$ , леговані  $Fe$ ,  $Ni$ ,  $Ti$ . Висока міцність досягається значним вмістом міді, марганцю й титану.

д) Відливки із ливарних алюмінієвих сплавів теж у більшості випадків піддають термічній обробці, але після виготовлення відповідних деталей литтям. Сплави для лиття повинні мати високу рідинотекучість, незначну усадку, опір корозії, малу схильність до утворення тріщин при охолодженні тощо. Цим вимогам відповідають алюмінієві сплави, фазова діаграма яких має евтектику:  $Al - Cu$ ,  $Al - Si$ ,  $Al - Mg$ , які додатково легують незначною кількістю легувальних елементів та вводять модифікувальні домішки, котрі здрібнюють зерно мікроструктури.

Основні ливарні алюмінієві сплави наступні:

- силуміни - це сплави  $Al - Si$ : АЛ2, АЛ4, АЛ9. З цих сплавів виготовляють масивні навантажені деталі - корпуси копресорів, картери й блоки циліндрів двигунів, інше;
- сплави  $Al - Cu$ : АЛ7, АЛ19, які йдуть на виготовлення литих невеликих деталей простої форми (арматура, кронштейни, кутники);
- сплави  $Al - Mg$ : АЛ8, АЛ27 хоч і мають занижені ливарні властивості (відсутня евтектика), але вони висококорозійностійкі, володіють покращеними механічними властивостями; додавання незначної кількості берилію зменшує окислюваність та дає змогу вести плавку без захисних флюсів; використовуються для деталей літаків та в суднобудуванні, де потрібна стійкість до корозії;
- жароміцні ливарні сплави: АЛ1, АЛ11, АЛ21 - йдуть на виготовлення поршнів, головок циліндрів, інших деталей, що працюють при температурах 275—310 °С;
- сплави АОЗ-1, АО9-2 - це сплави  $Al - Sn$ , які йдуть на виливання вкладишів та втулок швидкісних підшипників (підшипникові сплави).

Також значного поширення набули алюмінієві сплави, які термічно не обробляються - це сплави алюмінію з магнієм та з марганцем типу АМг та АМц. Ці сплави легко обробляються тиском, добре зварюються, володіють значною корозійною стійкістю, хоча обробка різанням ускладнена. З них виготовляють баки для нехарчових рідин, рами й кузови вагонів, ліфти, корпуси й мачти суден, інше.

Особливе місце серед алюмінієвих сплавів займають сплави на основі  $Al - Al_2O_3$  (САПи) та спечені гранульовані сплави алюмінію з металами перехідної групи  $Fe, Ni, Co, Mn$  та інші (САСи). САПи одержують холодним брикетуванням алюмінієвого порошка з наступним відпалом і пресуванням. Такі сплави мають високу жароміцність, витримують довготривалу роботу при температурах близько  $500\text{ }^\circ\text{C}$ . САСи йдуть на виготовлення деталей приладів, які працюють у парі зі сталлю в діапазоні температур  $20-200\text{ }^\circ\text{C}$  та потребують малої теплопровідності й низького коефіцієнта лінійного розширення.

### 5.3. Магній та магнієві сплави

Магній - лужноземельний метал II групи Періодичної системи елементів, порядковий номер 12, атомна маса 24,312, колір світло-сірий, густина  $1,74 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$ , температура плавлення  $650\text{ }^\circ\text{C}$ , кристалічна гратка гексагональна. Технічний магній випускають трьох марок: Мг96 (99,96% Mg), Мг95 (99,95% Mg) та Мг90 (99,90% Mg). На повітрі магній легко займається. У чистому вигляді використовується лише в хімічній та піротехнічній промисловості.

Властивості магнію значно поліпшують легуванням. Найбільш поширені сплави: Mg-Al, Mg-Zn, Mg-Mn, Mg-Zr та Mg-Al-Zn. Вказані легувальні домішки по-різному впливають на властивості сплаву: цинк підвищує механічну міцність; марганець підвищує опір корозії та поліпшує зварюваність; цирконій здрібнює зерно мікроструктури, поліпшуючи механічні властивості, підвищує опір корозії; берилій зменшує окислюваність при плавленні, литті й термічній обробці.

Магнієві сплави, як і алюмінієві, поділяють на: *сплави, котрі піддаються деформаціям* (маркуються МА), та *ливарні сплави* (Мл).

Сплав МА1 (Mg-Al) має високу технологічну пластичність, здатність до зварювання, корозійностійкий. Використовується для виготовлення арматури, бензо- та мастилосистем. Сплав МА14 (Mg-Zn) відзначається підвищеними механічними властивостями, жароміцний (до  $250\text{ }^\circ\text{C}$ ), використовується для виготовлення сильно навантажених деталей. Сплав МА2-1 (Mg-Al-Zn) має високі механічні властивості, високу технологічну пластичність, зварюваність, хоча більш схильний до корозії.

Серед ливарних магнієвих сплавів найбільш поширені: Мл5 та Мл6 (Mg-Al-Zn), які йдуть на виготовлення навантажених деталей двигунів корпусів коробок передач, гальмівних барабанів тощо; Мл10, Мл12 (Mg-Zn, легований Zr та Nd) йдуть на виготовлення навантажених деталей автомобілів, які потребують високої герметичності, стабільності розмірів.

Термічна обробка магнієвих сплавів схожа до обробки алюмінієвих сплавів і полягає у зміцненні загартуванням, старінні, вони можуть піддаватись гомогенізуючому та рекристалізаційному відпалам.

Для захисту більшості магнієвих сплавів від корозії вироби з них оксидують та фарбують.

### 5.4. Титан та його сплави.

Титан - метал IV групи Періодичної таблиці елементів, порядковий номер 22, атомна маса 47,69, температура плавлення  $1665\text{ }^\circ\text{C}$ , має сріблясто-білий

колір, густина  $4,5-10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Технічний титан випускається двох класів: VT1-00 (99,53% Ti) та VT1-0 (99,48% Ti). На поверхні титану легко утворюється захисна оксидна плівка, яка надійно захищає метал від корозії в прісній, морській воді та деяких кислотах. Шкідливими домішками у титану є азот, кисень, вуглець, водень, які утворюють з ним тверді розчини та зменшують його пластичність, погіршують зварюваність. Металургійна промисловість із технічного титану виготовляє листи, труби, дріт, прутки й інші напівфабрикати.

Проте більшого застосування в промисловості набули сплави титану. Майже всі промислові сплави у своєму складі мають алюміній, наприклад, сплав VT5 (5% Al), який добре штампується та кується на відміну від технічного титану. Крім алюмінію, в титанові сплави вводять Mo, V, Mn, Cr, Sn та у незначних кількостях Si. Широковідомі сплави, що використовуються для штампування й кування VT3-1 (Ti-Al-Mo-Cr-Si-Pe), VT5-1 (Ti-Al-Sn-Mn), VT14 (Ti-Al-Mo-V), VT22 (Ti-Al-Mo-V-Cr-Fe) та інші.

Титанові сплави не зміцнюють термічною обробкою, хоча деякі з них піддають рекристалізаційним відпалам.

Титанові сплави рідко використовують як ливарний матеріал через легку взаємодію з газами. Титан та його сплави використовують в основному там, де потрібно забезпечити високі питому міцність й опір корозії. Для підвищення зносостійкості титан азотують при 850-950 °C протягом 30 год.

## 5.5. Бабіти

*Бабіти* - це антифрикційні сплави, які застосовують для заливки вкладишів підшипників. Ці сплави повинні мати достатню твердість, але не настільки високу, щоб причинити зношування валів, повинні бути досить пластичними, утримувати мастило, мати малий коефіцієнт тертя між валом та підшипником.

Найбільш поширені олов'яні та свинцеві сплави (бабіти), а також застосовуються як антифрикційні сплави на основі цинку, алюмінію й міді.

*Олов'яні бабіти* Б88 і Б83 це багатокомпонентні сплави на основі сплаву Sn-Sb. Їх використовують у підшипниках потужних турбін дизелів суден, турбонасосів, турбокомпресорів та інших сильно навантажених механізмів.

*Свинцеві бабіти* Б16, БН, БС6 є сплавами Pb-Sn-Cu-Sb, їх застосовують для менш навантажених підшипників. На залізничному транспорті (підшипники вагонів, у тепловозних двигунах) застосовують кальцієві бабіти БК - це сплави Pb-Ca-Na, які більш зносостійкі та менш крихкі, ніж свинцево-сурм'яні.

Серед *цинкових антифрикційних сплавів* найчастіше використовують сплави ЦЛМ10-5 і ЦАМ9,5-1,5, які, крім алюмінію й міді, містять незначну кількість магнію. Внаслідок високих антифрикційних властивостей і достатньої міцності ці сплави можуть замінювати бронзу для вузлів тертя, де температура не перевищує 100 °C.

## 5.6. Матеріали високої твердості

*Твердими* називаються сплави, виготовлені методом порошкової металургії з карбідів тугоплавких металів (WC, TiC, TaC), зв'язаних кобальтом, наплавочні тверді сплави (високолеговані чавуни) та мінсралокерамічні сплави. Тверді сплави найчастіше виготовляють у вигляді стандартних пластин

(металокераміка й мінералокераміка) або у вигляді прутків (наплавочні сплави) для оснащення ними різального інструмента: різців, свердел, фрез тощо. Ці пластини до різального інструмента закріплюють мідним припоєм або кріплять механічно. Наплавочні тверді сплави наплавляються з допомогою електричної дуги або ацетилен-кисневого полум'я за шаблонами.

Існує 3 групи *металокерамічних твердих сплавів*: вольфрамокобальтові (ВК), титановольфрамокобальтові (ТК) та титанотанталовольфрамокобальтові (ТГК). Сплави ВК2 та ВК3 (відповідно 2% та 3% Со, решта WC) використовуються для обробки різанням чавуну, кольорових металів, неметалічних матеріалів. Ще більш зносостійкі ВК6 та ВК8, хоча вони не витримують ударних навантажень. Сплави Т5К10, Т15К8 (відповідно 5% та 15% TiC, 10% та 8% Со, решта - WC) менш міцні, ніж сплави ВК, але більш зносостійкі. Найкраще їх застосовувати для різання сталей. Сплави ТТ8К14, ТТ2К14 (відповідно 8% та 2% - сумарний вміст TiC та TaC, по 14% Со, решта - WC) мають вищу міцність, ніж сплави ТК й використовуються для попередньої обробки різанням сталевих поковок.

