

**Міністерство аграрної політики та продовольства України**  
**Миколаївський національний аграрний університет**

Інженерно-енергетичний факультет

Полянський П.М.

**"Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів"**

**Конспект лекцій**

**Миколаїв**  
**2014**

## Вступ.

### Зміст предмету «Матеріалознавство і ТКМ»

**Матеріалознавство і ТКМ** це наука, яка вивчає склад, структуру та властивості металів їх сплавів та неметалеві матеріали, а також зміну цих властивостей під впливом температури та в результаті механічних і хімічних дій.

Теоретичною основою матеріалознавства є відповідні розділи фізики та хімії. У матеріалознавстві широко використовують сучасні структурні дослідження, фізичні та механічні випробування. Завдяки цьому, а також беручи до уваги економічні розрахунки, можна обґрунтовано визначити доцільність застосування того чи іншого матеріалу в певних умовах експлуатації.

**Металами** називають речовини, які мають кристалічну будову, металевий блиск, добру пластичність, високу електро- і теплопровідність. Найбільш поширеними в природі металами є алюміній (8,8% маси земної кори) та залізо (4,6%).

В промисловості в основному використовують сплави, адже до рідкого металу можна вводити певну кількість хімічних елементів і отримувати сплави з необхідними властивостями.

Умовно метали поділяють на чорні і кольорові.

До **чорних** металів відноситься залізо та сплавів на його основі – сталь і чавун. Сталі і чавуни є основними в машинобудуванні завдяки порівняно невисокій вартості та добрим технологічним і механічним властивостям. Але вони мають невисоку корозійну стійкість та високу їх питому вагу.

**Кольоровими** вважаються всі інші метали, крім чорних. Найбільше застосування мають алюміній, мідь, магній, титан, цинк, свинець, олово, нікель, молібден, вольфрам, кобальт, тантал, цирконій, ніобій. Здебільшого кольорові метали застосовуються у вигляді сплавів.

Метали і сплави людство застосовує дуже давно. Мідь, золото і срібло застосовуються уже більше 8 тис. років, як знаряддя праці та прикраси.

Вчені доводять, що залізо використовується понад 3 тис. років. На території України залізо відоме з VII-V ст. до н. е.

В газовому господарстві наряду з металами широко застосовуються неметалеві будівельні та полімерні матеріали.

**Будівельні матеріали** поділяють на матеріали загального (цемент, бетон, лісоматеріали) та спеціального призначення (теплоізоляційні, гідроізоляційні, вогнетривкі матеріали). Ці матеріали людство використовує від початку свого існування. Так древні єгиптяни застосовували гіпс і вапняні розчини при будівництві пірамід. В Києві вапно використовували уже в X ст. під час будівництва Десятинної церкви. В XI ст. при будівництві Софіївського собору застосовували суміш вапна з товченою цеглою.

Полімерні матеріали є новим видом конструкційних матеріалів. Вони мають достатню міцність, високу корозійну стійкість, низьку теплопровідність та ряд інших цінних фізико-механічних властивостей, які обумовлюють їх широке застосування.

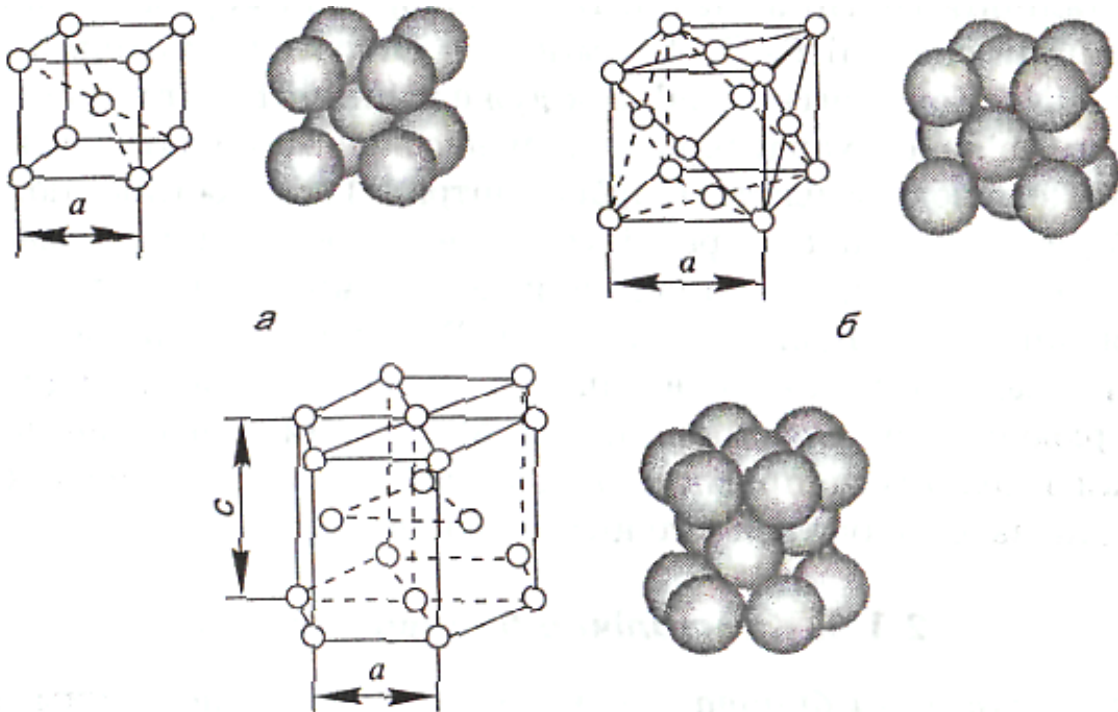
# 1. Основні властивості металевих і неметалевих матеріалів.

## Тема 1.1. Будова металів, методи дослідження їх структури.

### *Кристалічна будова металів*

Кристалічна будова характеризується геометрично правильним розташуванням атомів (іонів) у просторі. Атоми металу перебувають на певній відстані між собою, при якій енергія взаємодії позитивно і негативно заряджених частинок мінімальна. В площині атоми утворюють атомну сітку, а в просторі – атомно-кристалічну ґратку. Атоми коливаються навколо точки рівноваги з великою частотою.

Властивості металів визначаються певним типом кристалічної ґратки. Переважна більшість металів має об'ємноцентровану кубічну, гранецентровану кубічну або гексагональну щільноукладену ґратку.



*Рис. 1.1. Елементарні кристалічні ґратки:  
а – об'ємноцентрований куб; б - гранецентрований куб;  
в – гексагональна ґратка.*

В кристалічній ґратці з **об'ємноцентрований куб** (ОЦК) вісім атомів розташовано на перетині ребер куба і один — на перетині його діагоналей. Таку будову (ОЦК) мають метали: калій, натрій,  $\beta$ -титан,  $\beta$ -цирконій, тантал, вольфрам, ванадій,  $\alpha$ -залізо, хром та інші.

Кристалічну решітку характеризується її лінійним розміром. Для кубічної комірки це довжина ребра куба  $a$ , яка вимірюється в нанометрах (нм). Один нанометр  $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ . Для металів з кубічною елементарною решіткою значення  $a$  перебуває в межах  $0,2 \dots 0,6 \text{ нм}$ .

Елементарна кристалічна гратка *гранецентрований куб* (ГЦК) має вісім атомів на перетині ребер і шість атомів — на перетині діагоналей граней куба. Така будова властива для свинцю, нікелю, срібла, золота, платини,  $\gamma$ -заліза та інших металів.

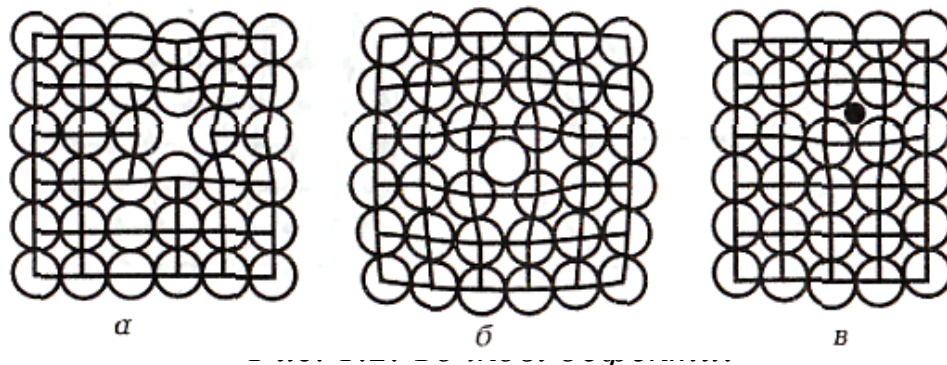
У *гексагональній щільноукладеній ґратці* (ГЩУ) атоми розташовані в кутах і в центрі основ шестигранної призми, а три атоми — між її основами, всього 17. Таку решітку мають магній,  $\alpha$ -титан, кадмій, реній, осмій, рутеній, цинк, берилій та інші метали.

### *Дефекти кристалічної будови*

Реальні кристали на відміну від ідеальних мають багато різних дефектів. Під *дефектом* розуміють зону кристалу, де порушено правильне розташування атомів. За геометричною ознакою дефекти кристалічної будови поділяють на: точкові, лінійні, поверхневі, об'ємні.

*Точкові дефекти* дуже малі в усіх трьох вимірах у просторі: їх розміри не перевищують декількох параметрів кристалічної ґратки. До таких дефектів належать вакансії, міжвузлові атоми, атоми домішок тощо.

*Вакансією* називається порожнє місце в кристалі, де мав би перебувати атом. Окремий атом, що коливається з вищою енергією, покидає вузол кристалічної ґратки і потрапляє на поверхню кристалу або на границю між зернами. На місці, де перебував цей атом, утворилась вакансія, яку заповнює згодом інший атом. В результаті відбувається міграція вакансії в глибину кристалу.



*Рис. 1.2. Точкові дефекти:*

*а – вакансія; б – міжвузловий атом; в – атом домішки*

Кожній температурі відповідає своя рівноважна концентрація вакансій. Що вища температура кристалу, то більше в ньому вакансій і частіше вони переходять від вузла до вузла. При температурі, близькій до температури плавлення металу, кількість вакансій становить близько 1 % кількості атомів у кристалі. Зі збільшенням кількості вакансій зменшуються густина, електро- і теплопровідність кристалу.

*Міжвузловим* називають *атом*, що вийшов із положення рівноваги і зайняв простір між вузлами. На його місці утворилась вакансія. Перехід атомів у міжвузлове положення викликає опромінення нейтронами, при цьому значно менший вплив мають теплові коливання атомів.

**Атоми домішок** є навіть у найчистішому металі. Вони або заміщають атоми основного металу у вузлах кристалічної ґратки, або розташовуються між вузлами. У близькому оточенні точкових дефектів кристалічна ґратка викривлюється. Такі спотворення суттєво не позначаються на механічних властивостях металу, зате вони позначаються на деяких його фізичних властивостях, наприклад на електроопорі.

В різних площинах кристалічної ґратки атоми розміщені з різною щільністю і тому властивості кристалу в різних напрямках різні. Таке явище називається **анізотропією**.

Найбільш суттєвим лінійним порушенням будови кристалу є **дислокації**. Одним із способів утворення дислокації є зсув частини атомів кристалу відносно іншої частини атомів. В невеликій спотвореній зоні міжатомні відстані менші або більші від нормальних, а поза межами цієї зони вони нормальні. Дислокації виникають під час кристалізації, пластичної деформації, фазових перетворень.

### **Кристалізація металів**

Кристалізація – це перехід металу з рідкого стану в твердий. В рідкому стані атоми металу знаходяться в безперервному русі і при охолодженні займають певний порядок. Кристалізація починається при зниженні температури розплаву до певного значення.

Кристалізація відбувається в дві стадії:

- утворення зародків кристалізації;
- ріст кристалів навколо цих зародків.

Ріст кристалів відбувається за рахунок приєднання до зародків нових атомів. На початку кристалізації кристали ростуть вільно, зберігаючи правильну геометричну форму. Розміри кристалів збільшуються, як збільшується і кількість зародків. Вільний ріст кристалів триває до моменту стикування з сусідніми кристалами. У місцях стикування ріст кристалів припиняється і продовжується там, де є вільний доступ рідкого металу. В результаті геометрична форма кристалів спотворюється. Такі кристали називаються кристалітами або зернами.

Дефекти геометричної форми кристалів та збільшення розмірів зерен негативно впливає на властивості металу. Кращі властивості мають метали, під час кристалізації яких виникає якомога більша кількість зародків кристалізації. Тоді метал буде мати дрібнозернисту структуру.

Кількість зерен буде збільшуватись і вони будуть дрібнішими, якщо до рідкого металу перед початком кристалізації ввести дрібні тугоплавкі частинки нітридів, карбидів і силіцидів металів. Таке введення штучних центрів кристалізації називається модифікацією сплаву чи металу.

### **Поліморфні перетворення**

**Поліморфним перетворенням** називають зміну кристалічної будови залежно від температури та тиску. Перехід до нового типу кристалічної ґратки супроводжується зменшенням вільної енергії кристалів, що утворюються, порівняно з вихідними кристалами. Велике практичне значення має **температурний поліморфізм**, тобто наявність у металі різної кристалічної

будови в інтервалі певних температур. На кривих охолодження поліморфному перетворенню відповідає горизонтальний відрізок сталої температури, завдяки виділенню прихованої теплоти перекристалізації. Близько 30 металів мають два, а іноді й три різні типи елементарних кристалічних ґраток. Кристалічну будову, стійку при низьких температурах, позначають грецькою літерою  $\alpha$ , при високих температурах — літерою  $\beta$ , при ще вищих — літерою  $\gamma$  і т. д. Перелічені грецькі літери у вигляді індексів долу-чають до символу хімічного елемента (наприклад,  $Fe_\alpha$ ,  $Fe_\gamma$ ,  $Ti_\alpha$ ,  $Ti_\beta$ ,  $Sn_\alpha$ ,  $Sn_\beta$ ). У

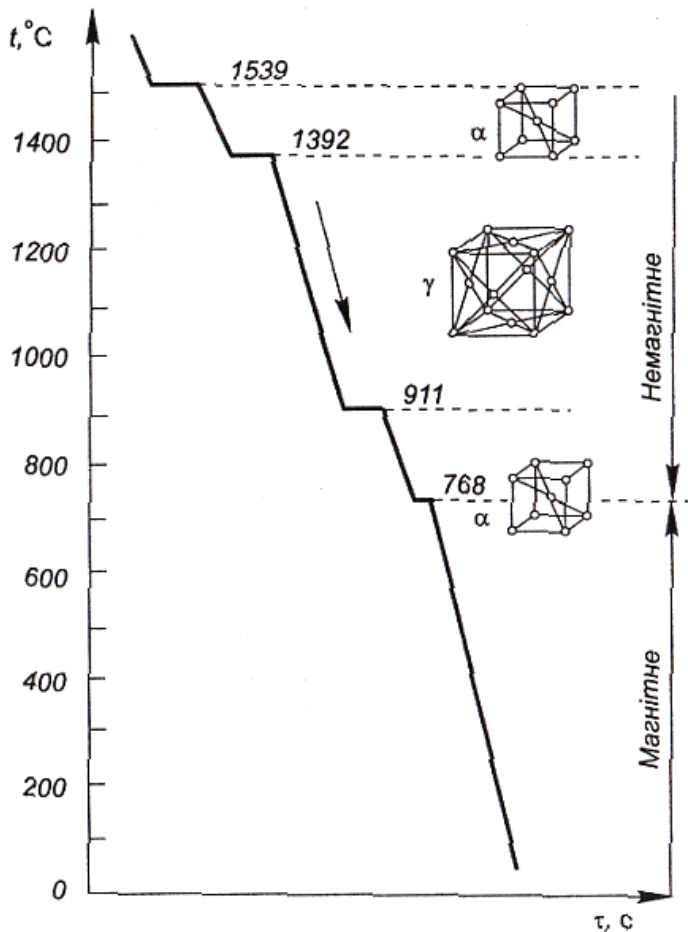


Рис. 1.3. Крива охолодження заліза

рівноважному стані залізо має дві температури поліморфного перетворення: 911 і 1392 °С. Воно кристалізується при температурі 1539°С з утворенням кристалічної ґратки об'ємноцентрованого куба  $Fe_\alpha$ . При температурі 1392 °С внаслідок вторинної кристалізації об'ємноцентрована ґратка  $Fe_\alpha$  переходить у гранецентровану  $Fe_\gamma$ , а при 911°С — знову в об'ємноцентровану ґратку  $Fe_\alpha$ . Критична температура 768 °С не пов'язана з вторинною кристалізацією, а лише зі змінами в міжелектронній взаємодії, внаслідок чого залізо під час охолодження набуває магнітних властивостей. При температурах, вищих за 768 °С, залізо немагнітне.

Зміна типу кристалічної будови у твердому стані відбувається шляхом зародження центрів нових

кристалів і подальшого їх росту. Такий процес іноді називають **вторинною кристалізацією** на відміну від кристалізації первинної, що відбувається у рідині. Під час вторинної кристалізації зародки нових кристалів найчастіше виникають на границях зерен старих кристалів.

### Методи дослідження структури металів

Методи дослідження структури — макро- і мікроскопічний аналіз, рентгеноструктурний аналіз та інші — широко використовують не лише в наукових, але й у заводських лабораторіях, оскільки здебільш існує надійний зв'язок між структурою та властивостями металів. На підставі структурних досліджень і механічних випробовувань можна зробити висновок про придатність обстежуваного матеріалу для тих чи інших умов експлуатації.

**Макроскопічний аналіз** полягає у дослідженні будови металу неозброєним оком або при невеликих збільшеннях до 30 разів. Будову металу, яку виявляють

при цьому, називають **макроструктурою**. Макроструктуру можна спостерігати на поверхні виробів, на зламах і на шліфах. Макроскопічний аналіз застосовують для виявлення макродефектів: порожнин і тріщин, хімічної та структурної неоднорідності металу, форми та розмірів кристалів у литому металі тощо. Перевагою макроаналізу є можливість швидко обстежити досліджувану поверхню з метою отримати попередні дані про будову металу. Водночас, внаслідок невеликих збільшень, макроаналіз не дає змоги виявити всі особливості будови металу. На підставі даних макроаналізу часто роблять висновок про недоцільність застосування технологій, які мають вплив на формування макроструктур, що погіршують механічні властивості металу.

**Мікроскопічним аналізом** називають дослідження будови металу за допомогою мікроскопа; будова металу, яку вивчають під мікроскопом, є **мікроструктурою**. Для мікроскопічних досліджень широко використовують оптичні та електронні мікроскопи.

Під час мікроаналізу вивчають тонку будову матеріалу: форму та розміри зерен і фаз у сплаві, їх відносний розподіл, а також виявляють неметалеві вкраплення (оксиди, сульфідні) чи мікродефекти (дислокації, мікропорожнини, мікротріщини). Зокрема, за мікроструктурою знаходять в сплаві частку певного хімічного елемента, наприклад вуглецю у сталі.

Об'єктом мікроскопічних досліджень є **мікрошліф**, тобто зразок із шліфованою, полірованою і здебільшого протравленою хімічним реактивом поверхнею.

За допомогою **оптичного металографічного мікроскопа** досліджують структуру при збільшенні від 50 до 2000 разів, тобто з його допомогою можна розрізнити елементи структури розміром до 0,2 мкм (200 нм).

Дуже дрібні частинки структури вивчають завдяки **електронному мікроскопу**, де зображення створюється за допомогою швидкого потоку електронів. При цьому спостерігаються частинки структури розміром до 2...5 нм. Електронний мікроскоп на противагу оптичному забезпечує значну глибину різкості зображення при збільшеннях до 100 000 разів.

Розташування атомів у кристалах і відстані між ними визначають шляхом **рентгеноструктурного аналізу** з використанням **рентгенівських променів**. Якщо в напрямку потоку цих променів поставити фотопластинку, то посилені промені залишать на ній кільцеві плями, розшифровуючи які, можна встановити тип кристалічної ґратки і величину її параметрів. Рентгенівськими променями визначають також дефектність, деформацію кристалічної ґратки та орієнтацію зерен.

## Тема 1.2. Основні властивості конструкційних матеріалів

### *Фізичні та хімічні властивості матеріалів*

Конструкційні матеріали характеризуються різними властивостями, які визначають якість матеріалів та область їх застосування. За рядом признаков основні властивості матеріалів поділяють на фізичні, механічні, технологічні та хімічні.

Фізичні властивості матеріалу характеризують його будову або відношення до фізичних процесів навколишнього середовища. Всі конструкційні матеріали густиною, теплопровідністю та теплоємністю. Для металів важливими фізичними характеристиками є температура плавлення та електропровідність. Будівельні матеріали також характеризуються щільністю, гігроскопічністю, морозостійкістю, вогнестійкістю.

**Густина матеріалу** визначається відношенням маси до об'єму матеріалу в абсолютно щільному матеріалі  $\rho$ .

Таблиця 1.1. Густина та щільність деяких конструкційних матеріалів

Матеріал	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Щільність, кг/м <sup>3</sup>
Конструкційна сталь	7850 – 7900	7800 – 7850
Граніт	2700 – 2800	2600 – 2700
Пісок	2500 – 2600	1450 – 1700
Керамічна цегла	2600 – 2700	1600 – 1900
Сосна	1500 – 1550	450 – 600
Поропласт	1000 – 1200	20 – 100

Більшість будівельних матеріалів мають порожнисту будову, тому вони характеризуються щільністю або середньою густиною  $\rho_m$ . У щільних матеріалів (сталь, скло, бітум та ін.) густина і щільність практично однакові.

**Щільність матеріалу** залежить від його порожнистості та вологості. Штучні матеріали, наприклад бетон, можна отримувати з різним ступенем порожнистості.

Сипучі матеріали (пісок, цемент, щебінь тощо) характеризуються насипною щільністю.

Основними хімічними властивостями конструкційних матеріалів є хімічна та корозійна стійкість.

**Хімічна стійкість** – здатність матеріалів протидіяти руйнівній дії лугів, кислот, розчинених у воді солей і газів.

**Корозійна стійкість** – здатність матеріалів протидіяти корозійному впливу навколишнього середовища. Багато конструкційних матеріалів не мають достатньої корозійної стійкості. Так більшість цементів руйнуються під



дією кислот, бітуми не стійкі проти дії розчинів лугів, деревина та вуглецева сталь мають невисоку корозійну стійкість. Найкращу корозійну стійкість мають благородні метали, титан, алюміній та більшість їх сплавів, спеціальні сталі, щільна кераміка та більшість пластмас.

### Механічні властивості матеріалів

До механічних властивостей належать міцність, пружність, пластичність, твердість, ударна в'язкість, витривалість, зносостійкість та ін. Від механічних властивостей матеріалу залежить його поведінка при деформації і руйнуванні під дією зовнішніх сил. Для їх визначення зразки металів встановленого розміру і форми піддають випробуванням на спеціальних машинах та приладах у певних умовах. Умови випробувань поділяють на статичні (навантаження на зразок зростають повільно і плавно), динамічні (навантаження зростає з великою швидкістю і має ударний характер) та циклічні (навантаження багаторазово змінюються за величиною і напрямком).

Статичні навантаження при випробуваннях можуть бути розтягувальними та стискувальними. Метали частіше всього випробовують на розтягування, визначаючи межі пружності, плинності і міцності та його пластичність.

#### Міцність і пластичність металу

Характеристики міцності та пластичності отримують при розтягуванні зразку у вигляді круглого стержня або полоси. На спеціальних машинах записують залежність видовження зразка від навантаження. На основі цих даних будують діаграму залежності відносного видовження зразка  $\delta$  від напруження  $\sigma$ .

Вид діаграми суттєво залежить від *пластичності* матеріалу, що характеризує здатність, не руйнуючись, змінювати форму під дією навантаження і зберігати її після того, як навантаження перестане діяти.

Відрізок ОА діаграми відповідає пружній деформації металу, коли виконується закон Гука  $\sigma = E \cdot \delta$ , де  $E$  — модуль пружності (модуль Юнга).

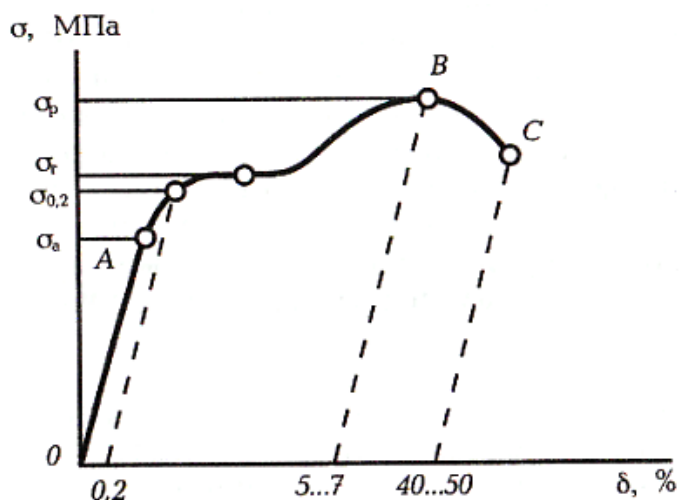


Рис. 1.4. Діаграма розтягування сталі

Напруження, що відповідає граничній пружній деформації в точці А, називають *межею пропорційності*  $\sigma_a$  (чи *межею пружності*). В системі СІ її виражають у МПа. При вищих напруженнях відбувається рівномірна пластична деформація (видовження та звуження поперечного перетину) зразка. Оскільки практично неможливо визначити початок переходу металу в непружний стан, межу пружності встановлюють умовно, задаючись залишковою деформацією, частіше 0,001;

0,005; 0,02 і 0,05%. Межу пружності відповідно позначають  $\sigma_{0,01}$ ;  $\sigma_{0,05}$  і т.д. Ця характеристика важлива для пружинних та інших матеріалів.

Чимало пластичних матеріалів при напруженнях дещо вищих за  $\sigma_a$ , на діаграмі розтягу мають ділянку, при якій зразок деформується без збільшення навантаження. Напруження, що відповідає цьому стану матеріалу, називають **межею плинності** і позначають  $\sigma_T$ . Напруження, що діють в деталі, повинні бути меншими за межу плинності.

Подальший розтяг зразка супроводжується рівномірним зростанням напруження до  $\sigma_v$  — **межі міцності** (здатності протидіяти руйнуванню під дією зовнішніх сил). Це напруження є найбільшим і відповідає початку великої пластичної деформації невеликої ділянки зразка, що називається шийкою. Саме тут перетин зразка значно зменшується і відбувається руйнування.

Напівкрихі матеріали руйнуються при напруженнях, що дорівнюють  $\sigma_v$ , у крихких — ділянка плинності відсутня.

За діаграмою розтягу визначають такі характеристики пластичності як відносне видовження  $\delta$  та відносне звуження  $\psi$ . Відносне видовження характеризує приріст довжини зразка щодо початкової, а відносне звуження — щодо зменшення площі перетину:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$$

де  $l_1$  і  $l_0$  — довжина зразка до і після деформації;

$$\psi = \frac{S_1 - S_0}{S_0} \cdot 100\%$$

де  $S_1$  і  $S_0$  — відповідно площі перетину зразка до і після випробувань. За показниками пластичності визначають придатність матеріалу до пластичної деформації під час обробки тиском, а також здатність його перерозподіляти напруження при перевантаженнях. Ці дані важливі як для конструкторів, так і для технологів. Наприклад, пластичні матеріали більш надійні в роботі, бо при їх застосуванні менша ймовірність небезпечного крихкого руйнування.

### **Міцність неметалевих матеріалів**

Матеріали мінерального походження (камінь, цегла, бетон тощо) добре працюють на стискування, тому їх застосовують у відповідних конструкціях. Міцність таких матеріалів визначається стискуванням зразків певних розмірів на пресах. **Межа міцності на стискування** визначається як відношення прикладеної до зразка сили до площі поперечного перерізу зразка. За межею міцності для кам'яних матеріалів встановлюється марка (4, 7, 10, 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000). Так матеріали з межею міцності на стискування 20 – 29,9 МПа відносяться до марки 200.

Деревинні матеріали також випробовують на розтягування та стискування, визначаючи відповідну межу міцності в МПа.

Міцність залежить також від структури матеріалу, його щільності, вологості, наряду дії прикладеної сили.

Конструкційні матеріали випробовують також на міцність при згинанні зразків певних розмірів. На згин випробовують зразки у вигляді балок, розміщених на двох опорах. До середини балок прикладають певну силу, яка поступово зростає до руйнування зразків. За прикладеною силою і розмірами балки визначають *межу міцності на згин*. Ця межа міцності в значній мірі залежить від профілю виробу.

Таблиця 1.2. Міцність деяких конструкційних матеріалів

Матеріали	Межа міцності, МПа, при		
	стискуванні	згинанні	розтягуванні
Граніт	150 – 250	–	3 – 5
Важкий бетон	10 – 50	2 – 8	1 – 4
Керамічна цегла	7,5 – 30	1,8 – 4,4	–
Конструкційна сталь	210 – 600	–	380 – 900
Деревина (за волокнами)	30 – 65	70 – 120	55 – 150
Склопластик	90 – 150	130 – 250	60 – 120

### Твердість

Статичне стискування металу спеціальним індентором застосовують при визначенні *твердості* — здатності металу протидіяти пружним і пластичним деформаціям під час проникнення іншого твердішого тіла. Найчастіше практикуються випробування твердості металів за методами Брінелля, Роквелла та Віккерса.

Визначення твердості за методом Брінелля зводиться до втискання у випробовуваний матеріал сталевий загартованої кульки певного діаметра, на яку діє сила  $F$  протягом часу, достатнього для закінчення в металі пластичних деформацій. Вимірюється діаметр відбитка і за таблицями визначається величина твердості ( $HB$ ).