*Сплави мінералокераміки* виготовляють із порід, що містять оксид алюмінію. Пластинки з мінералокераміки одержують гарячим литтям під тиском та пресуванням. Мінералокераміка має високу твердість (HV~8000), але не витримує ударних навантажень, тому інструмент, оснащений металокерамічними насадками, використовується в основному для чистової обробки високолегованих та швидкорізальних сталей, чавунів. Із цих матеріалів виготовляють абразивні круги для полірування сталей, чавунів та інших твердих матеріалів. Найпоширеніші *наплавочні тверді сплави* - сормайт і стеліт. Стеліт-легований хромонікелевовольфрамокобальтовий чавун, сормайт-більш дешевий легований хромонікелевий чавун.

До матеріалів особливо високої твердості (HV~10000) належать природні та штучні алмази, кубічний нітрид бору, якими теж оснащують різальні інструменти для обробки всіх вище перелічених твердих матеріалів, а також скла, кварцу, кераміки, тощо.

## **РОЗДІЛ 6. МЕТАЛИ ТА СПЛАВИ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В ЕЛЕКТРО-ТА РАДІОТЕХНІЦІ**

Сьогодні неможливо уявити собі автомобіль, верстат, інший механізм, який би не був оснащений електродвигуном, трансформатором, дроселем чи цілим блоком управління, основа якого - напівпровідникові діоди, транзистори, мікросхеми, світлодіоди та багато іншого. Тому ця тема є не менш важливою у матеріалознавстві, ніж попередні.

### **6.1. Матеріали високої провідності. Намотувальні та монтажні провідники**

Електротехнічна промисловість є чи не найбільшим споживачем міді, її сплавів, алюмінію та його сплавів. Ці матеріали мають високу електричну

провідність, достатньо високі механічні властивості, корозійну стійкість, здатність оброблюватись у холодному та гарячому станах.

### **6.1.1. Провідникові матеріали на основі міді.**

Для провідників струму застосовують електролітичну мідь, яка переплавляється у злитки та збагачується киснем. Мідь застосовують для виготовлення емальованих та інших дротів, кабелів, шин розподільчих пристроїв, гнучких багатожильних шнурів, анодів при гальванічних покриттях.

Катодна мідь за Держстандартом випускається 5 марок: МВЧк, М00к, М0ку, М0к, М1к, яка відповідно містить чистої міді не менше 99,993%; 99,99%; 99,97%; 99,95%, 99,9%. Основні домішки у всіх марках міді - вісмут, сурма, миш'як, залізо, нікель, свинець, олово, сірка, цинк й фосфор. Мідь марок МВЧ та М00 не містить кисню. Для напівфабрикатів із міді М0 та М1 питомий електричний опір не перевищує  $1,724 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, для безкисневої міді не більше  $1,706 \cdot 10^{-8}$  Ом·м. Механічні властивості міді значною мірою залежать від термічної обробки. Після протяжки в холодному стані мідь має більш високу механічну міцність, ніж мідь відпалена, проте відпалена мідь може зазнавати значного витягування без руйнування.

Залежно від способів переробки електролітичної міді випускають мідні злитки таких видів: СВ - вертикальні неперервного виливання; СН - горизонтальні виливки з неочищеним шаром верхньої поверхні; СС - горизонтальні виливки з видаленим шаром верхньої поверхні; СП - горизонтальні виливки плоскі з неочищеним шаром верхньої поверхні. За Держстандартом маркування виливків містить не тільки вид, а й розміри виливків та марку сталі міді. Наприклад: СВ 90x90-1400 М0б - злиток з міді М0 (безкисневої), виготовлений при вертикальному неперервному виливанні, розміром прямокутного перерізу 90x90 мм та довжиною 1400 мм. Розміри злитків теж стандартизовані.

Із переплавленої міді виготовляють мідні листи та смуги товщиною від 0,4 до 12,0 мм та розмірами 600x2000, 600x1500, 800x200, 710x1400, 1000x2000 і неконтрольованої довжини (в рулонах). При маркуванні таких виробів додаються букви: Д - холоднокатані; Г - гарячекатані; ПР - прямокутного перерізу; Н - нормальної точності; П - підвищеної точності; М - м'які; Т - тверді; НД - неконтрольованої довжини. Крім цього, аналогічно до злитків вказуються розміри та марка міді, з якої виготовлені листи чи смуги. Наприклад: ГПРН 6x600x2000 М1р - лист гарячекатаної міді товщиною 6 мм, прямокутного перерізу 600x2000 мм, виготовлений з міді М1 (розкисленої).

Дріт-катанка діаметром від 6 до 22 мм виготовляється марок: МК-СВ, МК-СС, мідна катанка із міді злитків СВ або СС; МК-ЛП - мідь-катанка, одержана метолом неперервного лиття й прокатки; МК-ЛПС - мідь-катанка, виготовлена нсперевним литтям та прокатуванням, світла, на потребує додаткової обробки. Маркується, наприклад: МК-СС-12 - мідний катаний дріт, виготовлений із мідних злитків горизонтальної виливки з очищеним верхнім шаром, діаметром 12 мм; МК-ЛПС-17,8 - мідь-катанка, виготовлена нсперевним литтям та прокатуванням, світла, що не потребує додаткової обробки, діаметром 17,8 мм.



Дріт мідний, круглий, електролітичний діаметром від 0,02 до 9,42 д мм, виготовляється волочінням марок: ММ - мідь м'яка, МТ - мідь тверда, МС - мідь для повітряних електроліній та ліній з'язку. Питомий електричний опір такого дроту жорстко контролюється і для дроту діаметром менше 1 мм не перевищує  $1,724 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, а для дроту діаметром більше 2,5 мм не перевищує  $1,777 \cdot 10^{-8}$  Ом·м.

Мідний обмоточний дріт йде на виготовлення обмоток трансформаторів, дроселів, електромагнітних реле, електродвигунів тощо. Цей дріт може мати покриття (ізоляцію) з емалі, волокнистих матеріалів або комбіноване. Емаль має кращі електроізоляційні властивості, ніж волокнисті матеріали, крім того, емальований дріт має менший діаметр.. Електроізоляційні властивості капронового волокна й натурального шовку дещо кращі, ніж з бавовняного волокна. Капронове волокно має кращі характеристики порівняно з шовковим щодо стирання та дії таких розчинників, як бензин, мінеральні масла, інше.

При виборі марки дроту враховують не тільки діаметр, який визначає робочі струми певного електричною приладу, а ще й робочі температури, електричну міцність ізоляції, надійність. При підвищених вимогах до надійності електричних приладів рекомендуються дроти із подвійною ізоляцією: ПЭВ-2, ПЭВТЛ-2, ПЭЛР-2 та інші. Дріт з комбінованою ізоляцією застосовують при підвищених механічних навантаженнях у процесі намотки або експлуатації (ПЭПЛЮ, ПЭТЛО, ПЭЛШО, інші) Для виготовлення безкаркасних обмоток використовують дріт ПЭВД з додатковим термопластичним покриттям із лаків на полівінілацетатній основі, які при нагріві до 170 °С надійно склеюються, забезпечуючи добру ізоляцію між окремими витками.

Як окремий вид продукції мідного дроту, широко використовуються одна та багатожильні монтажні дроти в поліхлорвінільній, поліетиленовій, фторопластовій й волокнистій ізоляціях. Дріт з волокнистою ізоляцією застосовують в апаратурі, що працює при нормальних умовах (незначна волога й температура), коли унеможливлена конденсація вологи в апаратах і відсутні різкі перепади температури. Найбільш термостійкі провідники, що витримують температуру до 250 °С, з фторопластовою ізоляцією.

Для виготовлення листів, полос, труб та дроту, що використовується електротехнічною промисловістю, придатні латуні Л96 (томпак), Л85 (напівтокмак), Л68, Л63, Л60. Для виготовлення елементів електрообладнання у судно- та авіабудівництві найчастіше використовують леговані латуні: ЛА 77-2, ЛАЖ 60-1-1, ЛмцА 57-3-1, ЛО 90-1 та інші.

Для виготовлення електротехнічної апаратури, що працює у прісній волі, нафтопродуктах й парі до 250 °С, використовують деталі, виготовлені із бронзи марок: БрЛМиЛ 9-2, БрАЖЛ 9-3, БрАЖМц 10-3-2 та інші.

### **6.1.2. Провідникові матеріали на основі алюмінію.**

Алюмінієві провідники набули широкого застосування через низьку собівартість та низьку густину алюмінію. Питомий опір алюмінієвого дроту не перевищує  $2,8 \cdot 10^{-8}$  Ом·м.

Із алюмінію виготовляють дріт катаний діаметрами 9-23 мм марок: АК-одержаний прокаткою із злитків алюмінію; АКЛП-5ПТ - одержаний неперервним литтям та прокатуванням, напівтвердий; АКЛП-5І – теж, твердий. Методом волочіння виготовляють дріт алюмінієвий електротехнічних марок: АМ - алюмінієвий м'який, АПТ - алюмінієвий напівтвердий, АТ - алюмінієвий твердий і АТп - алюмінієвий твердий підвищеної міцності для неізольованих ліній електропередач. Діаметр цього дроту від 0,08 до 10,0 мм. При маркуванні, крім буквених індексів, вказується діаметр, наприклад: АТ-1,00 - алюмінієвий твердий дріт діаметром 1 мм.

Радіоелектронна промисловість широко використовує шини пресовані із алюмінію та алюмінієвих сплавів. Шини виготовляються довжиною від 3 до 6 м при площі поперечного перерізу до 1,5 см<sup>2</sup> та довжиною до 9 м з площею поперечного перерізу не менше 1,5 см<sup>2</sup>. Із шин, крім безпосереднього використання, виготовляють профілі кутників, напівтруб, труб, прямокутних труб, інше.

## 6.2. Матеріали високого опору

До сплавів високого електричного опору належать сплави, що мають значний питомий опір (більший ніж мідь, срібло, алюміній та їх сплави), сплави з малим температурним коефіцієнтом опору, сплави, які не плавляться і не окиснюються при високій температурі. Провідники високого опору можуть виготовлятися без ізоляції та в ізоляції, аналогічно до мідних дротів, тобто: у емалевій ізоляції, шовковій, бавовняній тощо. До них належать:

А) Сплави нікелеві та мідно-нікелеві, які широко використовуються в машинобудуванні, апаратуро-, приладо-, електромашинобудуванні, інших галузях. Ці сплави: НПО, НП1...НП4 - нікель напівфабрикат; НМц2,5, НМц5 - нікель марганцевокислий; НКО2 - нікель кремнистий, НХ9,5 - нікель хромистий (хромель); МНМц43- 0,5 - мідно-нікелевий марганцевий сплав (копель); МНМц3-12 - теж (манганін); МНМц40-1,5 - теж (константан), НМЖМц28-2,5-1,5 - сплав монель; МН16, МН 19 - мельхіор; МНЦ15-20 - нейзильбер та інші. Названі сплави випускаються у вигляді дроту діаметром від 0,02 до 2,6 мм. Питомий опір цього дроту лежить у межах від 0,3 до 0,66 Ом·м. Електричний опір манганінового дроту залежить ще й від температури.