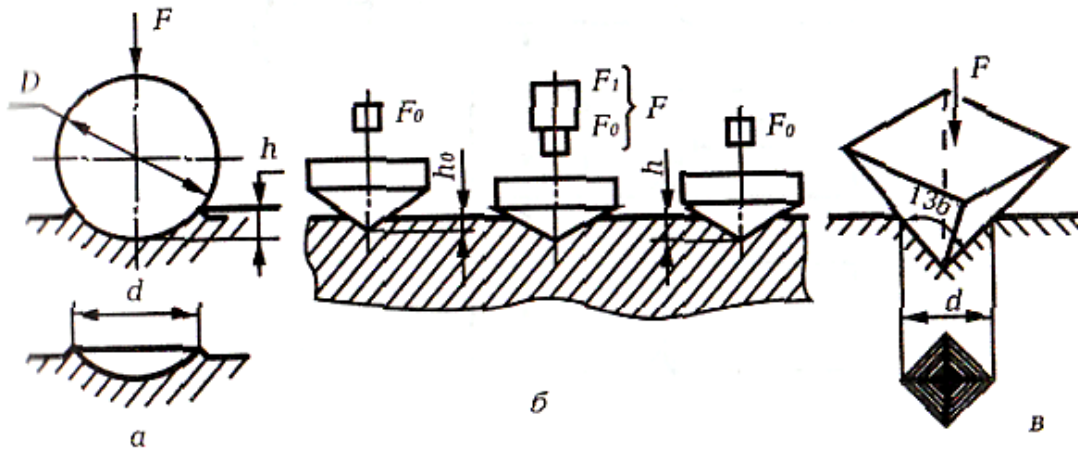


Рис. 1.5. Схеми визначення твердості металів за методами:  
а – Брінелля; б – Роквелла; в – Віккерса.

По методу Роквелла твердість визначають за глибиною проникнення алмазного конуса чи кульки діаметром 1,6 мм, вираженою в умовних одиницях (**HRC, HRA** чи **HRB**). За методом Роквелла визначають твердість твердих, дуже твердих і м'яких матеріалів. Відповідно використовують алмазний конус з кутом  $120^\circ$  та сумарне навантаження 1,47 кН (шкала С), алмазний конус та сумарне навантаження 0,59 кН (шкала А) та сталеву кульку з навантаженням 0,98 кН (шкала В). Спочатку до індектора прикладають попередню силу  $F_0$ , під дією якої він заглиблюється в метал на величину  $h_0$ . Потім плавно додають основну силу  $F_1$ . За одиницю твердості прийнята величина, що відповідає осьовому переміщенню індентора на 0,002 мм.

Метод Віккерса використовують при визначенні твердості деталей малої товщини та тонких дуже твердих поверхневих шарів металевих деталей. Навантаження при випробуваннях становить 0,05...1,20 кН. Метод мікротвердості використовують при визначенні твердості окремих зерен або дуже тонких шарів металу.

Твердість деревини, бетону також визначають методом втискування в зразок сталеві кульки. Величину твердості визначають за діаметром чи глибиною відбитка.

Твердість природних кам'яних матеріалів визначають за шкалою твердості (метод Мооса), в якій десять спеціально підібраних матеріалів розміщені в такій послідовності, коли наступний по порядку мінерал залишає слід (царапину) на попередньому.

### **Ударна в'язкість, витривалість та зносостійкість**

Основним видом випробувань металів при динамічних навантаженнях є випробування на ударний згин надрізаних зразків стандартизованого розміру. **Ударною в'язкістю** називають відношення роботи, яка витрачена на руйнування зразка до початкової площі його поперечного перерізу в місці руйнування. Зразок з надрізом встановлюють на маятниковому копрі і наносять удар маятником.

Більшість деталей машин і конструкцій, що працюють при циклічних навантаженнях, руйнуються після певної кількості циклів при напруженнях, нижчих за  $\sigma_T$ . Це явище називають втомою. За характеристику міцності металу в таких умовах використовують **межу витривалості  $\sigma_{-1}$**  — найбільше напруження, при якому деталь не руйнується після певної кількості циклів навантаження, що називають **базою**. Для сталі вона становить  $10^7$  циклів, а для кольорових металів —  $10^8$ . Дослідження проводять на випробувальних машинах, частіше з обертовим зразком.

На **зносостійкість** конструкційні матеріали випробовують на спеціальних барабанах, що обертаються.

Оскільки при стандартних випробуваннях важко повністю відтворити умови роботи деталі в конструкції чи машині, часто готові деталі додатково випробовують на стендах або в процесі експлуатації. Це хоч і дорого, проте дає змогу приймати обґрунтованіші рішення при виборі матеріалу і способі його зміцнення.

## 2. Конструкційні метали і сплави.

### Тема 2.1. Основні положення теорії сплавів. Сплави заліза з вуглецем.

#### *Основні поняття про сплави*

Чисті метали в більшості випадків не забезпечують необхідного комплексу механічних та технологічних властивостей і тому рідко використовуються для виготовлення деталей. В більшості випадків в техніці використовують сплави.

**Сплавом** називають речовину, яка складається з двох або більше компонентів.

Більшість сплавів отримують в рідкому стані, однак вони можуть бути одержані також шляхом спікання, електролізу, конденсації з пароподібного стану, тощо. В якості компонентів до складу металевих сплавів можуть входити і неметали (металоїди), але переважати мають метали.

Не всяка сполука компонентів дає сплав. Залізо та свинець, наприклад, в рідкому стані розділяються на два шари, і одержання сплаву цих компонентів стає неможливим.

Необхідною умовою для виготовлення сплавів є взаємна дифузія атомів компонентів. Ця умова найлегше задовольняється тоді, коли компоненти перебувають у рідкому стані і утворюють однорідні розчини на атомному рівні. Під час кристалізації залежно від фізико-хімічних властивостей компонентів їх атоми взаємодіють. Внаслідок такої взаємодії формуються структури у вигляді:

- твердого розчину заміщення або проникнення;
- хімічної сполуки;
- механічної суміші з різнорідних кристалів тощо.

У **твердому розчині заміщення** атоми розчиненого компонента заміщують частину атомів компонента-розчинника в його кристалічній решітці. Кількість заміщених атомів може змінюватись у широкому діапазоні. Залежно від цього розрізняють тверді розчини з необмеженою і з обмеженою розчинністю. Для утворення таких розчинів необхідно вибрати компоненти, в яких:

- однаковий тип елементарної кристалічної ґратки;
- різниця розмірів атомних радіусів не перевищує 8...15 %;
- близька будова валентних атомних рівнів компонентів.

У **твердому розчині проникнення** атоми розчиненого компонента можуть перебувати в міжатомних порожнинах просторової кристалічної ґратки компонента розчинника.

Зважаючи на невеликі розміри порожнин кристалічної ґратки металу-розчинника, можна стверджувати, що в них можуть перебувати лише атоми неметалів з малими розмірами (вуглець, водень, бор).

Тверді розчини проникнення бувають тільки **обмеженими**, концентрація розчиненого компонента в них практично не перевищує 2 %.

**Хімічна сполука** найчастіше утворюється з елементів, які істотно відрізняються за будовою і властивостями. Співвідношення кількості атомів

елементів, що входять до складу сполуки, строго визначене й виражається певною формулою. Елементарна кристалічна ґратка хімічної сполуки відмінна від кристалічних ґраток компонентів, що її утворили. Хімічні елементи в ній займають строго визначені положення. Властивості хімічної сполуки істотно відрізняються від властивостей компонентів. Переважно хімічним сполукам властива низька пластичність і висока твердість, яка істотно перевищує твердість компонентів. На відміну від твердих розчинів, хімічні сполуки мають сталу температуру плавлення.

**Механічна суміш** складається із різнорідних кристалів. Така структура представляє собою дуже дрібну суміш кристалітів (зерен) компонентів. Механічні суміші утворюються у випадках, коли елементи мають обмежену розчинність і не утворюють хімічного з'єднання.

### ***Поняття про системи, фази, компоненти***

При вивченні процесів, що відбуваються в сплавах при їх перетворенні, і під час опису їх будови в матеріалознавстві використовують наступні поняття: система, фаза, компонент.

**Системою** називають сукупність фаз, що знаходяться у рівновазі при певних зовнішніх умовах (температура, тиск). Системи (сплави) бувають прості та складні.

**Фазою** називають однорідну за хімічним складом, кристалічною будовою та властивостям частину системи, відокремлену від інших частин системи поверхнею розділу. Фазами можуть бути рідкі та тверді розчини, хімічні сполуки. Однофазною системою є, наприклад, однорідна рідина, двофазною – механічна суміш двох видів кристалів.

**Компонентами** називають речовини, що утворюють систему. Компонентами можуть бути елементи (метали та неметали), а також стійкі хімічні з'єднання.

### ***Діаграма стану сплавів***

**Діаграмою стану сплавів** називають графічне зображення стану сплаву залежно від концентрації та температури. Діаграми стану сплавів слід навчитися розуміти, щоб:

прогнозувати фазові перетворення у сплавах різної концентрації при зміні температури під час технологічних процесів виготовлення або в робочих умовах;

оцінити характер і властивості утворюваних у сплавах при різних температурах рівноважних фаз і структур;

грунтуючись на знаннях чинників, які впливають на процеси кристалізації та перекристалізації, передбачати можливі зміни в будові і властивостях сплаву при неминучих відхиленнях від умов рівноважної кристалізації в реальних процесах;

використовувати вплив фазового та структурного стану сплавів на механічні та технологічні властивості при проектуванні кінцевої структури матеріалу деталі.

Діаграми стану сплавів будують за експериментально визначеними критичними точками в сплавах різної концентрації. Методика експериментів ґрунтується на тому, що будь-яке фазове перетворення супроводжується зміною фізико-механічних властивостей (електричного опору, питомого об'єму тощо) або тепловим ефектом. Кристалізація сплаву супроводжується значним виділенням тепла, тому моменти початку чи кінця процесу або перебігу його при сталій температурі на графіках швидкості охолодження — кривих охолодження — будуть відповідати перегинам кривої або горизонтальним ділянкам.

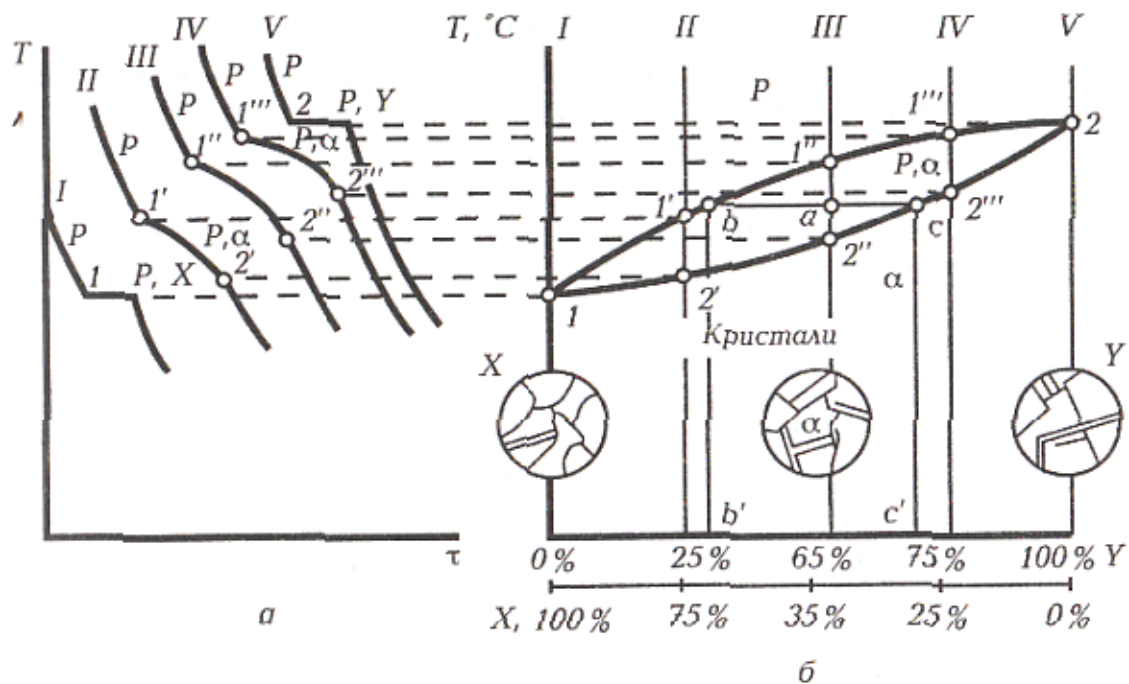


Рис. 2.1. Побудова діаграми стану сплавів:  
 а – експериментальні криві охолодження сплавів I-V;  
 б – діаграма стану сплавів компонентів X та Y.

Діаграми стану будують в координатах температура-концентрація. Крайні координати відповідатимуть чистим компонентам. На вертикалі концентрації кожного дослідженого сплаву наносять точки, що відповідають температурам початку і кінця кристалізації та алотропічних перетворень. З'єднані критичні точки початку кристалізації дадуть на діаграмі **лінію ліквідус**, вище якої всі сплави перебувають в рідкому стані. Відповідно точки кінця кристалізації дадуть **лінію солідус**, нижче якої всі сплави перебувають у твердому стані.

## Діаграма стану залізовуглецевих сплавів

### Компоненти і фази системи залізо – вуглець

Компонентами залізовуглецевих сплавів є два хімічні елементи — **залізо** та **вуглець**.

**Залізо** — сріблясто-білий метал з температурою плавлення 1539 °С і густиною 7,87-10<sup>3</sup> кг/м<sup>3</sup>. Йому властива добра пластичність, невисока міцність і низька твердість.

**Вуглець** може перебувати в сплавах у цементиті Fe<sub>3</sub>C, у твердих розчинах проникнення, а також у вигляді графіту.

До **фаз системи** залізо-вуглець належать: рідкий розчин P, ферит Ф, аустеніт А і цементит Ц.

**Рідкий розчин P** — однорідна рідина, що складається із заліза та вуглецю. Рідкий розчин існує як окрема фаза над лінією ліквідус, а між лініями ліквідус та солідус він перебуває у рівновазі з кристалічною фазою (феритом, аустенітом або цементитом).

**Ферит Ф** — твердий розчин проникнення вуглецю в α-залізі. Максимальна розчинність вуглецю у фериті становить 0,02 %. Така незначна розчинність пояснюється малими розмірами порожнин в об'ємноцентрованому кубі заліза проти розмірів атома вуглецю.

**Аустеніт А** — твердий розчин проникнення вуглецю в γ-залізі з максимальною розчинністю 2,14 % С. Атом вуглецю може перебувати в центрі ГЦК. Аустеніт не магнітний, досить пластичний і має твердість за Брінеллем в межах 170 ... 220.

**Цементит Ц** — хімічна сполука заліза з вуглецем Fe<sub>3</sub>C, яка відповідає концентрації вуглецю 6,67 %. Твердість цементиту дуже висока (800 НВ), його температура плавлення становить 1260 °С.

**Перліт П** — механічна суміш (евтектоїд) ферриту та цементиту, яка утворюється при евтектоїдному розпаді аустеніту (0,8% С).

**Ледебурит Л** (4,3% С) — механічна суміш (евтектика) аустеніту або перліту та цементиту. Нижче 727 °С аустеніт перетворюється у перліт, при цьому утворюється суміш перліту та цементиту.

### **Діаграма стану залізо - вуглець**

Діаграма стану залізо-вуглець охоплює залізовуглецеві сплави, які містять від 0 до 6,67 % С. Сплави з концентрацією вуглецю, що перевищує 6,67 %, практично не використовуються через їхні незадовільні механічні властивості.