Б) Дріт із прецизійних сплавів з високим електричним опором. Цей дріт підрозділяють: за призначенням - для нагрівальних елементів та для елементів опору (на залізохромистій основі), у маркуванні додається літера С; за живучістю: діаметром 3 мм та менше - нормальної живучості та підвищеної, у маркуванні додаються букви Н або П. Наприклад: 1,0-П-Х15Н60 - хромонікелевий дріт діаметром 1,0 мм, підвищеної живучості. Основні марки цих сплавів: Х13Ю4, Х23Ю5Т, Х27Ю5Т, Х25Н20, Х15Н60, Х15Н60, ХН70Ю та інші, які мають питомий опір від 1,04 до 1,47 мкОм·м.

В) Із прецизійних сплавів виготовляють стрічки з високим електричним опором для нагрівальних елементів та елементів опору.

Г) Матеріали термоелектричних термометрів. Дріт вищевказаних сплавів хромель, алюмель та копель діаметром 0,2, 0,3, 0,5, 0,7, 1,2, 1,5, 3,2, 5,0 мм йде на виготовлення термопар (Термопара - це спай двох різнорідних металів, який

використовується для вимірювання різниці температур між спаєм та кінцями дротин за значенням електрорушійної сили.

### **6.3. Напівпровідникові та надчисті матеріали та їх застосування.**

До напівпровідників відноситься понад 100 матеріалів та сплавів. Проте, найбільш поширеними напівпровідниковими матеріалами для виготовлення діодів, транзисторів, тиристорів, мікросхем та інших деталей є кремній та германій. Промисловість випускає:

А) Германій полікристалічний зонноочищений марок ГПЗ 1 та ГП 2. Його питомий опір при 23 °С складає 47 Ом·см. Виготовляється у вигляді злитків стандартизованих розмірів форми сегмента: довжиною 280 мм, шириною 43±1,5 мм, висотою 21 ±2 мм.

Б) Германій монокристалічний виготовляють електронного типу провідності, легований сурмою, та діркового типу провідності, легований галієм. Питомий опір залежить від кількості легувальних домішок, дислокацій тощо та складає від 0.1 до 45 Ом·см.

В) Кремній монокристалічний виготовляється у вигляді злитків, найбільш досконалим вважається метод Чохральського. Цим методом вдається одержувати злитки діаметром від 33 до 72 мм та висотою до 2000 мм. Принцип маркування: ЭКДБ-10-1г - *епітаксійний кремній діркової провідності, легований бором*, питомий опір 10 Ом·см, першої групи, підгрупи 2 (номер підгрупи вказує діаметр - 62,5 мм); ЭКЭФ -13-12а - *епітаксійний кремній електронної провідності, легований фосфором*, питомий опір 13 Ом·см, група 12, підгрупа а (діаметр 33,5 мм).

Г) Кремній монокристалічний для силової напівпровідникової техніки. У маркуванні : А, Б - кремній, одержаний методом Чохральського; БД, БА - кремній, одержаний методом безтигельної зонної плавки; 15, 20 - номінали питомого опору; 27,5 -номінальний діаметр злитка. Наприклад: БА-15/27,5.

До надчистих матеріалів, що використовуються у напівпровідниковому виробництві, належать майже всі метали та неметали Періодичної таблиці елементів. Загальний принцип маркування надчистих матеріалів такий: СВЧ або ОВЧ - надчисті (особливої чистоти) матеріали з контролем домішок 5-й знак після коми, тобто чистоти 99,9999; ВЧ - високочисті матеріали з контролем домішок 4-й знак після коми, тобто чистоти 99,999; ХЧ - хімічно чисті матеріали, чистоти 99,99; Ч - чисті матеріали (технічно чисті), чистоти 99,9.

### **6.4. Магнітні матеріали. Електротехнічні сталі**

До магнітних матеріалів належать матеріали на основі чистого заліза, нікелю, кобальту та їхніх сплавів. Основна властивість магнітних матеріалів - це здатність до намагнічування під дією зовнішніх магнітних полів. Усі магнітні матеріали можна розділити на 3 класи:

1. Магнітом'які матеріали з високою магнітною проникністю в слабких та середніх магнітних полях і низькою коерцитивною силою, тобто з низькою напруженістю магнітного поля, необхідною для повного розмагнічування попередньо намагніченого матеріалу. До них належать: електротехнічні сталі, пермалой, вікалой, термалой, які

використовуються для виготовлення магнітопроводів електричних машин, трансформаторів, двигунів, котушок, електромагнітів, інше.

2. Магнітотверді матеріали з високою коерцитивною силою, з яких виготовляють постійні магніти електричних машин, електровимірювальних приладів тощо.
3. Прецизійні матеріали зі спеціальними властивостями (висока магнітострикція, термомагнітні, корозійностійкі), з іншими властивостями, які йдуть на виготовлення магнітопроводників різних систем, що працюють при підвищених температурах, в агресивних середовищах, інше.

Магнітом'які матеріали вже частково розглянуто раніше. *Сталь електротехнічна* являє собою сплав заліза та кремнію (0,8-4,8%) та виготовляється у вигляді стрічок і листів товщиною від 0,05 до 1 мм. Маркується так: Э - сталь електротехнічна; перша цифра вказує ступінь легування кремнієм (1 - слаболегована, 2 - середньолегована, 3 - підвищенолегована, 4 - високолегована); друга цифра вказує на електромагнітні властивості сталі (1 - нормальні питомі втрати на частоті 50 Гц, 2 - понижені питомі втрати на частоті 50 Гц, 3 - низькі питомі втрати на частоті 50 Гц, 4 - нормальні питомі втрати на частоті 400 Гц, 5 - нормальна магнітна проникність у слабких магнітних полях, б - підвищена магнітна проникність у середніх магнітних полях, 7 - нормальна магнітна проникність у слабких магнітних полях, 8 - підвищена магнітна проникність у середніх магнітних полях), третя цифра 0 вказує на те, що сталь холоднокатана, буква А в кінці марки - на особливо низькі питомі втрати.

*Пермалой* - магніто-м'якнй матеріал на основі нікелю й заліза з високою магнітною проникністю в слабких магнітних полях на низьких частотах. Із збільшенням вмісту нікелю магнітна проникність зростає, але зростають і питомі втрати. При зростанні частоти магнітна проникність пермалоїв різко зменшується. Пермалой - дуже м'який матеріал, не витримує механічних ударів, сильно деформується, що призводить до погіршення магнітних властивостей. Пермалої випускають у вигляді холоднокатаних стрічок товщиною 0,02-2,5 мм, гарячекатаних листів товщиною 3-22 мм та гарячекатаних прутків діаметром 8-100 мм. Після виготовлення з них деталей радіотехнічного призначення пермалої термічно обробляють, що поліпшує магнітні властивості. Пермалої з малим вмістом нікелю 45Н та 50Н йдуть на виготовлення магнітопроводів малогабаритних трансформаторів, дроселів та інших намотувальних вузлів, що працюють з підмагнічуванням або у слабких магнітних полях. Легований кремнієм пермалой 38НС, 42ПС. 50НХС характеризується підвищеним питомим електричним опором та використовується для магнітопроводів, що працюють при високих частотах. При підвищених вимогах до температурної стабільності застосовують пермалой, легований магнієм, хромом та міддю, марок 76НХД, 77НМД.

Магнітотверді матеріали характеризується високою коерцитивною силою та використовуються для виготовлення постійних магнітів. До магнітотвердих матеріалів належать деякі вуглецеві сталі, вольфрамова, хромиста та кобальтова сталі, окремі сплави, а також ферити кобальту й барію.

Прецизійні магнітом'які сплави залежно від рівня магнітних властивостей виготовляються 3-х класів:

- з нормальними магнітними властивостями;
- з підвищеними магнітними властивостями;
- з високими магнітними властивостями.

### **6.5. Надпровідність та надпровідні матеріали**

*Надпровідність* - це властивість багатьох провідників, яка полягає в тому, що їхній електричний опір стрибкоподібне спадає до нуля при охолодженні нижче певної критичної температури  $T_k$  характерної для даного матеріалу. Основна проблема у фізиці надпровідності пов'язана з підвищенням температури переходу в надпровідний стан, тобто в створенні матеріалів, у яких температура переходу в надпровідний стан була б значно вищою від температури рідкого азоту.

1911 р. голландський фізик Х.Камерлінг-Оннес уперше спостерігав стрибкоподібне зникнення опору ртуті при  $T=4,15$  К. Ртуть поміщалась у капілярну трубку діаметром 0,05 мм. При  $T=4,15$  К опір ртуті, що вже зменшився до  $0,002 R_0$  ( $R_0$  - опір при 273 К), різко спадав до  $10^{-6}R_0$ , а при 1,5 К ставав меншим  $10^{-9}R_0$ . Бажаючи переконатись, що опір дійсно майже зникає, Камерлінг-Оннес застосував оригінальний метод. Він виготовив ртутне кільце, помістив його між полюсами магніту, охолодив нижче 15 К і вимкнув магнітне поле. У повній відповідності із знаменитим законом електромагнітної індукції Фарадея у кільці почав циркулювати електричний струм. Якби ртуть мала нормальний опір, то цей струм зменшився б до нуля за доли секунди. Проте, протягом 2000 годин не вдалось зафіксувати найменшого затухання струму.

Подібні експерименти були проведені Х.Камерлінг-Оннесом і для інших металів, таких як Pb, Sn, Cd. А незабаром стало зрозумілим, що за винятком таких Cu, Ag, Au, Pt, Li, Na, K, Ca, Sr, Ba, Fe, Co, Ni та деяких інших, більша частина решти металічних елементів здатні переходити у надпровідний стан. Причому, для деяких із них питомий опір у надпровідному стані стає  $< 10\text{-}20$  Ом·см. Для порівняння: питомий опір найкращих провідників струму - чистих Cu та Ag складає близько  $10^{-9}$  Ом·см при температурі рідкого гелію. Деякі елементи, як Si, Ge, Bi, стають надпровідниками при охолодженні під тиском. Перехід у надпровідний стан спостерігається і в декількох сотень металевих сплавів та сполук, а також в окремих сильнолегованих напівпровідників та у великій кількості (сьогодні відомо близько 1000) інтерметалічних сплавів. Значення  $T_k$ , майже для усіх відомих елементарних надпровідників лежать у діапазоні температур рідкого гелію та водню, тобто  $< 20,4$  К.