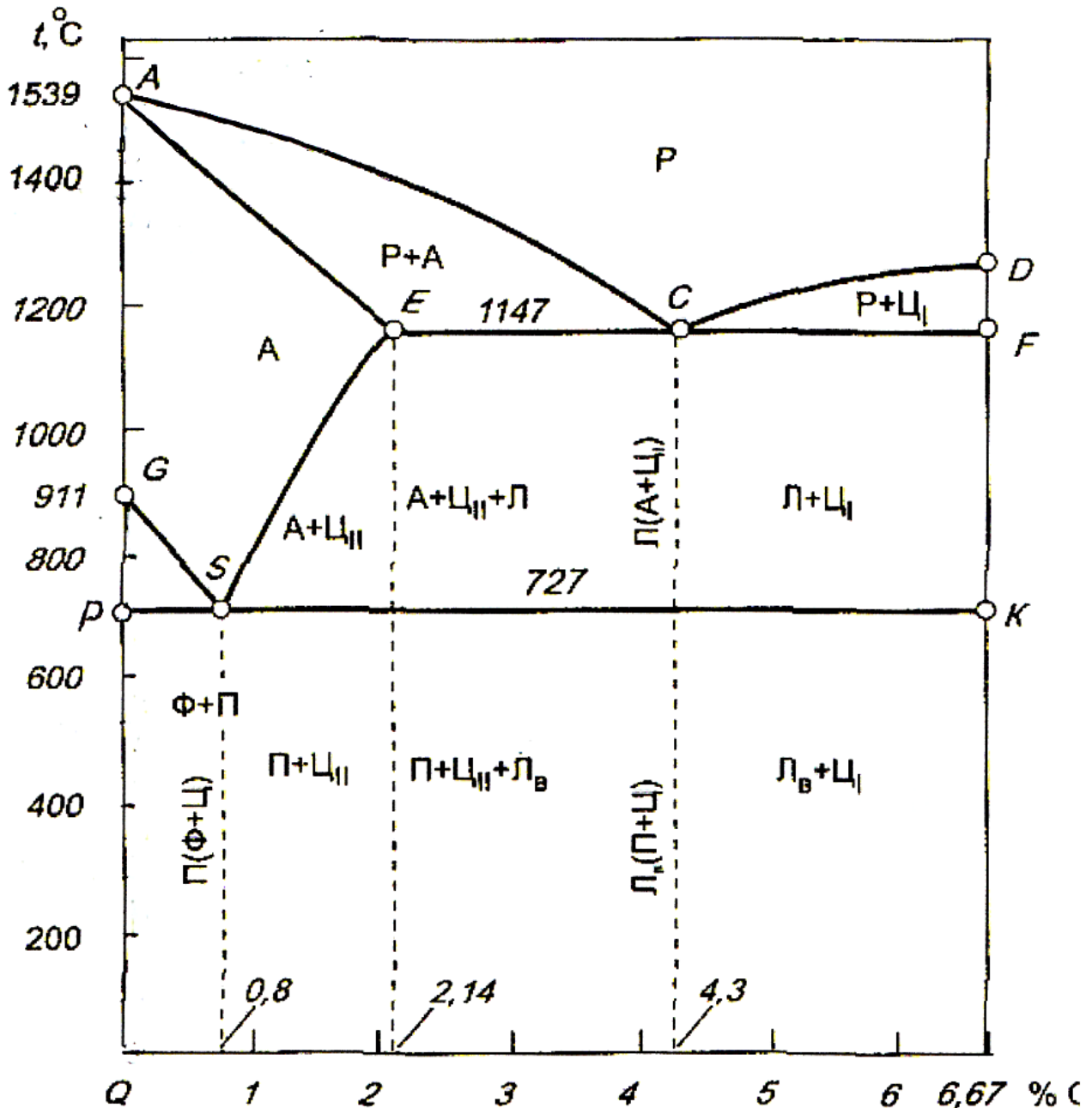
Діаграму залізо — вуглець характеризує структурні перетворення, які відбуваються в залізовуглецевих сплавах при їх охолодженні. По лінії **ліквідус ACD** маємо початок, а на лінії **солідус AECF** — кінець кристалізації. Тут на ділянці **AC** лінії ліквідус рідкий розчин переходить в аустеніт, а на ділянці **CD** — у цементит первинний **Ц<sub>1</sub>**. Кристалізація аустеніту закінчується на ділянці **AE** лінії солідус.

При температурі 1147 °С (лінія **ECF**) з рідкого розчину **P** концентрації складу точки **C** (4,3 % С) утворюється дрібна механічна суміш — ледебурит.

Отже, на лінії солідус закінчується **первинна кристалізація** і нижче від цієї лінії починається вторинна кристалізація. **Вторинна кристалізація** зумовлена поліморфізмом заліза та температурною зміною розчинності вуглецю в аустеніті. На лінії **GS** аустеніт перетворюється у ферит.



Розчинність вуглецю в аустеніті і фериті залежить від температури. Зі зниженням температури від 1147 °С (точка *E*) до 727 °С (точка *S*) максимальна



розчинність вуглецю в аустеніті зменшується від 2,14 до 0,8 %. Вуглець виділяється із  $\gamma$ -заліза з утворенням **вторинного цементиту**  $\text{Ц}_{II}$ . Таке перетворення називають евтектоїдним (розпад твердого розчину). В результаті цього розпаду утворюється дуже дрібна двофазова феритно-цементитна структура фериту і цементиту, яка називається **перлітом П**. Це перетворення завершується по лінії **PSK**.

Рис. 2.2. Діаграма стану залізвуглецевих сплавів  
*P* – рідкий сплав; *A* – аустеніт; *П* – перліт; *Ф* – ферит;  
*Ц* – цементит; *Л* – ледебурит

Залізвуглецеві сплави з концентрацією вуглецю до 2,14 % називають **сталями**. За структурою у рівноважному сталі розрізняють доевтектоїдні, евтектоїдні та заевтектоїдні сталі.

**Доевтектоїдні сталі** містять до 0,8 % вуглецю і мають феритно-перлітну структуру у вигляді світлих зерен фериту і темних зерен перліту.

**Евтектоїдна сталь** містить 0,8 % вуглецю, її структура - зерна перліту, що складаються здебільшого із пластинок цементиту та фериту. Пластинки цементиту порівняно тонші й світліші.

**Заевтектоїдні сталі** містять від 0,8 до 2,14 % вуглецю. В структурі цих сталей є зерна перліту темного кольору і тонка світла мережа вторинного цементиту по границях зерен перліту.

Залізовуглецеві сплави з концентрацією вуглецю від 2,14 до 6,67 % називають **чавунами**. Якщо весь вуглець у чавунах перебуває у вигляді хімічної сполуки  $Fe_3C$ , то такі чавуни називають **білими**. В структурі білих чавунів наявний ледебурит, що утворився на лінії **ECF** під час евтектичної реакції. Чавуни, розташовані зліва від точки **C**, по закінченні первинної кристалізації мають структуру первинного аустеніту та ледебуриту, а відповідно чавуни справа від точки **C** — структуру первинного цементиту і ледебуриту. Під час охолодження в інтервалі температур від 1147 °C (лінія **ECF**) до 727 °C (лінія **PSK**) гранична розчинність вуглецю в аустеніті зменшується від 2,14 % до 0,8 % з утворенням вторинного цементиту.

За структурою білі чавуни поділяються на:

- **евтектичні** (4,3 % C) з структурою - ледебурит;
- **доевтектичні** (2,14...4,3 % C), структура : перліт + вторинний цементит + ледебурит;
- **заевтектичні** (4,3...6,67 % C), структура: первинний цементит + ледебурит.

## Тема 2.2. Виробництво чавуну і сталі.

### *Виробництво чавуну.*

#### **Залізні руди, флюси, паливо та вогнетривкі матеріали**

**Чавун** – це сплав заліза з вуглецем (2,14 – 6,67%). Крім заліза і вуглецю в чавуні завжди є кремній, марганець, фосфор та сірка. Чавун використовується для виготовлення відливок та переробки в сталь.

Основним способом отримання чавуну є плавка в доменній печі. Для цього використовують залізні та марганцеві руди, флюси, паливо і повітря.

**Залізні руди** складаються з хімічних сполук заліза та породи. Найбільш поширеними залізними рудами є магнітний залізняк  $Fe_3O_4$ , червоний залізняк  $Fe_2O_3$ , бурий залізняк  $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$  і шпатовий залізняк  $FeCO_3$ . Руди містять 30 – 60 % заліза.

**Флюси** застосовуються для оплавлення тугоплавкої пустої породи і золи з утворенням легкоплавких шлаків, які легко витікають з доменної печі. Флюси також частково переводять в шлак сірку. Шлаки легші за метал, тому захищають його від атмосфери печі. Флюси поділяють на основні та кислі. До основних

флюсів відносяться вапняк  $\text{CaCO}_3$  та доломіт  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . До кислих флюсів відноситься кварцовий пісок.

В якості палива в доменному процесі використовується кокс. **Кокс** отримують сухою перегонкою коксівного вугілля без доступу повітря при температурі 900 - 1050°C.

Метали виплавляються в печах при високих температурах. Тому внутрішні стінки печей, ковшів, пристроїв для транспортування рідкого металу викладають **вогнетривкими матеріалами**. Вогнетривкі матеріали мають витримувати високі температури, мають протистояти хімічній взаємодії з металом, шлаком та пічними газами. По хімічному складу вогнетривкі матеріали поділяються на основні, кислі та нейтральні.

**Динас** є кислим вогнетривом, містить до 96%  $\text{SiO}_2$ , має вогнетривкість 1700 - 1710°C. Динасовою цеглою футерують печі, які працюють з кислими шлаками, де багато  $\text{SiO}_2$ .

До основних вогнетривів відносяться **магнезит** ( $\text{MgO}$ ), **хромомагнезит** ( $\text{MgO}$  і  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) та **доломіт** ( $\text{MgO}$  і  $\text{CaO}$ ).

До нейтральних вогнетривів належать **шамот**, який отримують з вогнетривкої глини.

### **Доменне виробництво**

Доменна піч у вигляді металевої оболонки із сталевих листів товщиною до 35 мм, футерована зсередини вогнетривкими матеріалами, у висоту може сягати до 35 м, в діаметрі — до 9 м, корисний об'єм — до 5000 м<sup>3</sup>. Для виплавлення чавуну в домну завантажують шихту — суміш певного співвідношення руди (збагаченої), палива і флюсів. Окремі порції шихти називають колошами. Колоші з бункера 1 вагонеткою 2 подаються піднімачем 3 до відносно загерметизованого засипного апарата 4, що з'єднаний з колошником 6. У засипний апарат вмонтовані труби 5 для контрольованого випуску колошникового газу. Із колошника шихта потрапляє в шахту 7, яка має форму зрізаного конуса, що розширюється донизу, сприяючи опусканню шихти внаслідок її розплавлення. У шахті відбуваються відновлення заліза та інших елементів, науглецювання заліза і плавлення сплаву, що утворився. У нижній частині шахта переходить у циліндричний розпар 8, в якому плавляться і перетворюються у шлак порода руди, флюси та зола палива. Під розпаром розташовані заплечики 9, що мають форму конуса, розширеного догори, бо об'єм сировинних матеріалів у зв'язку з розправленням різко зменшується. У твердому стані залишаються лише паливо та частина флюсу. Нижня частина печі — горн 11. У верхній частині циліндричного горна по периметру розташовані фурми 10, через які в піч вдувається нагріте до 1100...1200°C повітря. Для цього його пропускають через нагріті спаленим колошниковим газом повітрянагрівачі 14. Нижче від фурм розташована шлакова лютка 12, а на рівні дна горна, що називається подом, — чавунна лютка (отвір) 13. Відпрацьовані гази, що нагріли повітрянагрівач, відводяться в димар 15. Температура в печі неоднакова і зменшується від 1800°C в зоні фурм до 150...200°C в зоні колошника. Внутрішня поверхня металевого корпусу печі облицьована вогнетривкою цеглою, товщина шару якої контролюється спеціальними приладами. У нижню частину шахти вмонтовані рідинні холодильники.

Для успішного перебігу доменного процесу необхідно створити таку кількість тепла і таку температуру в різних зонах по висоті печі, щоб усі хімічні реакції відбувались в потрібний час і в потрібному місці. Іншим завданням є створення умов для утворення шлаку лише після закінчення відновлення заліза і необхідних домішок.

Отримувані при згорянні коксу тепло і вуглекислий газ, піднімаючись вгору, нагрівають шихту, що складається з прошарків руди, палива і флюсу. Взаємодія вуглекислого газу з нагрітим коксом утворює відновний газ CO, який вступає в реакцію з оксидами заліза руди і відновлює його в послідовності:

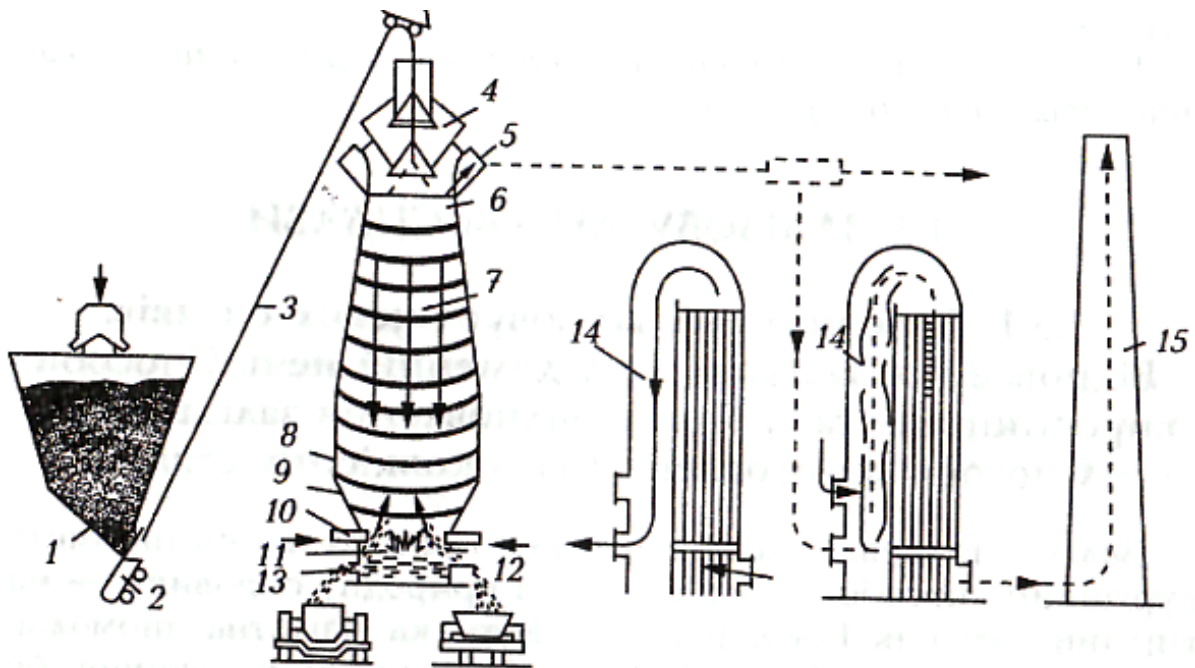


Рис. 2.3. Схема доменного виробництва

Відновлене в доменній печі залізо являє собою твердий і пористий продукт — губчасте залізо. Водночас з відновленням заліза відбувається відновлення з шихти кремнію, марганцю, сірки та фосфору. Вони відновлюються переважно твердим вуглецем. Під час реакції поглинається тепло при високих (1200...1300°C) температурах. При температурах 900...1000°C оксид вуглецю вступає в реакцію з чистим залізом і утворюється карбід заліза  $\text{Fe}_3\text{C}$  — цементит, який розчиняється в залізі і сприяє його науглецюванню. Навуглецюване до 1,8...2,0% C залізо має низьку (1150...1200°C) температуру плавлення і, розплавляючись, стікає краплями в горн. Контактуючи з кусками розжареного коксу, воно додатково насичується вуглецем.