Ще один важливий параметр, що характеризує властивості надпровідника - значення напруженості критичного магнітного поля  $H_k$ . 1914 року, Х.Камерлінг-Оннес виявив, що надпровідний стан руйнується магнітним полем, коли напруженість поля перевищує деяке значення  $H_k$ . З'ясувалось, що  $H_k$  залежить від природи матеріалу та його температури. Причому, критичне магнітне поле, яке руйнує надпровідний стан, може бути створене й самим струмом у надпровіднику. Тому існує критичне значення струму  $I_k$ , при якому надпровідність зникає.

Внаслідок багаторічних досліджень були одержані матеріали, які не втрачали надпровідності при значних густинах струму, що дало змогу виготовляти потужні надпровідні електромагніти; але з'ясувалось, що підвищувати критичну температуру - це досить складна проблема. Лише 1973 року була одержана і інтерметалічна сполука  $Nb_3Ge$ , для якої температура надпровідного переходу зросла до 23,2 К, що трохи вище температури кипіння рідкого водню. 1986 року з'явилося повідомлення співробітників цюрихського відділку американської фірми "Bell" Г. Беднорца та А. Мюллера про властивість кераміки на основі оксидів міді, барію та лантану переходити у надпровідний стан при 30 К. Успіх начебто і невеликий, однак це відкриття мало принципове значення, оскільки названі дослідники першими звернули увагу на оксиди як на потенційні надпровідники.

Незабаром після перших публікацій Беднорца та Мюллера з'явилися повідомлення із лабораторії "Bell" у Нью-Джерсі (США) про те, що сполука  $CuLa_{1-x}Sr_xO_4$  має температуру надпровідного стану 35-37 К. Вимірювання магнітної сприйнятливості цих зразків підтвердило, що не йдеться про зменшення опору, пов'язаного з якимись побічними ефектами, а що сполука дійсно має надпровідний стан. Річ у тім, що, переходячи у надпровідний стан, речовина стає ідеальним діаманетиком і повністю виштовхує із свого об'єму зовнішнє магнітне поле (так званий ефект Мейснера). Саме ця властивість і спостерігалась у новій сполуки. Почалися інтенсивні пошуки аналогів відкритої сполуки, легуючи її різними іонами. Незабаром грандіозного успіху добилися вчені групи співробітників Х'юстонського університету (США) на чолі з С. Чу. досягнувши температури надпровідного стану 93 К. Це досягнення одержало назву високотемпературної надпровідності.

Але період сенсацій про відкриття надпровідників із все більш високою температурою переходу на цьому поки що й закінчився. Серед матеріалів, які повністю і стабільно виявляють надпровідні властивості, «рекордсменом» залишається ітрій-барієва кераміка з температурою переходу близько 100 К. Серед інших керамік, які характеризуються частковою заміною ітрію або барію скандієм, стронцієм та іншими елементами, а кисню - фтором. Теоретично знайдені склади сполук, які начебто повинні виявляти надпровідність при температурах 160 К, 240 К та більше.

У мікроелектроніці та обчислювальній техніці нові надпровідники можна застосовувати вже сьогодні, бо тут не потрібні великі струми. Спроби використати надпровідники в мікроелектроніці були й раніше, розроблені були навіть окремі елементи (надпровідний ключ, надпровідний елемент пам'яті - криотон), але широкому застосуванню заважала висока ціна охолодження до робочої температури. Сьогодні ж, при відкритті високотемпературної надпровідності, проблеми в охолодженні до азотних температур немає. Більше того, це навіть корисно, оскільки одночасно знижується рівень шумів.

З допомогою плівкової технології надпровідні ключі та криотони можна виготовити надзвичайно мініатюрними з високою густиною монтажу. Тому надпровідні блоки пам'яті будуть мати велику ємність при досить скромних габаритах. 1991 року важливе відкриття зробили співробітники Рочестерського університету (США), виявивши, що по надпровідній лінії

можна передавати без спотворення імпульсні сигнали тривалістю 10-15 пікосекунд. Це відповідає швидкості передачі інформації до 1011 біт за секунду, що в десятки разів перевищує можливості оптичних ліній зв'язку.

Найближче практичне застосування високотемпературної надпровідності почнеться лише з промисловим випуском надпровідних дротів. Річ у тім, що надпровідна кераміка - досить крихкий матеріал. Найбільш відоме на сьогодні досягнення - це роботи, фірми Pacific Superconductors (США). 1993 року виготовлені гнучкі багатожильні провідники для магнітних котушок та силових ліній довжиною близько 20 м, хоча окремі тонкі жили вже можна одержувати довжиною до 1 км. Ці провідники мають товщину 0,9 та ширину 5,7 мм і містять 12 надпровідних жил діаметром 0,2 мм у мідній оболонці. З допомогою надпровідного підвісу можна створити надшвидкісну центрифугу, в якій не буде тертя у підшипниках, оскільки їх не буде конструктивно.

Особлива увага до створення транспорту на основі магнітної левітації. Так, Росія 1990 року планувала за японською технологією побудувати транспортну систему, яка з'єднала б центр Москви із міжнародним аеропортом «Шереметьєво». Це уможливило б поїздам рухатись зі швидкістю більше 280 км/год, та зменшити час доставки пасажирів із 1,5 години до 15 хвилин. Але всі ці цікаві речі стануть реально можливими, якщо вдасться розв'язати проблему великої густини струму. Тому найголовніше завдання сьогодення - розвивати технологію високотемпературних надпровідників, навчитись одержувати надпровідники високої якості та надійності.

## **РОЗДІЛ 7. НЕМЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ**

До неметалевих матеріалів, належать великі класи матеріалів: пластичні маси, деревні матеріали, клеї, фарби, полімери, скло, інші, котрі використовуються як заміники металів або як самостійні матеріали. Застосування неметалевих матеріалів забезпечує значну економічну ефективність, оскільки поряд з властивостями, за якими вони не поступаються металам, а й перевищують їх: механічна міцність, легкість, термічна й хімічна стійкість, високі електроізоляційні властивості, неметалеві матеріали - особливо технологічні та дешеві.

### **7.1. Порошкові матеріали**

Порошкові матеріали одержують методом порошкової металургії, відновленням металів із окислів та солей, подальшим пресуванням утворених металевих порошоків та спіканням у захисній атмосфері чи вакуумі (температура нагріву становить 75% від температури плавлення відповідного металу). Такі матеріали використовують для виготовлення пористих втулок та підшипників ковзання. Так, пористі підшипники виготовляють спіканням порошоків заліза, міді й алюмінію з доданням графіту й сульфідів для поліпшення ковзання. Пори, кількість яких складає 10-25%

площі кочення, заповнюються мастилом, тому такі підшипники можуть експлуатуватись без додаткового змащення.

Спечені матеріали на основі заліза-міді-графіту з доданням карбідів кремнію або тугоплавких окислів використовують для фрикційних виробів - диски й сегменти вузлів гальмування. Вони мають високу зносостійкість та міцність до ударних навантажень.

Широко застосовують порошкові матеріали для фільтрувальних виробів. Фільтри у вигляді циліндрів, трубок, пластин із спечених порошоків Ni, Ti, Fe, Al, бронзи (з розміром пор 2-20 мкм) використовують для очистки рідин та газів від твердих домішок.

У електро- та радіотехніці широко використовують металокерамічні магніти, які виготовляють спіканням порошоків Fe-Ni-Al-Si-Co, які значно дешевші природних магнітів, але мають кращі магнітні властивості.

## **7.2. Лісоматеріали**

Деревина - цінний конструкційний матеріал, що наділений достатньо високими механічними властивостями, незначною густиною, добрим опором ударним та вібраційним навантаженням, незначним коефіцієнтом теплового лінійного розширення, хімічною стійкістю до багатьох кислот, солей, газів, мастил. Деталі з деревини швидко та надійно з'єднуються як з допомогою великої кількості клеїв, так і механічно (болти, шурупи, цвяхи). Хоча деревина має і ряд недоліків, які обмежують її використання: гігроскопічність, схильність до грибкових уражень, вогненестійка, анізотропія механічних властивостей.

### **7.2.1. Основні відомості про будову деревини.**

Хімічна структура різних порід деревини досить стабільна: 41-45% целюлози, 20-28% лігніну, решта - низькомолекулярні вуглеводи. Оскільки деревина має шарувато-волокнисту будову, то її властивості якраз і визначаються внутрішньою будовою. Будову деревини вивчають на трьох основних розрізах стовбура: поперечному або торцевому - поперек волокон (рис.7,1,а), тангенційному - під деяким кутом до осі волокон (б) та радіальному - вздовж стовбура (в).

На поперечному розрізі деревини розрізняють: заболонь (рис.7.1, 1), ядро (2), серцевину (3), серцевинні промені (4), луб (5), кору (6) та річні кільця (7). Причому, річні кільця можна спостерігати на усіх розрізах деревини: на поперечному - у вигляді концентричних кілець, на радіальному - у вигляді полос, на тангенційному - у вигляді параболічних кривих.



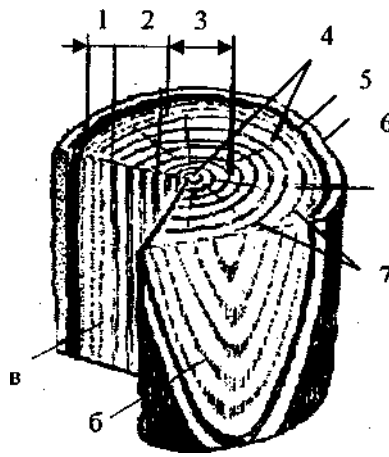


Рис.7.1. Основні розрізи та будова деревини:

- а) поперечний розріз;
- б) тангенційний розріз;
- в) радіальний розріз.

Основні вади деревини, які впливають на фізико-механічні властивості, - тріщини, сучки, враження грибковими бактеріями, пошкодження комахами.