Таким чином, на поді доменної печі накопичується рідкий сплав заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, сіркою та фосфором — чавун. Для одержання 1 т чавуну витрачають 1,8 т руди, 0,7...0,8 т коксу, 0,25...0,40 т флюсу.

### **Продукти доменного виробництва.**

Головним продуктом доменного виробництва є чавун, а побічними – шлак та доменний газ. Чавуни, що виплавляються в доменній печі поділяють на переробні, ливарні та феросплави.

У *переробному* або білому чавуні значна частина вуглецю знаходиться у вигляді сполуки  $Fe_3C$ , яка робить чавун дуже твердим та крихким. Переробний чавун призначений для отримання сталі, він містить до 1% марганцю, 4,0...4,5% вуглецю, 0,6...0,8 кремнію, 0,3% фосфору, 0,07% сірки.

*Ливарний* або сірий чавун має підвищений вміст кремнію (до 4%). Частина вуглецю знаходиться у вигляді вільного графіту. Використовується для отримання відливок.

*Шлак* складається з оксидів кремнію, кальцію, алюмінію, магнію, марганцю і заліза та сульфідів металів. На 1 т чавуну утворюється 0,3 – 0,6 т шлаку. Використовується при виробництві цементу, шлакоблоків, шлаковати, бруківки тощо.

*Доменний газ* після очистки використовується в повітрянагрівачах, коксових батареях, котлах тощо. При виробництві 1 т чавуну утворюється до 3000 м<sup>3</sup> газу.

Найважливішими техніко – економічними показниками роботи доменної печі є коефіцієнт використання корисного об'єму та питома витрата коксу. *КВКО* показує відношення корисного об'єму печі (м<sup>3</sup>) до середньодобової продуктивності (т). Цей показник в Україні становить 0,55 – 0,60.

*Питома витрата коксу* характеризується відношенням витрати коксу за добу до середньодобового виробництва чавуну. В Україні цей показник становить 500 кг/т.

## **Виробництво сталі.**

Сталь, як і чавун, представляє собою сплав заліза з вуглецем та іншими домішками, але відрізняється від нього меншим їх вмістом. Тому отримання сталі з чавуну зводиться до оксидування домішок чавуну до необхідних меж киснем повітря або чистим киснем. Основними способами отримання сталі є конверторний, мартенівський та в електropечах. Виробництво сталі зростає у всьому світі. Зараз щороку виплавляють понад 830 млн. т. сталі. Україна посідає сьоме місце серед виробників сталі.

### ***Конверторний спосіб виробництва сталі.***

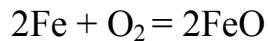
Для отримання сталі застосовують бесімерівський, томасівський та кисневий конвертори. В передових країнах зараз застосовують тільки кисневі конвертори, які почали впроваджуватись в 1954 році. В цілому в світі кисневі конвертори дають зараз близько 60% сталі.

*Кисневий конвертор* має сталевий корпус грушоподібної форми, обкладений зсередини вогнетривкою цеглою. Конвертор опирається на дві опори і може повертатись навколо горизонтальної осі для завантаження скрапу, наливання чавуну, насипання флюсу і залізної руди, виливання сталі та шлаку. Конвертор вміщує від 100 до 400 т рідкого чавуну.

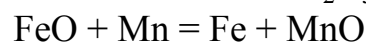
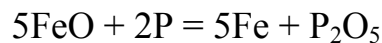
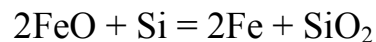
Матеріалами для киснево-конверторного процесу служать: рідкий переробний чавун (понад 70%), скрап (до 25%), залізна руда (до 10%), вапно CaO та плавиковий шпат для розрідження шлаку.

В конвертор заливають чавун з температурою 1300 - 1450°C, насипають скрап, руду, вапно та плавиковий шпат і через вертикальну фурму, яка охолоджується водою, вдувають кисень під тиском 0,9 – 1,4 МПа. Продування киснем триває 12 – 25 хв.

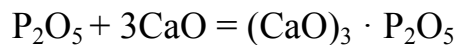
При вдуванні кисню відбувається оксидація заліза



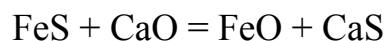
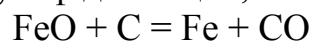
Оксид заліза розчиняється у металі і реагує з кремнієм, фосфором та марганцем:



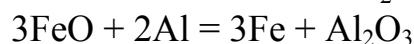
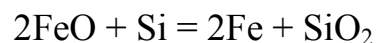
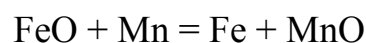
Оксиди SiO<sub>2</sub> та MnO впливають на поверхню металу і утворюють шлак. Фосфорний ангідрид реагує з оксидом кальцію, утворюючи фосфід кальцію, який також переходить в шлак.



З підвищенням температури активізується оксидація вуглецю та переведення сульфїду заліза в сульфід кальцію, який переходить в шлак:



Бульбашки CO, піднімаючись вгору, добре перемішують вміст ванни, але внаслідок цього в майбутньому зливку залишаються безліч порожнин, заповнених CO. Така сталь називається киплячою. Ці порожнини можуть спричинити крихке руйнування при низьких температурах. Тому під час випуску сталі в ковші проводиться дезоксидація сталі спочатку марганцем, потім кремнієм та наприкінці - алюмінієм:



В результаті дезоксидації отримують спокійні та напівспокійні сталі.

Коли виплавляють леговані сталі, легуючі елементи вводять до їх складу у вигляді феросплавів або чистих металів під час виплавлення або в ківш.

Цей спосіб забезпечує високу продуктивність та не вимагає палива, але значна частина металу вигоряє і для процесу необхідно до 80% рідкого чавуну.

### ***Виробництво сталі в електропечах***

В електропечах виробляють високоякісні конструкційні, інструментальні та спеціальні сталі з мінімальним вмістом шкідливих домішок і неметалевих вкраплень. Електропечі поділяють на дугові та індукційні. Зараз в електропечах отримують до 35% світової сталі.

***Електродугова піч*** складається із сталевого корпусу з вогнетривкою футерівкою. Корпус накритий склепінням з трьома отворами для графітизованих електродів. Джерелом тепла є електрична дуга, що горить між

електродом і шихтою. Електроди автоматично опускаються, забезпечуючи необхідну дугу. Піч має отвір для виливання сталі та вікно для контролю за процесом і для завантаження флюсу, феросплавів та легуючих елементів. Для прискорення оксидації вуглецю, кремнію та марганцю розплавлений метал продувають киснем. Місткість дугових печей доходить до 400 т.

В *індукційних електропечах* змінний струм індуктора збуджує в металевій частині шихти потужні вихрові струми, які нагрівають і розплавляють шихту. В таких печах виплавляють дуже якісні жаростійкі, жароміцні та інші сталі.

*Індукційна тигльова піч* складається з тигля, навколо якого намотаний індуктор з мідної труби, охолоджуваної водою. Тигель виготовляється з вогнетривких порошоків, скріплених зв'язкою. Тигель завантажується шихтою і закривається кришкою. Рідкий метал виливається у розливний пристрій при нахиланні печі.

### ***Позадоменне рафінування сталі***

Останнім часом постійно зростають вимоги до чистоти сталі щодо оксидів, сульфідів і розчинених газів. Очищення сталі частіше всього проводять після виливання з доменної печі в ківш. Основними способами такого очищення є обробка рідкої сталі в ковші синтетичним шлаком, вакуумування сталі та продування її інертним газом.

*Обробка сталі синтетичним шлаком* полягає в тому, що спочатку на дно ковша засипають синтетичний шлак, а потім заливають розплавлену сталь. Цей шлак складається із 55% CaO, 40% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, решта - SiO<sub>2</sub>, MgO, FeO і готується в електропечі. Шлак добре переміщується з металом, зменшує вміст сірки і виносить на поверхню неметалеві домішки.

*Вакуумна дегазація* проводиться в спеціальній камері, куди ставлять ківш з металом. В камері знижується тиск і на поверхню металу бурхливо виходить азот, водень і оксид вуглецю, захоплюючи з собою неметалеві домішки.

*Продування рідкої сталі інертним газом* (частіше всього аргоном) через пористі вогнетривкі блоки в дні ковша сприяє виходу на поверхню металу водню та азоту та винесенню неметалевих вкраплень.

### ***Розливання сталі***

Виплавлена сталь з печі або конвертора виливається в ківш і недовго відстоюється для вирівнювання хімічного складу, дегазації і вилучення неметалевих вкраплень. Ківш має сталевий корпус, футерований шамотом або магнезитом. В дні є отвір для виливання сталі. Отвір закритий металевим стопором, захищеним вогнетривками. Ківш містить від 5 до 400 т. сталі і транспортується мостовим краном. З ковша сталь виливають в машини безперервного литва або в спеціальні металеві форми – виливниці. Після кристалізації отримують зливки, які переважно подаються на прокатування.

*Виливниця* частіше всього виготовляється з чавуну і має квадратну, прямокутну або круглу форму. Маса злиwkів від 1 до 12т., інколи до 300т. Метал у виливниці заливають зверху або сифонним способом. При *розливанні зверху* сталь розбризкується, бризки прилипають до поверхні виливниці, покриваються оксидною плівкою і не переходять у зливки. Перед прокатуванням їх потрібно вирізувати.

При *сифонному розливанні* сталь з центрального ливника по каналах надходить одночасно у всі виливниці. Поверхня зливків якісніша, але витрачається метал на ливникову систему. Так отримують дрібні та середні зливки.

Налита у виливницю сталь охолоджується нерівномірно. Кристалізація починається біля стінок та дна виливниці. Так як потік теплоти направлений перпендикулярно до стінок виливниці, то в цих напрямках утворюються стовпчасті кристали. В процесі охолодження зливка зменшується його об'єм і утворюється *усадкова порожнина* у верхній частині зливка.

*Безперервне розливання* полягає в тому, що сталь із ковша виливають у металевий кристалізатор, який охолоджується водою. Розжарений зливочок валками протягується вниз, додатково охолоджується водою. Тому кристалізація відбувається швидко. В результаті структура зливка щільна, дрібнозерниста і хімічно однорідна. На виході з машини зливочок розрізується на частини необхідної довжини. Поперечний переріз кристалізатора визначається конфігурацією майбутнього виробу. Зливки мають якісну поверхню, відсутня усадкова порожнина, нема потреби у великій кількості виливниць.

В Японії, Італії, Південній Кореї та ФРН понад 95% сталі розливають на таких машинах. Дуже відстають в цьому КНР, Росія, Індія та Україна.

## Тема 2.3 *Вуглецеві сталі.*

*Вуглецеві сталі* – це багатокомпонентні сплави заліза з вуглецем, марганцем, кремнієм, фосфором, сіркою та іншими компонентами.

### *Вплив постійних домішок на властивості сталі*

*Вуглець* у сталях перебуває в складі фериту і цементиту. Ферит має невисоку міцність, малу твердість і добру пластичність, але зі збільшенням кількості вуглецю частка фериту у сталі поступово зменшується, а частка високотвердого і малопластичного цементиту зростає. Така зміна у співвідношенні фаз фериту й цементиту збільшує міцність та твердість і зменшує її пластичність та ударну в'язкість. Міцність зростає доти, поки частка вуглецю не досягне 0,8...0,9 %. Подальше збільшення вуглецю спричинює зменшення міцності, що призводить до руйнування під час навантаження крихкої сітки вторинного цементиту навколо перлітних зерен.

Поруч з механічними властивостями змінюються також і властивості технологічні. Зокрема з ростом кількості вуглецю в сталі її зварюваність і оброблюваність різанням погіршуються. Сталі добре зварюються, якщо кількість вуглецю в них не перевищує 0,25 %.

*Марганець*, як відомо, використовують в металургії з метою дезоксидації та десульфідизації рідкого металу. При цьому частина марганцю у вигляді MnO і MnS потрапляє в шлак, який згодом зливають, а інша — залишається в металі у складі фериту і цементиту. Розчинений у фериті марганець спотворює кри-



сталічну решітку, внаслідок чого помітно підвищується міцність сталі, хоч пластичність змінюється мало.

**Кремній** застосовують для дезоксидації. Він утворює з феритом твердий розчин, спотворена гратка якого збільшує міцність і знижує пластичність сталі.

**Фосфор** розчиняється у фериті і хоч підвищує міцність, проте зменшує пластичність та ударну в'язкість сталі. Спад ударної в'язкості стає причиною **холодноламкості**, тобто схильності сталі до крихкого руйнування при низьких температурах.

**Сірка** не розчиняється в залізі, входить до складу хімічної сполуки FeS. Низька температура плавлення сполуки спричинює **червоноламкість** — схильність сталі до крихкого руйнування під час гарячої обробки тиском. Тому сталь з підвищеною концентрацією сірки не рекомендують для гарячої обробки тиском. Сірка, як і фосфор, є шкідливою домішкою.

Негативний вплив сірки істотно пом'якшує марганець, оскільки він утворює хімічну сполуку MnS з температурою плавлення 1620 °С. В межах температур гарячої обробки тиском (800...1200 °С) MnS пластичний і не сприяє крихкому руйнуванню, але сульфіди марганцю при нормальній температурі можуть стати центрами зародження тріщин під повторно-змінними навантаженнями.

**Кисень, азот і водень** у сталях можуть перебувати у складі оксидів і нітридів, у твердому розчині  $\alpha$ -заліза та у газоподібному стані в мікропорожнинах. Неметалеві вкраплення знижують ударну в'язкість і втомну міцність.

Розчинність кисню, азоту та водню в  $\alpha$ -залізі незначна й істотно зменшується зі зниженням температури. Це призводить до виділення в пограничних зонах оксидів чи нітридів. Що стосується водню, то він не утворює із залізом хімічних сполук і може протягом тривалого часу поступово виділятися зі сталі. Як наслідок — окремі властивості сталі поліпшуються. Якщо водню багато, то він утворює в мікропорожнинах високий тиск, що призводить до виникнення внутрішніх тріщин — **флокенів**. Флокени трапляються в усіх сталях, однак їх найбільше в сталях, що містять хром. Що більша міцність сталі, то флокени небезпечніші. Шкідливий вплив газів можна зменшити, дегазуючи рідкий метал перед розливанням.

### **Класифікація вуглецевих сталей**

**Вуглецеві сталі** класифікують за структурою, способом виробництва, ступенем дезоксидації, якістю та призначенням.

За **структурою** вуглецеві сталі поділяють на доевтектоїдні, евтектоїдні, та заевтектоїдні.

За **способом виробництва** розрізняють сталі, виплавлені в кисневих конвертерах, в електропечах і в мартенівських печах.

Залежно від **ступеня дезоксидації** сталі поділяють на спокійні, напівспокійні й киплячі. Всі вони за однакової масової частки вуглецю мало відрізняються статичною міцністю, проте мають різні пластичні властивості, зумовлені неоднаковою масовою часткою кремнію, яка найбільша в спокійній сталі (0,15...0,30 %) і найменша в киплячій (до 0,05 %). Через найменшу кількість кремнію, розчиненого у фериті, кипляча сталь найпластичніша.

За **якістю** розрізняють сталі звичайної якості, якісні та високоякісні. Критерієм якості сталей є масові частки шкідливих домішок — фосфору і сірки.

Відповідно до **призначення** сталі поділяють на конструкційні з масовою часткою вуглецю до 0,65 % та інструментальні з масовою часткою вуглецю в межах від 0,65 до 1,35 %. Конструкційні сталі використовують для виготовлення деталей машин, металевих конструкцій та будівельних споруд. З інструментальних сталей виробляють різальні, вимірювальні інструменти та штампи.

### ***Сталі вуглецеві конструкційні звичайної якості***

**Вуглецеві сталі звичайної якості** є найдешевшими серед сталей. Вони мають підвищену масову кількість фосфору (до 0,07 %) і сірки (до 0,06 %). **Марки** цих сталей позначають літерами і цифрами. Літери **Ст** означають „сталь”, цифри - умовний номер марки (від 0 до 6) залежно від хімічного складу, літери **кп**, **пс**, **сп** - ступінь дезоксидації (кп - кипляча, пс – напів-спокійна, сп - спокійна). Хімічний склад можна визначити з довідників.

При підвищеному вмісті в сталі марганцю в марці після цифри записують літеру Г, наприклад Ст3Гсп.

Якщо для виплавлення сталей звичайної якості використовують значну кількість скрапу, то в їхньому складі допускається масова частка міді до 0,40%, хрому та нікелю – до 0,35%.

Сталі звичайної якості постачають замовникам у вигляді листів та прокатаних напівфабрикатів стандартного профілю. Ці профілі й листи попередньо розрізують до заданих розмірів, після чого з них виготовляють різні металоконструкції або прості заготовки, призначені переважно для малонавантажених деталей. Заготовки складнішої форми отримують куванням або штампуванням.

Застосовуючи термічну обробку (в тому числі й зміцнювальну), можна змінювати в певних межах структуру та властивості сталей звичайної якості.

### ***Сталі конструкційні вуглецеві якісні***

**Сталі конструкційні вуглецеві якісні** відрізняються від сталей звичайної якості меншою масовою часткою фосфору (не більше ніж 0,035 %), сірки (не більше ніж 0,040 %), а також меншими частками неметалевих включень і газів. Металургійний завод, що виплавляє ці сталі, гарантує не лише хімічний склад, але й механічні властивості.

Марки конструкційних вуглецевих якісних сталей позначають двозначними числами (що означають середню масову частку вуглецю у сотих частках відсотка) і літерами **кп** (кипляча сталь) або **пс** (напівспокійна). Спокійні сталі маркують без індексу **сп**. Наприклад, сталь 45 — спокійна; вона має в середньому 0,45 % вуглецю.

Зі збільшенням у сталі кількості вуглецю від 0,08 до 0,60 % її міцність  $\sigma_s$  у нормалізованому стані зростає від 320 до 680 МПа, а відносне видовження  $\delta$  зменшується від 33 до 12 %. Із маломіцних сталей марок 05, 08, 10 завдяки

високої пластичності виготовляють вироби холодним штампуванням, Зі сталей марок 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 виготовляють різноманітні деталі (в тому числі і відповідальні), що вимагають нормалізації або поверхневого гартування.

Недоліком вуглецевих сталей є мала прогартовуваність.

Різновидністю конструкційних вуглецевих сталей є *автоматні сталі*, які використовуються для виготовлення малонавантажених деталей на верстатах-автоматах. Ці сталі мають підвищену оброблюваність, для чого часто підвищують вміст сірки (до 0,3%), фосфору (до 0,15%) і марганцю (0,70 – 1,55%). Такі сталі маркують літерою А та цифрами, які показують середній вміст вуглецю (А12, А20). Якщо сталь призначена для виготовлення виливків, то в кінці її марки записують літеру Л (25Л, 45Л), а у марках якісних сталей, призначених для виготовлення котлів, що працюють під тиском, після двохзначного числа пишуть літеру К (12К, 22К).

### *Сталі вуглецеві інструментальні*

*Сталі інструментальні нелеговані (вуглецеві)* бувають якісні і високоякісні. Масова частка шкідливих домішок у якісних сталях не більше ніж 0,030 % фосфору й не більше ніж 0,028% сірки, а у високоякісних сталях - не більше ніж 0,025 % фосфору й не більше ніж 0,018% сірки.

Марки інструментальних вуглецевих сталей позначають літерою У (вуглецева) і числами, що означають масову частку вуглецю у десятих долях відсотка (У7, У12). В сталі У7 маємо в середньому 0,7 % вуглецю, а в сталі У12 — 1,2 %. За підвищеної кількості марганцю у сталі після числа дописують літеру Г (У8Г). Високоякісні сталі позначають літерою А (У8А, У12А).

Інструменти для різання металів працюють в умовах високого тиску, температури й тертя. Щоб ефективно їм протистояти, ці матеріали повинні мати високу твердість, зносостійкість, теплостійкість і міцність.

**Твердість** різальної частини інструмента має значно перевищувати твердість оброблюваного матеріалу.

**Зносостійкість** — це здатність інструмента якомога довше протистояти поступовому його руйнуванню з боку матеріалу заготовки. Внаслідок такого руйнування різальний інструмент затуплюється. Що твердіший матеріал інструмента, то вищою буде його зносостійкість.

**Теплостійкістю** називають температуру, при нагріванні до якої твердість інструмента починає стрімко знижуватись внаслідок структурних змін.

**Міцність** різального інструмента повинна бути достатньою, щоб сприймати великі сили різання.

Із сталей У7, У7А виготовляють інструменти для обробки дерева (сокири, стамески, долота) та ударні інструменти (пуансони, молотки, зубила). Для виготовлення деревообробних інструментів (фрез, пил, свердл) використовують сталі У8, У8А, У8Г, У8ГА, У9, У9А.

Із сталей У10, У10А, У12, У12А виготовляють металообробний інструмент, що працює при невисоких температурах (мітчики, плашки, штампи, вимірювальні інструменти).

Із сталей У12, У12А, У13, У13А виготовляють напилки, шабери.

## Тема 2.4 Чавуни.

**Чавуни** — це залізовуглецеві сплави, масова частка вуглецю в яких перебуває в межах від 2,14 до 6,67 %. Крім заліза та вуглецю, в чавунах промислового виробництва є постійні домішки кремнію, марганцю, фосфору та сірки в кількостях більших, ніж у сталях. Чавуни характеризуються добрими ливарними властивостями, у зв'язку з чим широко використовуються для виготовлення різноманітних виливків. Ливарні властивості чавуну підвищуються зі зменшенням його температурного інтервалу кристалізації. Чавуни мають достатню міцність, а при значній кількості цементиту в структурі — добру зносостійкість. З огляду на невисоку пластичність чавуни не можна обробляти тиском. Чавун, як правило, дешевший від сталі. Механічні властивості чавунів і галузі їх застосування визначаються структурою, на формування якої впливає не лише хімічний склад, але й швидкість охолодження.

За структурою чавуни поділяють на білі, чавуни з пластинчастим графітом (сірі), ковкі та чавуни з кулястим графітом (високоміцні).

### **Білі чавуни**

**Білими** називаються чавуни, в яких весь вуглець перебуває у хімічній сполуці  $Fe_3C$ . Їх злами мають білий колір.

При охолодженні чавуну на лінії ліквідус із рідкого розчину виділяються кристали аустеніту й первинного цементиту. На ділянці **ECF** лінії солідус відбувається евтектична реакція з утворенням ледебуриту. Між лініями **ECF** і **PSK** із аустеніту виділяється вторинний цементит, а на лінії **PSK** аустеніт розпадається на дисперсну двофазову структуру — перліт. Отже, у структурі всіх білих чавунів наявна дуже тверда й крихка евтектика — ледебурит. Білі чавуни застосовують лише для виготовлення зносостійких деталей машин, при виготовленні яких не потрібна механічна обробка.

### **Графітизація чавунів**

На відміну від білих, сірі, ковкі й високоміцні чавуни мають вкраплення графіту з металевій основі. Графіт виділяється з рідкого і твердого розчинів, а також з цементиту. Залежно від умов кристалізації у чавунах формується графіт або цементит. Утворення графіту потребує меншої швидкості охолодження. Враховуючі ці та інші особливості, можна керувати процесом структуроутворення в чавунах.

Перетворення цементиту в графіт відбувається також під час тривалого нагрівання.

### ***Вплив домішок і швидкості охолодження на структуру та властивості чавунів***

Постійні домішки, (кремній, марганець, сірка та фосфор), а також швидкість охолодження істотно впливають на процес графітизації.

**Кремній** найбільше посилює графітизацію чавуну і під час первинної кристалізації, і під час розкладання цементиту. Підвищуючи вміст кремнію, можна збільшувати кількість графіту та зменшувати кількість цементиту, наближаючись до створення чавуну з феритною металевою основою. Зменшуючи частку кремнію, можна сформувати структуру чавуну з перлітною основою.

**Марганець** протидіє графітизації, сприяючи утворенню цементиту. Водночас він дещо поліпшує механічні властивості відливок.

**Сірка** — шкідлива домішка, що погіршує механічні й ливарні властивості чавуну. Вона сильніше від марганцю протидіє графітизації і сприяє виділенню цементиту. Крім цього, сірка знижує рідкоплинність чавуну, збільшує усадку, підвищує схильність до утворення газових бульбашок і тріщин. З цієї причини вміст сірки в чавунах дуже обмежують.

**Фосфор** практично не впливає на графітизацію. Його використовують у чавунах для підвищення рідкоплинності, твердості та зносостійкості. Чавуни з високою концентрацією фосфору широко використовують для художнього лиття.

З-поміж *легувальних* елементів найпомітніший вплив на графітизацію мають мідь, нікель і хром. **Мідь** і **нікель** інтенсифікують графітизацію, а **хром** її послаблює.

**Дрібні тверді частинки**, зрівноважені в рідкому розчині, сприяють виділенню графіту, будучи центрами графітизації.

**Збільшення швидкості охолодження** гальмує виділення графіту і сприяє утворенню цементиту.

Крім швидкості охолодження, сильно впливають на графітизацію чавуну вуглець і кремній. Зі збільшенням їх сумарної частки графітизація посилюється.

Таким чином, регулюючи сумарну частку складових металу та швидкість охолодження, можна досягти бажаної структури металевої основи сірого чавуну.

### ***Сірі чавуни (з пластинчастим графітом)***

В структурі цих чавунів більша частка вуглецю перебуває у вигляді графіту пластинчастої форми в площині шліфа. Решта вуглецю разом із залізом утворює структуру металевої основи (феритну, феритно-перлітну або перлітну).

На формування структури чавуну з пластинчастим графітом впливають такі фактори, як хімічний склад, швидкість охолодження, а також наявність у рідкому розчині дрібних твердих частинок. Вуглець (2,9...3,7 %) і кремній (1,2...2,6 %) сприяють виділенню графіту, а марганець (0,5...1,1 %) і сірка (0,12...0,15 %) — утворенню цементиту. Змінюючи сумарну масову частку вуглецю та кремнію з одного боку і зменшуючи сумарну масову частку

марганцю та сірки з другого, можна регулювати співвідношення між вільним та хімічно зв'язаним вуглецем.

Чавуни з пластинчастим графітом мають добрі ливарні властивості, легко обробляються різанням, здатні гасити вібрації, що виникають в конструкціях, є найдешевшими і найпоширенішими серед ливарних сплавів. Водночас чавуни з пластинчастим графітом відзначаються невисокою міцністю ( $\sigma_{\sigma} = 100...350$  МПа) і пластичністю через особливості форми графітових вкраплень з гострими краями. Такі вкраплення можна розглядати як сильні внутрішні концентратори напружень або навіть як мікротріщини.

Умовне позначення марки має літери **СЧ** — сірий чавун й цифри — значення мінімальної межі міцності матеріалу на розрив  $\sigma_{\sigma}$  в  $10^{-1}$  МПа.

При виборі марки чавуну для конкретних умов роботи беруть до уваги як механічні так і технологічні властивості. Феритні сірі чавуни СЧ10, СЧ15, СЧ18 призначені для мало- і середньо-навантажених деталей: кришок, фланців, маховиків, корпусів редукторів і підшипників, супортів, гальмівних барабанів, дисків зчеплення тощо. Ферито-перлітні сірі чавуни СЧ20, СЧ21, СЧ25 використовують для деталей, які працюють при підвищених статичних і динамічних навантаженнях: блоків циліндрів, картерів двигунів, поршнів, станин верстатів, зубчастих коліс тощо. Перлітні сірі чавуни СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45 мають найвищі механічні властивості (завдяки дрібним відокремленим графітним вкрапленням) і використовують для деталей, які працюють при великих навантаженнях або у важких умовах стирання: зубчасті колеса, гільзи блоків циліндрів, шпинделі, розподільчі вали і т.п. Ці чавуни мають найвищу герметичність, тому з них виготовляють також корпуси насосів і компресорів, арматуру гальмівної пневматики та гідроприводів. Для деталей, які працюють при підвищених температурах, сірі чавуни *легуєть*. Жаростійкості сприяють домішки хрому та алюмінію, жароміцності — хрому, нікелю й молібдену. З метою підвищення зносостійкості гільз циліндрів, розподільчих валів та інших деталей їх робочі поверхні піддають зміцнювальній термічній обробці, а також насичують азотом.

### ***Ковкі чавуни***

***Ковкими*** називають чавуни з пластівчастою формою графіту, отримані внаслідок спеціального довготривалого відпалу відливок з білого чавуну. Щоб отримати ковкий чавун, необхідно виготовити відливки білого чавуну, потім їх відпалити з метою графітизації. Утворений внаслідок відпалу графіт має компакту майже рівноосьову, але не сферичну форму. Назва ***ковкий чавун*** умовна, тому що відливки завжди виготовляють литтям, а не куванням. Графіт пластівчастої форми є слабшим внутрішнім концентратором напружень порівняно з графітом пластинчастим, що міститься в сірому чавуні, внаслідок чого ковкі чавуни міцніші і пластичніші, ніж сірі. Залежно від режиму відпалу металева основа ковкого чавуну може бути феритною, перлітною і рідше — феритно-перлітною.

Щоб не допустити навіть часткової графітизації білого чавуну під час його охолодження в ливарній формі, треба вибирати товщину стінок відливка в межах від 3 до 50 мм, а хімічний склад рідкого розчину підтримувати в доволі

вузьких межах: 2,4...2,9 % С; 1,0...1,6 % Si; 0,3...1,0 % Mn; до 0,2 % Р і до 0,18 % S. Тобто чавун має порівняно низький вміст вуглецю, кремнію та марганцю. Після відпалу на графітизацію чавуни з такою низькою часткою вуглецю матимуть у структурі небагато компактних графітових вкраплень, що сприятиме поліпшенню їхніх механічних властивостей. Тому, що вища міцність ковкого чавуну потрібна, то менше вуглецю повинно бути у вихідному білому чавуні.