Зовнішніми відмінними ознаками деревини є колір, текстура, блиск та запах. За кольором деревини визначають її якість. Рівномірне забарвлення характеризує доброякісність деревини; темні та кольорові смуги вказують на її пошкодження гниллю та цвілью. Колір деревини змінюється від білого до чорного. Деревина ялини, смереки, липи, осики білого кольору; берези, клена, бука - білого з червоним відтінком; дуба, каштана - сіро-бурого; груші, кедр, сосни - рожевого; горіха -коричнювато-сірого.

Текстурою деревини називають малюнок на її розрізах, характерний для кожної породи дерева і який утворюється різним розміщенням волокон, серцевинних променів, видом річних кілець і т.д.

У деревини декоративних порід ( червоне дерево, клен, грецький горіх, дуб) гарна текстура збігається з приємним кольором та блиском. Деревина ряду порід (бук, ясен та інші) в природному стані має блиск, який найбільше виражений на радіальній поверхні й залежить головним чином від близько розташованих один до одного серцевинних променів. Чим світліша деревина, тим вона більше блищить.

Запах деревини зумовлений ефірними маслами, смолами й дубильними речовинами, які містяться в ній. Деревина хвойних порід має запах скипидару, приємний запах у кипариса, піхти. Деревина листяних порід пахне слабо.

### 7.2.2. Деякі властивості природної деревини.

Вологість деревини – це ступінь насичення деревини водою, виражена в процентах стосовно маси; сухої деревини:

$$W = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%$$

де  $W$  - вологість деревини, ( % );  $m$  - маса зразка вологої деревини, ( г );  $m_0$  - маса зразка абсолютно сухої деревини, ( г ).

За ступенем вологості розрізняють деревину кімнатно-суху (вологістю 8-12%); повітряно-суху (вологістю 12-18%); напівсуху (вологістю 18-23%). Деревина вологістю більше 23% називається сирою, а та, яка перебуває довгий час у воді, - вологою. Для вимірювання вологості деревини найчастіше користуються ваговим та електричним методами.

При ваговому методі вирізають зразки деревини призматичної форми розміром 20x20x30 мм, відчищають від тирси та пилу, нумерують та зважують з точністю до 0,01 г, визначаючи початкову масу. Зважені зразки кладуть у сушильну шафу й витримують при температурі  $376 \pm 2$  К (вище 378 К

температуру не піднімають, щоб не виділялась смола й не розкладалась деревина). Перше зважування зразка проводять через 30 хв. після початку сушки, друге та наступні - через кожні 15 хв. Якщо різниця при двох останніх зважуваннях складає менше 0,02 г, то вважають, що деревина абсолютно суха. Після цього визначають вологість за розрахунками. Переваги вагового методу - доволі точне визначення вологості деревини при будь-якій кількості вологи, недолік - тривалий час проведення.

*Електричний метод* полягає в тому, що вологість деревини визначають з допомогою електровологоміра. Дія цього приладу ґрунтується на вимірюванні електропровідності деревини залежно від її вологості. Робочою частиною електровологоміра є дві голки з підведеними до них електропровідниками. Голки електровологоміра вколюють у деревину, пропускають через них струм і за циферблатом приладу знімають покази одержаної вологості. Переваги цього методу - швидкість виконання, недолік - невисока точність.

Під *усушкою деревини* розуміють зменшення її розмірів та об'єму при висиханні. Лінійна усушка деревини в різних напрямках не однакова: в тангенційному – 6-12%, в радіальному – 3-6%, вздовж волокон (поздовжня)- 0,1-0,3%. Повна об'ємна усушка складає 10-14%.

*Лінійну усушку* зразка (в процентах) визначають за такими формулами; в радіальному напрямку

$$V_p = \frac{b - b_1}{b_1} \cdot 100\% ,$$

в тангенційному напрямку

$$V_T = \frac{a - a_1}{a_1} \cdot 100\% ,$$

де  $a$  та  $b$  - розміри зразка в тангенційному й радіальному напрямках до висушування;  $a_1$  та  $b_1$  - після висушування. \*

*Об'ємну усушку* ( повну ) знаходять, користуючись формулою: \*

$$V_{об} = \frac{V_W - V_0}{V_0} \cdot 100\% ,$$

де  $V_W$  - об'єм зразка при вологості в межах гігроскопічності  $w_{н.з.} = 23-30\%$ ;  $V_0$  - об'єм зразка, висушеного до абсолютно сухого стану Практично користуються коефіцієнтом *усушки*  $K$ , який являє собою середню усушку при зміні вологості на 1 % і визначається за формулою:

$$K = \frac{V_{об}}{W_{н.з.}} = \frac{V_{об}}{23-30\%}$$

Для різних порід деревини повна усушка в радіальному напрямку складає  $V_p = 3-5\%$ , в тангенційному -  $V_T = 6-10\%$ .

Густина деревини залежить від породи і вологості. Густина деревини  $\rho_W$  при даній вологості визначається за формулою:

$$\rho_W = \frac{m_W}{V_W} ,$$

де  $m_W$  - маса зразка при даній вологості, кг;  $V_W$  - об'єм зразка до висушування, м<sup>3</sup>. Для більшості порід дерев густина повітряно-сухої деревини складає (0,34-

0,98 )  $10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Більш легкими породами є сосна, ялина, липа, осика, вільха, більш важчими - граб, груша, дуб, бук.

Внаслідок специфічності внутрішньої будови механічні властивості деревини анізотропні та залежать від вологості й інших факторів. Так межа пружності при розтязі та стисненні у поздовжному напрямку в 10-30 разів більша, ніж у поперечному, а межа міцності вздовж волокон нижча у 6-30 разів, ніж уздовж.

### 7.2.3. Різновиди деревини та застосування.

У будівництві, в меблевій промисловості деревина використовується у вигляді лісоматеріалів: дощок, брусів, шпал, колод тощо. Обробка спиляного стовбура полягає в очищенні його від кори та сучків з подальшою обробкою на пилорамах, рейсмусових та інших верстатах. Для підвищення стійкості проти гниття її оброблюють креозотом та смолами, а для надання антигорючих властивостей наносять силікатні фарби, рідке скло, інше.

*Пресована деревина* одержується ущільненням природної деревини в розпареному стані волокон. Це дає можливість одержувати якісний конструкційний матеріал з густиною  $(1,1-1,42)10^3$  кг/м<sup>3</sup> з підвищеними механічними властивостями та зносостійкістю. Тому використовується як антифрикційний матеріал для підшипників ковзання, в умовах недостатньої кількості мастила та в умовах абразивного та хімічного середовища. Вкладиші з такої деревини мають вдвічі менше зношування, ніж бронзові, зменшується витрата мастил.

*Фанера* - листовий матеріал, одержуваний склеюванням тонкого шпону (0,3-0,5 мм) деревини, який виготовляється на спеціальних верстатах. Промисловість випускає фанеру 3-х, 5-ти, 7-ми, 9-ти та 11-ти шарову, загальною товщиною від 1 до 12 мм. Залежно від типу клею та ступеня водостійкості розрізняють такі основні марки фанери: ФСФ - на фенолоформальдегідному клеї з підвищеною водостійкістю, ФК - на карбамідному та ФБА - на альбуміноказеїновому клеях із середньою водостійкістю, ФБ - на білкових клеях, неводостійкі.

Як різновиди фанери, промисловість випускає *лігнофоль* – це фанера із березового шпона, просочена термореактивною смолою з нагріванням до - 140-150 °С, та *армовану фанеру*, яка містить проміжні металеві листи або металеву сітку.

*Деревинностружкові плити* виготовляють гарячим пресуванням деревної стружки, насиченої відходами смол та інших зв'язувальних речовин. Ці плити випускаються одношарові (ПС-1, ПТ- 1), тришарові, (ПС-3, ПС-3) та оздоблені шпоном, фанерою, папером (ЕМ, ЕС). Знаходять широке застосування у будівництві, меблевій, вагонобудівній промисловостях.

*Деревинношаруваті пластики* - (ДШП), одержують гарячим пресуванням відходів деревного шпону, насиченого синтетичними термореактивними смолами та застосовуються як конструкційний звуко-, тепло- й електроізоляційний матеріал.

*Деревинноволокнисті плити (ДСП)* виготовляють із роздрібненої деревини, інколи із незначною добавкою смол та антисептиків. Під дією

високої температури та значного тиску деревні волокна спресовують у листовий матеріал. Розрізняють м'які пористі плити (М-4, М-12, М-20), напівтверді (ПТ-100), тверді (Т-350, Т-450) та надтверді (СТ-500). Деревинноволокнисті плити використовують для облицювання салонів пасажирського транспорту, залізничних вагонів, у будівельній промисловості.

### **7.3. Полімери та пластичні маси**

#### **7.3.1. Полімери.**

*Полімери* - це речовини, макромолекули яких складаються із численних елементарних ланцюжків (мономерів) однакової структури. До природних полімерів належить каучук, целюлоза, азбест, графіт, інші. Однак, переважне використання мають штучні полімери, кількість яких надзвичайно велика.

Найбільш велику групу штучних полімерів складають органічні полімери: смоли й каучуки, які широко використовуються як герметики, вихідні матеріали гуми тощо. Неорганічні полімери - силікатне скло, кераміка, азбест, слюда, графіт. Неорганічні полімери відзначаються високою густиною і теплостійкістю, однак вони досить крихкі, не витримують динамічних навантажень.

Обидва види полімерів можуть перебувати за нормальних умов у трьох фізичних станах: склоподібному, високоеластичному та в'язкотекучому. У склоподібному стані - полімери тверді та аморфні. Для високоеластичного стану характерна можливість зміни форми та розмірів при незначних навантаженнях і відновлення їх після припинення дії сили. В'язкотекучий стан нагадує рідкий стан з дуже високою в'язкістю.

Основним недоліком усіх полімерів є старіння, тобто самовільні необоротні зміни основних технічних характеристик, які відбуваються внаслідок складних фізико-хімічних процесів при експлуатації та зберіганні. Причинами старіння є дія світла, тепла, кисню, озону. Старіння прискорюється внаслідок багатократних деформацій, по-різному впливає волога. Для запобігання старінню в полімерні матеріали вводять стабілізатори, які значно подовжують строки експлуатації. Так, поліетилен (продукт полімеризації) без стабілізаторів стає крихким через 1-1,5 роки при звичайних умовах помірного клімату та через 1-2 місяці при  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  й відносній вологості 60%. Строк його експлуатації продовжують до 5 років уведенням, як стабілізатора, сажі.

#### **7.3.2. Пластичні маси.**

*Пластмаси* - це штучні матеріали, які одержують на основі природних або синтетичних органічних полімерних речовин уведенням;у, них наповнювачів (кварцева мука, скловолокно, папір, азбест, інші), пластифікаторів (дибутилфталат, стеарин, олеїнова кислота), стабілізаторів (сажа, вугілля) та пігментів (оксид заліза, оксид свинцю, оксид хрому та інші). Пластмаси при нагріванні розм'ягчуються, стають пластичними так, що дією тиску їм можна надавати задану форму, яка зберігається після охолодження. Властивості пластмас залежать від складу, тобто від виду та кількісного співвідношення складових, що дає змогу в достатньо широких межах варіювати їхніми фізико-технологічними характеристиками. Основний недолік пластмас –

невисока теплостійкість, низькі межа пружності та ударна в'язкість, схильність до старіння.

За характером вихідного полімера пластмаси поділяють на *термопластичні* (термопласти), які одержують із термопластичних полімерів, і *терморективні* (реактопласти) - на основі терморективних смол. Термопласти зручні для переробки у виробі, оскільки дають незначну усадку при твердненні (1-2,6%), характеризуються малою крихкістю, достатньо пружні. Терморективні полімери після тверднення дають значну усадку (6-13%), досить крихкі. Вироби із термопластів можуть піддаватись повторній переробці, вироби ж із терморективних пластмас повторній переробці не підлягають.

Для практичного використання у терморективні полімери вводять підсилювальні наповнювачі. За видом такого наповнювача пластмаси поділяють на *порошкові* (деревна мука, сульфідна целюлоза, графіт, інші), *волокнисті* (відходи бавовни та льону - *волокніти*; скляні волокна - *скловокніти*; азбест - *азбоволокніти* ; вугільні та графітові волокна - *карбоволокніти*) ; *шаруваті* ( листи відходів паперової промисловості - *гетинакс*; бавовняні, скляні, азбестові листи - *текстоліт, склотекстоліт, азботекстоліт*; деревний шпон - *деревинношаруваті пластики*); *крихтоподібні* (наповнювачі у вигляді клаптиків тканини, деревного шпону); *газонаповненні* (наповнювач - повітря або нейтральні гази - *пінопласти* та *поропласти*). Загалом промисловість випускає більше 80 видів пластмас. Властивості та застосування деяких, найбільш поширених, розглянемо нижче.

#### **7.3.2.1. Термопластичні пластмаси.**

*Поліетилен* - продукт полімеризації газу ацетилену. За густиною поділяється на поліетилен низької та високої густини. Чим вища густина поліетилену, тим кращі його механічна міцність і теплостійкість. У цілому поліетилен має низьку теплостійкість, тому його можна використовувати в діапазоні температур  $-70^{\circ}\text{C}$ - $+100^{\circ}\text{C}$ . Поліетилен хімічно стійкий, при кімнатній температурі не розчиняється у жодному з відомих розчинників, при нагріві стійкий до води, ацетону, спирту. Застосовують для виготовлення плівок, труб, ізоляційного матеріалу провідників, пресованих кесилових деталей.

*Поліпропілен* - похідний від поліетилену - це жорсткий нетоксичний матеріал з високими фізико-механічними властивостями. Порівняно з поліпропіленом витримує вищу температуру (до  $+150^{\circ}\text{C}$ ), але має занижену морозостійкість ( до  $-15^{\circ}\text{C}$ ). Його теж використовують для ізоляції провідників, труб тощо.

*Полістирол* - твердий, жорсткий, прозорий, аморфний полімер, має високі діелектричні властивості. Основні недоліки полістиролу - крихкість, схильність до старіння та утворення тріщин. Для усунення цих вад у полістирол вводять каучук. Полістирол хімічно стійкий до кислот та лугів, нерозчинний у воді, спирті, бензині, він найбільш стійкий серед усіх термопластів до радіоактивного випромінювання. Використовується як ізоляційний матеріал у радіотехнічній промисловості, для виготовлення деталей в автомобільній промисловості, для виготовлення посуду в хімічній промисловості.

При введенні в полістирол порофторів та з наступним піноутворенням одержують *пінополістирол* - чудовий тепло- та звукоізоляційний матеріал малої густини, хімічно- та водостійкий.

*Полівінілхлорид* - майже аморфний полімер, що має низьку температуру розкладання та досить крихкий, тому в чистому вигляді майже не використовується. Для підвищення пластичності вводять пластифікатори, одержуючи *пластикам*, а для запобігання від розкладання - стабілізатори, одержуючи *вініпласт*. Пластикат використовується як ізоляційний матеріал, йде на виготовлення лінолеуму, штучної шкіри. З ' вініпласту виготовляють листи, труби, ємності для хімічної та нафтопереробної промисловості.

*Органічне скло* - прозорий аморфний термопласт на основі складних ефірів органічних кислот. Досить легкий матеріал, має високу стійкість до атмосфери, оптично прозорий, добре пропускає ультрафіолетове проміння, стійкий до кислот, лугів, масил, розчиняється в ефірах, органічних кислотах, деяких вуглеводах, при 105-150°C виявляє пластичність, тому легко формується у різні деталі.

*Поліаміди* - це група пластмас з відомими назвами: капрон, нейлон, анід й інші. Поліаміди - це полімери, які кристалізуються, їхні властивості досить близькі: низька густина, низький коефіцієнт тертя, удароміцні, здатні поглинати вібрацію, стійкі до лугів, бензину, більшості спиртів. Основні недоліки - гігроскопічність та схильність до старіння. Із поліамідів виготовляють шестерні, втулки, підшипники, болти, гайки, деталі ткацьких верстатів, використовуються в електротехнічній промисловості та медицині.

*Фторопласт-4* - термічно й хімічно стійкий насичений полімер, аморфна фаза якого перебуває у високоеластичному стані. Може використовуватись до +250 °C (руйнується лише при +415 °C), стійкий до дії розчинників, кислот, лугів, окисників, не змочується водою, найбільш якісний діелектрик. Температура склоподібного стану -120 °C, хоча навіть при -269 °C не стає крихким. Руйнується лише під дією розплавлених лужноземельних металів та елементарним фтором. Використовується для виготовлення труб, по яких подаються хімікати, вентилів, кранів, прокладок, ущільнювачів, як антифрикційний матеріал для підшипників тощо.

*Фторопласт-3* є кристалічним полімером, відрізняється від фторопласта-4 введенням у молекулярну будову атома хлору, від чого понижуються діелектричні властивості, але з'являється пластичність, чим поліпшується оброблюваність. Інтервал робочих температур від -105 °C до +70 °C. Використовується як низькочастотний діелектрик, йде на виготовлення труб, клапанів, як захисний матеріал для металів.

*Полікарбонат* - відзначається високою тепло- та морозостійкістю, низьким водопоглинанням, має малу й рівномірну усадку при твердненні, що дає змогу виготовляти деталі високого класу точності, добрий діелектрик. Йде в основному на виготовлення корпусів електроприладів: пирососи, ручні дрилі, інше.

### **7.3.2.2. Терморективні пластмаси**

#### **7.3.2.2.1. Пластмаси з порошковими наповнювачами.**

Прес-порошки являють собою композиційні матеріали найчастіше на основі фенолоформальдегідної смоли з наповнювачами у вигляді деревної, целюлозної та кварцевої муки, азбесту, графіту. Із них виготовляють деталі електротехнічного призначення (розетки, вимикачі, патрони, інше), кесиліві деталі для машинобудування (кнопки, ручки, маховички, тощо), гальмівні колодки та диски трансмісії для транспортних засобів. Пластмаси, наповненні молотим кварцем чи фарфором, мають абразивні властивості.

#### **7.3.2.2.2. Пластмаси з волокнистими наповнювачами.**

*Волокніти* - це композиції із волокнистого наповнювача у вигляді відходів бавовняного виробництва насичених фенолоформальдегідними смолами. Порівнянне з прес-порошками мають дещо вищу ударну в'язкість, але в цілому волокніт є жорсткою масою, з якої не можна пресувати дрібногабаритні й тонкостінні деталі. Використовують для масивних деталей загальнотехнічного призначення з підвищеною стійкістю до ударних навантажень, що працюють на згин та кручення ( флянці, шківні шестерні, маховики, втулки).

*Скловолокніти* - скловолокнистий наповнювач, зв'язаний синтетичними смолами. Характеризуються високими електроізоляційними та механічними властивостями, погано механічно обробляється. Використовують для виготовлення деталей кузовів автомобілей, човнів, корпусів приладів, використовується як діелектрик та йде на виготовлення друкованих плат для радіотехнічної промисловості:

*Азбоволокніти* містять як наповнювач азбест - волокнистий мінерал, який легко розщеплюється на тонке волокно, основний полімер - фенолоформальдегідна смола. Основні переваги азбоволокніту - підвищена теплостійкість (витримують температуру  $>200^{\circ}\text{C}$ ), удароміцність, стійкий до кислих середовищ, має високі фрикційні властивості. Основне застосування - матеріал гальмівних пристроїв (накладки, диски, колодки, інше). *Фаолім* - різновид азбоволокніту, йде на виготовлення кислотостійких труб, ванн тощо.

#### **7.3.2.2.3. Шаруваті пластмаси.**

Гетинакс одержують на основі фенольних, аніліноформальдегідних і карбамідних смол та різних сортів паперу. Випускається у вигляді листів, труб, заготовок. Листові наповнювачі надають матеріалу анізотропності. Витримує температуру до  $140^{\circ}\text{C}$ , стійкий до дії хімікатів, розчинників, харчових продуктів. Залежно від якості наповнювача випускається електротехнічного призначення (як діелектрик) та декоративний, що може мати текстуру, схожу на деревину.

*Текстоліт* виготовляється із терморективних смол, наповнювач - бавовняна тканина. Серед шаруватих пластиків має найбільшу здатність поглинати вібрації, чинить значний опір роз'єднанню (розколюванню). Залежно від призначення вони поділяються на конструкційні (ПТК, ПТ, ГГГМ), електротехнічні (ЕПТ, ЕПТМ), гнучкі. Як конструкційний матеріал, текстоліт використовується для виготовлення шестерень (працюють без шуму до 30000

об/хв.). Текстолітові вкладиші підшипників працюють у 10-15 разів довше бронзових, хоча й не витримують температуру більшу 90 °С.