Відпал білого чавуну виконують в одну або дві стадії залежно від структури, яку необхідно сформувати, але графітизація доволі тривала та енергомістка, що стримує широке застосування ковких чавунів у машинобудуванні.

Залежно від механічних властивостей ковкі чавуни відповідно маркують. Марки ковких чавунів позначають літерами **КЧ** і числами, перше з яких відповідає межі міцності на розрив  $\sigma_{\epsilon}$  в  $10^{-1}$  МПа, а друге — відносному видовженню —  $\delta$  у %. Феритні чавуни (КЧ 30-6...КЧ 37-2) характеризуються високою пластичністю ( $\delta = 6...12$  %), а перлітні (КЧ 45-7...КЧ 80-1,5) — підвищеною міцністю й твердістю.

З ковких чавунів виготовляють відливки, що працюють під ударними або знакозмінними циклічними навантаженнями (корпуси редукторів, корпуси задніх мостів вантажних автомобілів, вилки карданних валів, муфти тощо).

### ***Високоміцні чавуни (з кулястим графітом)***

***Чавун з кулястим графітом*** має в металевій основі графіт кулястої форми. Структура металевої основи — ферит, ферито-перліт або перліт. Чавун з феритною основою найменш міцний, але високопластичний, а чавун з перлітною основою — міцний, але малопластичний.

Щоб отримати високоміцний чавун, перегрівають рідкий метал та додають до нього модифікатори (магній, цезій, кальцій), які сприяють сфероїзації графіту під час кристалізації. Кулястий графіт порівняно з пластинчастим є слабшим концентратором напружень. Високоміцні чавуни мають добрі ливарні показники, вони перевершують чавуни з пластинчастим графітом за механічними властивостями ( $\sigma_{\epsilon} = 350...1000$  МПа,  $\delta = 2...22$  %) і успішно конкурують з ковкими чавунами та сталями. У промислово розвинутих країнах частка чавунів з кулястим графітом серед ливарних сплавів становить 20...30 %. Завдяки високій міцності й пластичності високоміцних чавунів з них виготовляють відповідальні деталі: колінчасті та розподільчі вали, поршні та поршневі кільця, шестерні та зірчатки, валки прокатувальних станів, шаботи ковальських молотів, корпуси парових турбін, супорти, різцетримачі і планшайби металорізальних верстатів. Марки чавунів з кулястим графітом позначають літерами **ВЧ** і числами, перше з яких відповідає межі міцності на розрив  $\sigma_{\epsilon}$  в  $10^{-1}$  МПа, а друге — відносному видовженню —  $\delta$  у %. (ВЧ 35-22, ВЧ 60-3, ВЧ 100-2).

## Тема 2.5 *Основи термічної і хіміко-термічної обробки металів.*

### Теорія термічної обробки сталі

**Термічною обробкою сталі** називають процес її нагрівання до визначеної температури, витримування при цій температурі і подальше охолодження із заданою швидкістю з метою зміни структури та властивостей у бажаному напрямі.

Термічно обробляють заготовки, отримані відливанням, куванням, прокатуванням, волочінням або пресуванням, зварні вироби, деталі машин та інструменти різного призначення. Термічну обробку застосовують або як проміжну операцію для поліпшення технологічних властивостей (оброблюваності тиском чи різанням), або як прикінцеву технологічну операцію для досягнення певних експлуатаційних властивостей матеріалу.

На результат термообробки впливають швидкість (час) нагрівання, температура нагрівання, тривалість (час) витримування при цій температурі та швидкість (час) охолодження, тобто основними факторами є час і температура.

### **Перетворення, що відбуваються у сталях під час нагрівання**

Якщо нагрівати дуже повільно, то всі фазові перетворення у вуглецевих сталях описує ліва частина діаграми залізо-вуглець. Критичні температури цих перетворень позначають буквою *A* з певними індексами. Зокрема, температуру лінії **PSK** позначають через  $A_1$ , температури лінії **GS** — через  $A_3$ , а температури лінії **SE** — через  $A_{cm}$ . До цих позначень додають індекс *c* в разі охолодження або індекс *r* — при нагріванні, наприклад:  $A_{c1}$ ,  $A_{cm}$ ,  $A_{r3}$ . Відхилення від рівноважних умов спричинює тепловий гістерезис, тобто розбіжність критичних температур нагрівання та охолодження.

Структура доевтектоїдної сталі при невисокій температурі — ферит і перліт. При температурі  $A_{c1}$  (лінія **PSK**) перліт перетворюється в аустеніт. Вище від цієї лінії буде двофазова структура: ферит + аустеніт. В інтервалі температур  $A_{c1} \dots A_{c3}$  ферит поступово розчиняється у аустеніті і при  $A_{c3}$  зовсім зникає.

В евтектоїдній сталі структура перліту зберігається до температури  $A_{c1}$ , при якій перліт повністю перетворюється в аустеніт.

У заевтектоїдній сталі з перлітно-цементитною структурою при температурі  $A_{c1}$  перліт перетворюється в аустеніт, а в проміжку температур  $A_{c1} \dots A_{cm}$  вторинний цементит поступово розчиняється в аустеніті.

Отже, в результаті описаних перетворень у сталях формується однофазова аустенітна структура, яка займає частину діаграми вище лінії **GSE** аж до лінії солідус.

У виробничих нерівноважних умовах нагрівання температура перетворення перліту в аустеніт дещо перевищує  $A_{c1}$  залежно від швидкості охолодження.



### **Продукти розпаду аустеніту**

Під час повільного охолодження сталі по лінії PSK відбувається розпад аустеніту з утворенням фериту та цементиту в результаті дифузії вуглецю та заліза.

Утворення перліту завершується при температурі  $650^{\circ}$ . Пластинки перліту мають розмір  $0,6 \dots 1,0$  мкм. Твердість перліту  $180 \dots 250$  HB.

При розпаді аустеніту в інтервалі температур  $650 \dots 600^{\circ}$  утворюється більш дрібнозерниста феритно-цементитна суміш з розміром зерен  $0,25 \dots 0,3$  мкм. Такий дисперсний перліт називають **сорбітом**. Сорбіт має твердість  $250 \dots 350$  HB.

При подальшому збільшенні швидкості охолодження в інтервалі температур  $600 \dots 550^{\circ}$  утворюється феритно-цементитна суміш з розміром зерен  $0,1 \dots 0,15$  мкм. Таку структуру називають **троостит**. Твердість  $350 \dots 450$  HB.

Перліт, сорбіт та троостит є двофазовими пластинчастими (іноді зернистими) структурами з різним ступенем дисперсності. Зі збільшенням дисперсності збільшується твердість сталі.

Зі зниженням температури розпад аустеніту сповільнюється, а при температурах нижче  $500^{\circ}$  припиняється зовсім.

При різкому переохолодженні сталі відбувається тільки поліморфне перетворення  $\gamma$  – заліза в  $\alpha$  – залізо без виділення вуглецю з твердого розчину. Такий пересичений твердий розчин вуглецю в  $\alpha$  – залізі називають **мартенситом**. Це основна структура загартованої сталі голчастої форми розміром  $0,1 \dots 0,001$  мкм з твердістю до  $60 \dots 65$  HRC.

Температура початку та кінця мартенситного перетворення залежить від концентрації вуглецю і легувальних елементів у сталі. Що більша концентрація вуглецю, то нижчий інтервал мартенситного перетворення. В сталях з вмістом вуглецю понад 0,5 % мартенситне перетворення зсувається в зону мінусових температур. Всі легувальні елементи, крім кобальту і алюмінію знижують інтервал температур мартенситного перетворення.

Атоми вуглецю сильно деформують решітку  $\alpha$  – заліза, збільшуючи міжатомні відстані. Це веде до збільшення об'єму та виникнення внутрішніх напружень.

Так як зі зниженням температури розпад аустеніту сповільнюється, то при швидкому охолодженні сталі в структурі залишається певна кількість не перетвореного аустеніту, який називають **залишковим аустенітом**. Залишковий аустеніт, кількість якого зростає зі збільшенням вмісту вуглецю у сталі, спричиняє неоднорідність властивостей загартованої сталі.

## **Термічна обробка сталей**

### **Відпал сталей**

**Відпалом** називається процес термічної обробки – нагрівання сплаву до певної температури, витримка і наступне, як правило, повільне охолодження (в печі) з метою одержання більш рівноважної структури.

**Відпал першого роду.** Це відпал, при якому, як правило, не відбувається фазових перетворень (перекристалізації), а якщо вони мають місце, то не впливають на кінцеві результати, передбачені його цільовим призначенням.

Розрізняють такі різновиди відпалу першого роду: дифузійний і рекристалізаційний.

**Дифузійний відпал.** Це відпал злиwkів з вуглецевих та легованих сталей при температурі 1100-1300 °С з витримкою 20...50 годин, а злиwkів алюмінієвих сплавів – при 420...520 °С з витримкою 20...30 годин з метою вирівнювання хімічного складу.

**Рекристалізаційний відпал.** Це відпал заготовок з наклепаної сталі при температурі, що перевищує температуру початку рекристалізації, з метою усунення наклепу і одержання певної величини зерна. Його проводять після холодного деформування (прокатування, волочіння та ін.). В процесі цього відпалу зменшується міцність і твердість та відновлюється пластичність деформованого металу. Для сталей з вмістом вуглецю 0,08...0,20% температура відпалу становить 680...700 °С, для високовуглецевих легованих сталей - 700 °С з тривалістю витримки 0,5...1,5 години.

**Відпал другого роду.** Це відпал, при якому фазові перетворення (перекристалізація) визначають його цільове призначення. Розрізняють такі різновиди відпалу другого роду: повний, неповний, ізотермічний, нормалізаційний (нормалізація).

**Повний відпал.** Цьому виду відпалу піддають доевтектоїдну сталь з метою досягнення дрібнозернистості, зниження твердості і підвищення пластичності, зняття внутрішніх напружень. Сталь нагрівають до температури на 20-30° вище точки  $A_{c3}$ . При нагріванні крупна початкова

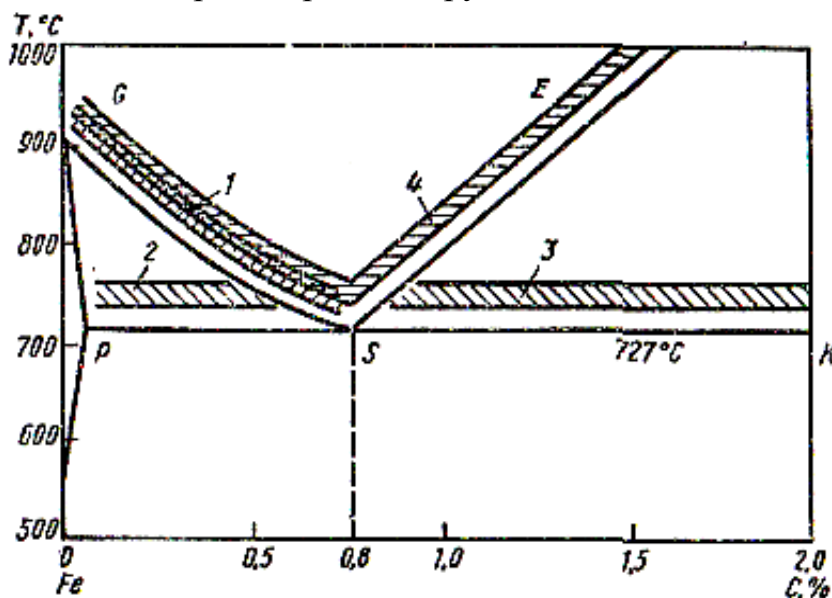


Рис. 2.4. Температурні режими відпалів другого роду:  
1 – повний відпал;  
2, 3 – неповний відпал;  
4 – нормалізація.

ферритно-перлітна структура перетворюється в дрібну структуру аустеніту. При цьому відпалі відбувається повна фазова перекристалізація сталі. Забезпечується висока в'язкість і пластичність, а також можливість досягнення високих властивостей після остаточної термічної обробки. Повному відпалу зазвичай піддають сортовий прокат, поковки та фасонні відливки.

**Неповний відпал.** Цьому відпалу піддають заевтектоїдну і евтектоїдну сталь з метою перетворення пластинчатого перліту в зернистий. Для одержання зернистого перліту заевтектоїдну сталь нагрівають до температури трохи вище точки  $A_{c1}$  (до 740-780 °С). При нагріванні відбувається перетворення перліту в аустеніт без розпаду цементиту. Після охолодження сталь має зернисту феритно-цементитну структуру.

**Нормалізаційний відпал (нормалізація).** Нормалізацією називають процес термічної обробки – нагрів до температури вище точки  $A_{c3}$  для евтектоїдної або  $A_{cm}$  на 30...50 °С для заевтектоїдної сталі з наступною витримкою та охолодженням на повітрі. Мета нормалізації – виправлення структури сталі, подрібнення зерна, пом'якшення сталі перед обробкою різанням, загальне покращення структури перед гартуванням, вилучення сітки вторинного цементиту в заевтектоїдній сталі. Нормалізація, в порівнянні з відпалом, більш економічна операція, тому що не вимагає охолодження разом з піччю, але твердість після нормалізації вища ніж після відпалу.

### **Гартування сталі**

**Гартуванням** називають процес термічної обробки, що складається з нагріву сталі до певної температури, витримки і подальшого швидкого охолодження з метою отримання нерівноважної структури. Внаслідок гартування підвищується міцність і твердість та знижується пластичність сталі. Основні параметри при гартуванні – температура нагріву і швидкість охолодження.

**Температура гартування.** Для вуглецевих сталей температуру гартування можна визначити по лівій нижній частині діаграми стану залізо-цементит.

При гартуванні доевтектоїдні сталі нагрівають до температури на 30-50° вище точки  $A_{c3}$ . При гартуванні заевтектоїдні сталі нагрівають до температури на 30-50° вище точки  $A_{c1}$ . Сталі, леговані кремнієм, вольфрамом, молібденом і титаном, гартують при більш високих температурах, щоб розчинились в аустеніті важкорозчинні карбіди. Швидкорізальні сталі гартують при 1200...1300 °С, а штампові, наприклад 3Х2В8Ф, при 1050...1100 °С.

**Час нагрівання** вибирається в залежності від розмірів та конфігурації деталей. Час витримки при температурі гартування вибирають таким, щоб повністю завершилися фазові перетворення. Практично час нагріву в електричних печах прийнято 1,5-2 хвилини на 1 мм перерізу.

**Охолодження при гартуванні** має вирішальний вплив на результат гартування. Найбільш розповсюджені середовища для гартування – вода, водяні розчини солей ( $KNO_2 + NaNO_3$ ) і лугів ( $NaOH + KOH$ ), масло, повітря, розплавлені солі.

Вода охолоджує значно швидше, ніж масло: в 6 разів швидше при 550-650 °С і в 28 разів швидше при 200 °С. Тому воду використовують для охолодження сталей з великою критичною швидкістю гартування (вуглецеві сталі), а в маслі охолоджують сталі з малою критичною швидкістю гартування (леговані сталі). Основний недолік води, як охолоджувача – висока швидкість охолодження при занижених температурах в області утворення мартенситу, що призводить до виникнення великих структурних напружень і створює небезпеку

виникнення тріщин. Додавання до води солей та лугів підвищує її гартувальну здатність.