*Деревинношаруваті пластики* складаються з тонких листів деревного шпону, просочені формальдегідними смолами та спресовані у вигляді листів чи плит. Мають досить високі фізико-механічні властивості, низький коефіцієнт тертя, з успіхом замінюють гетинакс та кольорові метали й сплави. Шестерні з цього матеріалу в парі з металевими досить, довговічні й понижують рівень шумів. Йдуть на виготовлення валів, шківів, втулок та корпусів підшипників, інше. Недолік деревинношаруватих пластиків - чутливість до вологи.

*Азботекстоліт* в основному містить до 42% формальдегідних смол та решта - азбестова тканина. Найбільш високотеплостійкий серед шаруватих пластиків (витримує до +500°С), має високі ізоляційні та фрикційні властивості, стійкий до нафтопродуктів.

*Склотекстоліт* - шаруватий пластик, наповнювачем якого є склотканина. Склотекстоліт менш вібростійкий, ніж текстоліт, але більш теплостійкий, має вищі електроізоляційні властивості, стійкий до окиснювачів. Найкращі за механічними властивостями склотекстоліти з епоксидними наповнювачами.

#### **7.3.2.2.4. Газонаповнені пластмаси**

Газонаповнені пластмаси являють собою гетерогенні дисперсні системи, що складаються із твердої (еластичний полімер) та газоподібної (газонаповнювач) фаз. Розрізняють дві основні групи таких пластмас:

1. *пінопласти* - матеріали з комірчастою структурою, у яких бульбашки газу ізольовані одна від одної та від навколишнього середовища зв'язувальним полімером;

2. *поропласти* - пластики з відкритою пористою структурою.

*Пінопласти* - дуже легкий матеріал ( густина до  $0,2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>), має високі теплоізоляційні властивості, механічна міцність низька, але їхні властивості значною мірою залежать від густини матеріалу та властивостей зв'язувального полімеру. Так, пінополістирол використовується при температурах  $\pm 60$  °С, а фенолокаучукові пінопласти витримують температуру до +160 °С. Уведенням у пінопласти алюмінієвої пудри вдається збільшити робочу температуру до +250°С. Основне застосування - теплоізоляція холодильників, рефрижераторів, приладів, м'які еластичні покриття сидінь у транспорті, інше.

*Поропласти* - високоеластичний матеріал, має сильне водопоглинання. Використовується для теплозахисту в суднобудівній та авіаційній промисловостях

### **7.4. Гумові, скляні, клеєві та лакофарбні матеріали**

#### **7.4.1. Склад гуми та її класифікація за призначенням.**

*Гума* - це продукт вулканізації суміші каучуку (природного або синтетичного) й сірки з різними добавками. Серед основних добавок: прискорювачі активатори вулканізації, наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори. *Процес вулканізації* полягає в хімічній взаємодії каучуку та сірки, внаслідок чого між макромолекулами каучуку з'являються поперечні зв'язки приєднаної двовалентної сірки, які утворюють просторову сітку. Залежно від



кількості введеної сірки одержується різна частота сітки. Так, при введенні 1-5% сірки утворюється досить рідка сітка, гума набуває високоеластичного стану, при максимально можливій концентрації сірки (-30%) утворюється твердий матеріал - ебоніт. Для прискорення процесу вулканізації та поліпшення фізико-механічних властивостей гуми використовують прискорювачі (спеціальні хімічні сполуки - тіазоли) та активатори (оксиди двохвалентних металів - цинку, магнію, кальцію і кадмію).

*Наповнювачами* для гуми є високодисперсні неорганічні або органічні речовини, які можуть змінювати характеристики гуми - активні наповнювач - і або не змінювати її характеристик - інертні наповнювачі. До активних наповнювачів належать сажа, діоксид кремнію, силікати металів; до інертних - крейда, каолін та інші. Кількість наповнювачів досить різна (10-25%) залежно від необхідних властивостей гуми. Наповнювачі змінюють механічні властивості гуми, полегшують переробку, понижують вартість.

Уведення *пластифікаторів* (2-30%) в каучуки полегшує їх переробку, підвищує пластичність гуми, зменшує нагрівання при змішуванні складових. Основні пластифікатори - парафін, вазелін, стеаринова кислота, бітуми, рослинні та нафтові масла, соснова смола. Як *стабілізатори* у виробництві гуми використовують антиоксиданти - спеціальні хімічні сполуки, які підвищують стійкість каучукових сумішей до окислення киснем. Розрізняють хімічну та фізичну дію стабілізаторів. Хімічні антиоксиданти (альдоль, неозон та інші) затримують окислення каучуку внаслідок окислення їх самих. Фізичні стабілізатори (парафін, воск) утворюють поверхневі захисні плівки.

За *призначенням* гуми поділяють на гуми загального призначення та гуми спеціального призначення. Гуми загального призначення виготовляють з неполярних каучуків: НК - натуральний каучук, гума з якого має високу еластичність, міцність, водо- та газонепроникність, високі електроізоляційні властивості; СБК - синтетичний каучук бутадієновий, технічні властивості гуми з якого наближаються до властивостей попереднього класу; СКС - бутадієнстирольний каучук, - властивості гуми з якого, залежать від вмісту стиролу: чим більше стиролу, тим вища міцність, хоча гірша морозостійкість гуми; СКІ- синтетичний каучук ізопреновий, гума з нього, за фізико-механічним властивостям не поступається НК, хоча значно дешевша, йде також на виготовлення гум спеціального призначення - електроізоляційна та вакуумна гуми. Гуми загального призначення працюють у середовищах повітря, води, слабких кислот та лугів, у діапазоні температур -50 °С +150 °С. З них виготовляють шини, паски, транспортерні стрічки, ізоляцію кабелів, різні гумотехнічні вироби.

Гуми спеціального призначення - це маслобензостійкі, теплостійкі, електропровідні, харчові, медичні, водостійкі, вакуумні, діелектричні, вібростійкі та інші. Основа їх - природний та штучні каучуки: бутилкаучук, хлоропреновий (наірит), полісилоксановий, фтормісний, поліуретановий та інші каучуки.

Усі гуми відзначаються здатністю до значних високоеластичних деформацій, лише за температур -110 °С гуми стають крихкими, мають високу міцність, зносостійкість, низьку газо- та вологопроникність.

#### 7.4.1. Скляні матеріали та кераміки.

*Скло* - аморфний термопластичний матеріал, який одержується розплавленням неорганічних речовин - кварцового піску, глинозему, соди та борної кислоти з наступним переохолодженням. Плавлення компонентів відбувається при температурі  $\sim 1500$  °С. Технологія одержання скла містить: підготовку вихідних матеріалів та шихти, варіння скломаси та виготовлення виробів. У розплавлену масу вводяться барвники, освітлювачі, інші компоненти. Формування виробів із скла здійснюється різними способами: литтям, прокатуванням, пресуванням, витягуванням та видуванням. Для зняття внутрішніх напруг вироби піддають термічному обпалюванню при  $300-500$ °С. Для зміцнення скла та підвищення термічної стійкості до хімічного складу додають різні компоненти, застосовують загартування.

Для високовольтних ізоляторів, розрядників, виготовлення хімічної посуду тощо використовується кварцове скло, яке має високу теплопровідність, хімічну стійкість, високі діелектричні властивості.

Склокристалічні матеріали (ситали) одержують із твердого скла подвійною термічною обробкою при температурах  $500-700$ °С та  $900-1000$ °С. Структура ситалів багатофазна, складається із зерен кристалічної фази, скріплених між собою скловидними прошарками. Найцінніші властивості ситалів - виняткова дрібнозернистість, майже ідеальна полікристалічна структура, ізотропні властивості, досить мала усадка. Із ситалів виготовляють підшипники, деталі для двигунів внутрішнього згорання, сопла реактивних двигунів, труби для хімічної промисловості, оболонки вакуумних електричних приладів (електронні лампи, кінескопи тощо), інше.

У сучасній техніці широко використовується скловолокно, яке одержують витягуванням волокон із розплавленої скломаси. Воно характеризується високою міцністю, гігроскопічністю, хімічною стійкістю, високими електроізоляційними властивостями, низькою теплопровідністю. Його використовують для виготовлення склотканини, плит, скловати, які з успіхом застосовують для тепло- та звукоізоляції літаків, транспорту, в і холодильній техніці тощо.

*Кераміка* - неорганічний матеріал, який одержують із мінеральних мас внаслідок високотемпературного відпалу ( $1200-2500$  °С). Керамічні матеріали можуть бути виготовлені із глини, із штучно синтезованих керамічних матеріалів або із їхніх сумішей.

*Фарфор* - продукт відпалу суміші глини, кварцового піску та польового шпату застосовують як конструкційний та електроізоляційний матеріали для виготовлення хімічного обладнання.

*Фаянс* за складом аналогічний до фарфора, але більш пористий, застосовують для виробництва санітарно-гігієнічних виробів, посуду.

*Радіотехнічна кераміка* залежно від призначення поділяється на високоякісну, конденсаторну, форвакуумну, п'єзоелектричну та феромагнітну. Значний інтерес викликає використання кераміки на основі чистих оксидів як вогнетривкого й конструкційного матеріалу. Так, *корундова кераміка* ( $Al_2O_3$ ) має високу міцність, хімічну стійкість, відмінні діелектричні властивості та використовується для виготовлення різців, каліброваних отворів для

протягування дроту. Особливість *кераміки*  $ZrO_2$  - стійкість до високих температур та низький коефіцієнт теплопровідності, що дає змогу використовувати її для виготовлення вогнетривких тиглів для плавки металів і сплавів як покриття металів для захисту від дії високих температур.

**7.4.3. Клеї та властивості клеєвих з'єднань.** *Клеї* - це колоїдні розчини плівкоутворюючих полімерів, здатних при твердненні утворювати міцні плівки, що добре прилипають до різних матеріалів. Класифікують клеї за рядом ознак: за *плівкоутворювальною речовиною* - смоляні та гумові; за *адгезійними властивостями* - універсальні та з вибірковою адгезією; *щодо нагрівання* - термопластичні та термостабільні; за *умовами тверднення* - холодного та гарячого склеювання; за *зовнішнім виглядом* - рідкі, пастоподібні, плівкові; за *призначенням* - конструкційні силові та кесилкові.

У *смоляних клеях* як плівкоутворююча речовина використовуються термореактивні смоли, які тверднуть при наявності каталізаторів і твердників при нормальній чи підвищеній температурі. Клеї холодного склеювання, як правило, мають гіршу міцність, особливо при підвищених температурах.

А) *Фенол-каучукові клеї* утворюють еластичні тепло- та водостійкі плівки з високою адгезією до металів (ВК-3, ВК-4, ВК-ІЗ, ВК-32-200 і інші).

Б) *Фенолополівінілацетатні клеї* - це спиртові розчини фенолоформальдегідної смоли, суміщеної з полівінілбутиралем (БФ-2, БФ-4, БФ-6 та інші). Застосовують для склеювання металів, пластмас, кераміки та інших твердих нееластичних матеріалів. Теплостійкість клеєвих з'єднань невисока, водостійкість задовільна.

В) *Фенолокремнійорганічні клеї* містять як наповнювач азбест, алюмінієву пудру та інше (ВК-18, ВК-18М). Відзначаються термо- і вібростійкістю, значною міцністю. Витримують температури до 600 °С, можуть використовуватись для склеювання інструмента.

Г) На основі *епоксидних смол* - тверднення відбувається в присутності твердників без виділення побічних продуктів. До клеїв холодного тверднення належать Л-4, ВК9-9, ВК-16, ЭПО, ЭПО-М та інші; епоксидні клеї гарячого тверднення - ВК-32-ЭМ, К-153, ВК-1 та інші. Ці клеї використовують для склеювання металів, склопластиків, феритів, кераміки і інше. Епоксидні клеї ТКМ-75, ТКС-75 використовують для приклеювання різальних частин на інструменти. Для усіх епоксидних клеїв характерні висока механічна міцність, атмосферостійкість, стійкість до нафтопродуктів, високі діелектричні властивості.

Д) До складу *поліуретанових клеїв* входять полієфіри, поліізоціанати і наповнювачі (ПУ-2, ВК-5, ВК-11 та інші). При змішуванні компонентів відбувається хімічна реакція, внаслідок якої клей твердне. Клеї мають універсальну адгезію, високу вібростійкість, стійкість до нафтопродуктів, але токсичні.

Е) Клеї на основі *кремнійорганічних сполук* ( ВК-2, ВК-8, ВК-І5, ВК-20 та інші) мають високу термостійкість, стійкі до масел, бензину, мають діелектричні властивості, не викликають корозії металів. Застосовують для

склеювання деталей з легуваних сталей, титанових сплавів, скла, азбопластиків, графіту, багатьох неорганічних матеріалів.

Є) Клеї на основі *гетероциклічних полімерів* (ПБИ-1К, СП-6 та інші), можуть працювати в діапазоні температур від  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хімічностійкі.

Ж) *Гумові клеї* є розчинами каучуків чи гумових сумішей в органічних розчинниках, використовуються для склеювання гуми з гумою, гуми та металу, гуми та скла, інше (88Н, 88НП, 9М-35Ф, ФЕН-1 та інші).

З) Для склеювання деревини найчастіше використовують *кістковий та казеїновий клеї*.

Кістковий та міздровий клеї належать до глютинових клеїв, які випускаються у вигляді гранул або плиток. Для виготовлення клею використовують його властивість переходити в рідкий стан при невисокій температурі: кістковий  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , міздровий  $+38\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Клей готують так: необхідну кількість твердої складової заливають двома частинами води, через годину клей нагрівають на водяній бані до  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  з постійним перемішуванням. Найкращі клеючі властивості має гарячий клей.

Казеїновий клей виготовляють із молочного білка, вводячи в нього луги і антисептики. Приготування: на одну частину сухої частини беруть 2 частини води кімнатної температури, добре розмішують. Клей готовий через 20-25 хв., придатний до використання 5-7 годин.

#### **7.4.4. Лакофарбні матеріали.**

Лакофарбні матеріали належать до групи плівкоутворюючих матеріалів, які після нанесення в рідкому стані та висиханні утворюють стійкі плівки. Лакофарбні матеріали призначені для захисту металів від іржі, деревних матеріалів - від дії вологи та загнивання, надають виробам декоративного зовнішнього вигляду, можуть мати спеціальні властивості - електроізоляційні, хімічностійкі, інші.

Компонентами лакофарбних матеріалів є плівкоутворюючі речовини; смоли для збільшення адгезії; розчинники (скипидар, спирти, ацетон, розчинники (бензол); пластифікатори, які зберігають пластичність покриття, поліпшують морозостійкість (дибутилфталат); твердники (аміни); пігменти та фарбники; наповнювачі (тальк, каолін) для підвищення в'язкості й пониження блиску; спеціальні добавки для фарб спеціального призначення.

Як плівкоутворюючі речовини, в лаках та фарбах використовують синтетичні смоли, ефіри целюлози, рослинну олію. За вмістом розрізняють: лаки, емалі, ґрунтовки, шпаклівки. За плівкоутворюючою речовиною вони можуть бути смоляними, ефіроцелюлозними та масляними.

*Лаки* - це розчини плівкоутворюючих речовин у розчинниках (можлива добавка пластифікаторів, прискорювачів, стабілізаторів). Залежно від розчинника розрізняють лаки скипидарні, масляні, спиртові.

*Фарби* за розчинником розрізняють емалі та масляні. *Емалі* - це суспензії мінеральних та органічних пігментів у лаках. Пігменти надають емалям колір та специфічні властивості, наприклад, білі пігменти  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$  - стійкість до атмосферних опадів, водостійкість; сажа - струмопровідність тощо. В емалі

можуть вводиться металічні пігменти - алюмінієва, бронзова пудра, цинковий пил, інші.

Основа *масляних фарб* - натуральна чи синтетична оліфа, наповнювачі є фарбниками: білий колір дають цинкові білила  $ZnO$ , ціанамід свинцю  $PbCN_2$  - основний пігмент лимонно-жовтого кольору, плюмбат кальцію  $Ca_2PbO_4$  - порошок світло-кремового кольору, залізний сурик  $Fe_2O_3$  - фарбник від світло-червоного (20-35%) до темно-коричневого (60-70%) кольору та інші.

*Грунтовки* захищають метал від корозії, збільшуючи адгезію фарби. До складу грунтовок входять лак та пігмент, який має захисні властивості. Залежно від дії пігменту розрізняють грунтовки:

А) такі, що утворюють окисні плівки на поверхні металу (солі хромової кислоти, цинковий та стронцієвий крони);

Б) пасивувальні (містять свинцевий або залізний сурик);

В) протекторні (на основі цинкового пилу);

Г) інертні пігменти, які створюють ізолювальні покриття (сполуки титану). Кожен клас грунтовок має своє специфічне застосування. Так, хроматні грунтовки найкраще захищають магнієві та алюмінієві сплави; свинцевий сурик застосовують для захисту сталевих деталей, оскільки він створює на поверхні металу гідрат закису заліза; захисна дія цинку полягає у більш електровід'ємному потенціалі відносно заліза, тому успішно використовується для захисту сталі, яка працює в контакті з водою. Для захисту сталевих деталей досить часто застосовують також фосфатувальні грунти, які утворюють на поверхні металу міцну фосфатно-хроматну плівку складного вмісту.

*Шпаклівки* призначені для вирівнювання нерівностей на поверхні виробів перед фарбуванням. До складу шпаклівок входять лак, пігмент і наповнювач. Шпаклівки наносять на попередньо прогрунтовану поверхню.

Для надійного захисту поверхні виробу в більшості випадків застосовують багатошарове покриття, яке складається з грунтування, шпаклювання та декількох шарів кінцевого покриття (лаку чи фарби).

## Рекомендована література

1. Лахтин Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Травин О.В. Материаловедение / О.В. Травин, Н.Т. Травина. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.
3. Солнцев Ю.П. Материаловедение и технология конструкционных материалов / Ю.П. Солнцев, В.А. Веселов, В.П. Демьянцевич. – М.: – МИСиС, 1996. – 576 с.
4. Брацыхин В.А. Переработка пластических масс в изделия / В.А. Брацыхин, С.С. Миндлин, К.Н. Стрельцов. – М.: – Л.: Химия, 1966. – 399 с.
5. Торнер Р.В. Основные процессы переработки полимеров. – М.: Химия, 1978. – 296 с.
6. Мозберг Р.К. Материаловедение. – Таллин: Валгус, 1976. – 554 с.
7. Гуль В.Е. Структура и механические свойства полимеров / В.Е. Гуль, В.Н. Кулезнев. – М.: Высшая школа, 1976. – 313 с.
8. Миндлин С.С. Технология производства полимеров и пластических масс на их основе. – Л.: Химия, 1979. – 353 с.
9. Богородицкий Н.П. Электротехнические материалы / Н.П. Богородицкий, Н.И. Пасынков, Б.М. Тареев. – Л.: Энергия, 1981. – 304 с.
10. Коррозионная стойкость оборудования химических производств: Способы защиты оборудования от коррозии: Справ. изд. / Под ред. Б.В. Строкана, А.М. Сухотина. – Л.: Химия, 1987. – 280 с.

## Зміст

Пояснювальна записка	
Програма навчальної дисципліни	
<b>РОЗДІЛ 4. ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВІ СПЛАВИ</b>	
4.1. Компоненти й фази в системі залізо—вуглець	
4.2. Діаграма стану залізо-вуглець.	
4.3. Сталь, основи класифікації та позначення марок.	
4.4. Чавуни. Основи їхньої класифікації	
4.5. Термічна та хіміко- термічна обробка металів і сплавів	
<b>РОЗДІЛ 5. КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ ТА СПЛАВИ.</b>	
5.1. Мідь та мідні сплави	
5.2. Алюміній та його сплави	
5.3. Магній та магнієві сплави	
5.4. Титан та його сплави.	
5.5. Бабіти	
5.6. Матеріали високої твердості	
<b>РОЗДІЛ 6. МЕТАЛИ ТА СПЛАВИ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В ЕЛЕКТРО-ТА РАДІОТЕХНІЦІ</b>	
6.1. Матеріали високої провідності. Намотувальні та монтажні провідники	
6.2. Матеріали високого опору	
6.3. Напівпровідникові та надчисті матеріали та їх застосування.	
6.4. Магнітні матеріали. Електротехнічні сталі	
6.5. Надпровідність та надпровідні матеріали	
<b>РОЗДІЛ 7. НЕМЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ</b>	
7.1. Порошкові матеріали	
7.2. Лісоматеріали	
7.3. Полімери та пластичні маси	
7.4. Гумові, скляні, клеєві та лакофарбні матеріали	
Рекомендована література	

Навчально-методичне видання

Автори: **Юрченко** Оксана Миколаївна  
**Кормош** Жолт Олександрович  
**Парасюк** Олег Васильович

**Основи матеріалознавства**  
**Частина 3. Metали і сплави. Неметалеві матеріали**

*Конспект лекцій*  
*для студентів хімічного факультету*

Друкується в авторській редакції