Масло охолоджує значно повільніше, ніж вода. Але перевага масла як охолоджувача полягає в тому, що воно володіє невеликою швидкістю охолодження в області температур мартенситного перетворення, тому при охолодженні в маслі небезпека утворення тріщин значно зменшується. Недолік масла – його вогнебезпечність, пригорання до поверхні деталі.

**Прогартуваність сталі.** Під прогартуваністю розуміють здатність сталі гартуватися на певну глибину. Глибину загартованої зони можна визначити на зламі зразка. Загартована зона має блискучу дрібнозернисту поверхню. Легувальні елементи, крім кобальту, збільшують прогартуваність сталі. Прогартуваність не слід плутати з **загартовуваністю**, яка характеризується максимальним значенням твердості, яку набула сталь внаслідок гартування. Вона залежить від вмісту вуглецю. Якщо вміст вуглецю не перевищує 0,2%, то такі сталі практично не гартуються.

**Гартування в одному охолоднику.** Деталь нагрівають до температури гартування і охолоджують в одному охолоднику (вода, масло). Для зниження короблення довгих циліндричних та тонких плоских деталей використовують спеціальні гартувальні машини і преси. Недолік гартування у воді – виникнення значних внутрішніх напружень, які можуть викликати тріщини.

**Гартування в двох охолодниках** – спочатку швидко охолоджують у сильному охолоднику (вода, водяні розчини солей або лугів), а пройшовши температурний інтервал 650...400 °С, де стійкість аустеніту мінімальна, охолоджують у слабшому охолоднику, наприклад в маслі. При цьому складно визначити момент переносу заготовки з одного охолодника в інший.

### ***Поверхнєве гартування сталі***

**Поверхнєве гартування** відбувається внаслідок швидкого нагрівання поверхневого шару сталі до температури вище критичної і наступне охолодження з метою одержання в поверхневому шарі структури мартенситу.

Поверхнєве гартування використовують для підвищення зносостійкості деталей при збереженні високого опору динамічним навантаженням, зростанню міцності втомлювання. Поверхнєве гартування відбувається дуже швидко і тому на поверхні деталі не утворюється окалини.

Методи нагрівання можуть бути різними – струмами високої частоти (СВЧ), полум'ям газової горілки, в електролітах. Нагрів СВЧ є найбільш продуктивним. При нагріванні СВЧ (2...50 сек.) гартують деталі різноманітної конфігурації, повністю автоматизуючи процес гартування. Після гартування деталі піддають низькому відпуску.

Перспективним є нагрівання заготовки лазерним променем протягом  $10^3 \dots 10^7$  сек. Товщина зміцненого шару не перевищує 0,1...0,15 мм.

### ***Відпуск сталі***

**Відпуском** називають процес нагрівання загартованої сталі до температури не вище точки  $A_{c1}$  (727 °С), витримування при цій температурі і подальшого охолодження. Відпуск виконують для зниження або повного усунення

внутрішніх напружень, зменшення крихкості загартованої сталі та отримання необхідної структури і механічних властивостей.

**Низькотемпературний відпуск** проводять з нагріванням сталі до температури 150-250° С протягом 1...3 годин. Цей відпуск знижує внутрішні напруження в сталі при збереженні високої твердості (58-63 HRC). Він використовується переважно для інструментів з вуглецевих і низьколегованих сталей, а також для деталей, які підлягають поверхневому гартуванню, цементації і нітроцементації, до яких пред'являють високі вимоги по твердості і зностостійкості. При охолодженні одержують структуру мартенситу відпуску.

**Середньотемпературний відпуск** здійснюють при температурах 350-500 °С. Метою цього відпуску є покращення структури трооститу. Твердість загартованої сталі при цьому знижується до 40-50 HRC, межа пружності досягає максимальної величини. Середньому відпуску підлягають ресори, пружини і ударні інструменти.

**Високотемпературний відпуск** здійснюють при температурах 500-650 °С. Сталь при цьому набуває структури сорбіту (сорбіт відпуску). Твердість загартованої сталі знижується до 250-350 HB, міцність зменшується в 1,5-2 рази, пластичність і в'язкість збільшуються в декілька разів, внутрішні напруження повністю знімаються. Гартування з високим відпуском називають **поліпшенням**. Поліпшена сталь в порівнянні з відпаленою або нормалізованою має більш високі показники міцності, пластичності і в'язкості. Поліпшенню піддають вироби з конструкційних сталей марок 40, 45, 40X, 40XHM, 40XMФ тощо (напівосі, колінчасті вали, шатуни, поворотні кулаки, важилі, балки передніх осей вантажних автомобілів, а також болти, гайки, гвинти тощо), які сприймають значні ударні та знакозмінні навантаження.

## Хіміко-термічна обробка сталі

**Хіміко-термічною обробкою** (ХТО) називають процес, який представляє собою поєднання термічного і хімічного впливу з метою зміни хімічного складу, мікроструктури і властивостей поверхневого шару заготовки.

Для зміни хімічного складу заготовку нагрівають у середовищі, збагаченому **дифузантом** (елементом, який насичує), витримують протягом певного часу при заданій температурі, а потім охолоджують. Під час цього відбувається дифузійне збагачення поверхневого шару заготовок неметалами або металами з метою поверхневого зміцнення. В результаті утворюється **дифузійний шар**, що відрізняється від основного металу хімічним складом, структурою та властивостями. Товщина дифузійного шару залежить від температури та тривалості процесу, виду утворюваного твердого розчину і концентрації дифузанта на поверхні заготовки. З підвищенням температури та часу витримки товщина дифузійного шару зростає.

ХТО змінює хімічний склад і структуру поверхневого шару, тоді як поверхневе гартування — лише структуру. Тому різниця у властивостях поверхні та осердя в деталях після хіміко-термічної обробки більша, ніж у поверхнево загартованих деталях. Результати ХТО не залежать від форми деталей. Проте поверхневе гартування продуктивніше.

До найпоширеніших способів ХТО належать цементація, азотування, ціанування, нітроцементація, алітування, силіціювання та інші.

### ***Цементація сталі***

***Цементацією*** називають процес дифузійного насичення вуглецем поверхневого шару сталевих заготовок. Мета цементації в комплексі з подальшою термообробкою — надати поверхні деталі високої твердості та зносостійкості, зберігши в'язке осердя. Як правило, цементують сталі з низькою масовою часткою вуглецю в межах від 0,1 до 0,25 % . Перед цементацією заготовки попередньо обробляють різанням, залишивши припуск (0,05...0,1 мм) на шліфування.

Після ХТО концентрація вуглецю найвища на поверхні заготовки (0,8...1,0 %) і поступово зменшується в глибину. Значення ефективної глибини лежить в інтервалі від 0,5 до 2 мм.

### ***Дифузійна металізація***

***Дифузійна металізація*** — дифузійне насичення поверхневих шарів переважно сталевих виробів різними металами (алюмінієм, хромом) і металоїдами (кремній, бор) при високій температурі. Дифузійна металізація зумовлює підвищення корозійної тривкості, жаро- і зносостійкості.

Дифузійне насичення виробів алюмінієм з метою підвищення жаростійкості називають ***алітуванням***. Алітують сталі з 0,1...0,2 % С. За наявності кисню на поверхні алітованого виробу формується щільна плівка оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ , яка захищає виріб від взаємодії з середовищем до температури 900 °С.

***Хромовання*** — дифузійне насичення хромом поверхонь переважно сталевих виробів з метою підвищення до 800 °С жаростійкості, корозійної тривкості (у воді, морській воді та азотній кислоті) та поверхневої твердості. Глибина дифузійного шару 0,2...0,25 мм. Підвищенню поверхневої твердості до 1200...1300 НV сприяє вуглець у сталі в кількості понад 0,3 %, який утворює карбіди заліза і хрому.

Хромують вироби, що працюють в агресивних середовищах в умовах спрацювання.

***Силіціювання*** – насичення сталі кремнієм. При цьому підвищується корозійна стійкість виробів, однак цей вид хіміко-термічної обробки не отримав широкого використання в техніці.

## ***Тема 2.6 Леговані сталі.***

***Леговані сталі*** — це сплави на основі заліза та вуглецю, у складі яких є легувальні елементи.

***Легувальними*** називаються хімічні елементи, які спеціально вводять у сталь, щоб змінити її структуру та властивості. Найчастіше використовують такі легувальні елементи, як Cr, Ni, Mo, W, Co, Cu, Ti, Zr, Nb, Al, а також Mn і Si, якщо масові частки двох останніх перевищують відповідно 0,8 і 0,5 %.

Легувальні елементи дорожчі від заліза, тому вартість легованих сталей вища, нерідко значно вища за вартість вуглецевих сталей.

Поєднуючи легування з термічною обробкою, можна отримати бажану структуру, отже і механічні, технологічні, фізичні або хімічні властивості. Тому використання таких сталей є економічно вигідним, оскільки дає змогу зменшити масу механізмів і машин та збільшити їх надійність і довговічність.

### ***Вплив легувальних елементів на властивості сталей***

Легувальні елементи утворюють із залізом тверді розчини заміщення, впливаючи на критичні температури, при яких відбуваються поліморфні перетворення.

Нікель, марганець та кобальт розширюють зону існування  $\gamma$ -заліза. Починаючи з певної концентрації цих елементів, у сталях не відбуваються фазові перетворення під час нагрівання та охолодження. Такі сталі називаються ***аустенітними***.

Інші легувальні елементи розширюють інтервал температур, при яких існує  $\alpha$ -залізо. Починаючи з певної концентрації, в сталях існує тільки  $\alpha$ -твердий розчин. Такі сталі називаються ***феритними***.

Хром, нікель, молібден, марганець підвищують прогартовуваність сталі, особливо коли сталь легують кількома елементами.

Легувальні елементи, крім алюмінію, кобальту і кремнію, знижують температуру початку мартенситного перетворення. Так 5% марганцю знижує цю температуру до  $0^{\circ}\text{C}$ , тому сталь має аустенітну структуру після повного охолодження.

Легувальні елементи, крім нікелю, кобальту, кремнію, алюмінію та міді, утворюють в сталі карбіди і збільшують твердість сталі.

Молібден, титан, ніобій, вольфрам та алюміній сприяють утворенню дрібнозернистої структури.

Більшість легувальних елементів підвищують міцність і корозійну стійкість сталі.

Леговані сталі мають нижчу теплопровідність, особливо сталі з високим вмістом вольфраму. Тому під час термічної обробки їх потрібно повільніше нагрівати, давати більшу витримку і значно повільніше охолоджувати. Режими термообробки для кожної сталі підбирають експериментальним шляхом.

### ***Класифікація та маркування легованих сталей***

За сумарною кількістю легувальних елементів розрізняють ***низьколеговані*** (до 2,5% легувальних елементів), ***середньолеговані*** (2,5...10%) та ***високолеговані*** сталі (понад 10%).

За призначенням розрізняють конструкційні, інструментальні та леговані сталі з особливими властивостями.

Для позначення марок легованих сталей стандартами розроблена система, яка передбачає цифрово-літерний запис марки. Кожний легуючий елемент позначається літерою: А – азот; Б – ніобій; В – вольфрам; Г – марганець; Д – мідь; К – кобальт; М – молібден; Н – нікель; П – фосфор; Р – бор; С – кремній; Т – титан; Ф – ванадій; Х – хром; Ц – цирконій; Ю – алюміній. В марці записують

числами на початку вміст вуглецю, великими літерами і числами за ними — вміст легуючих елементів. Вміст вуглецю в конструкційних сталях записують в сотих частках відсотка. В інструментальних сталях вміст вуглецю записують в десятих частках відсотка. Якщо за літерою відсутня цифра, то вміст цього елемента не більше 1%. Якщо вміст в сталі сірки та фосфору менший 0,03%, наприкінці марки записують літеру А.

### ***Конструкційні леговані сталі***

***Сталі для цементації*** містять 0,1...0,3% вуглецю і легуючі елементи, що підвищують межу плинності та подрібнюють зерно. Їх використовують у стані найбільшого зміцнення, тобто після гартування та низького відпуску. Для отримання високої зносостійкості в деталях, що труться, наприклад, зубчасті колеса, кулачки тощо, поверхневий шар робочих поверхонь цементують. Після гартування та низького відпуску робоча поверхня має твердість 58...62 HRC, а серцевина — 30...42 HRC. ***Хромисті сталі*** 15X, 20X, а також 15XФ і 20XP, додатково леговані ванадієм і бором, утворюють групу дешевих сталей нормальної міцності, їх використовують для виготовлення невеликих деталей (діаметром не більше 25 мм), що працюють при середніх навантаженнях.

***Хромонікелеві сталі*** 12ХН3А, 20ХН3А, 20Х2Н4А використовують для виготовлення великих відповідальних деталей, сталь 18Х2Н4МА — для деталей, що несуть великі статичні та ударні навантаження. Високий вміст нікелю робить ці сталі дорогими і ускладнює термічну обробку. Їх замінюють оптимально леговані хромомарганцеві сталі з титаном (18ХГТ, 30ХГТ) і молібденом (25ХГМ), які мають дещо меншу в'язкість, але успішно працюють у зубчастих колесах автомобілів масового виробництва.

***Поліпшені конструкційні сталі*** містять 0,3...0,5% вуглецю. Високі механічні властивості вони отримують після термічного зміцнення (гартування з високим відпуском) до структури сорбіту, їх використовують для багатьох деталей, що працюють не тільки при високих статичних, а й при циклічних навантаженнях та при роботі з ударами (вали, штоки, шатуни і т.п.). Високі механічні властивості сталі при поліпшенні можливі лише за умови високої прогартуваності та дрібного зерна. Для цього їх легують хромом, нікелем, молібденом, ванадієм і марганцем. Сталі 40X, 45X, 50X є відносно дешевим конструкційним матеріалом. Збільшення вмісту вуглецю зменшує в'язкість і обмежує їх застосування при динамічних навантаженнях.

Дешевими є також ***хромомарганцевокремністі сталі*** 30ХГСА, 35ХГСА. Вони мають високі не лише механічні, а й технологічні властивості: добре зварюються всіма способами, штамнуються, прогартовуються (при діаметрі до 30...40 мм), задовільно обробляються різанням. Із них виготовляють вали, зварні конструкції, деталі рульового керування.

***Хромонікелеві сталі*** 40ХН, 45ХН мають комплекс високих механічних властивостей у деталях діаметром 40...50 мм, а при введенні молібдену або вольфраму (40ХНМА, 38ХНЗМА, а також 18Х2Н4ВА) — до 100 мм, бо ці елементи зменшують крихкість після відпуску з малою швидкістю охолодження. З них виготовляють вали і ротори турбін, вали редукторів, що несуть значне навантаження, тощо. Недоліком цих сталей є висока вартість,



низька оброблюваність різанням і схильність до утворення флокенів (внутрішніх тріщин).

**Ресорно-пружинні сталі.** Для забезпечення високої межі пружності, витривалості та міцності в сталь, крім 0,5...0,7% вуглецю, вводять марганець, кремній, ванадій та хром. Деталі піддають гартуванню та середньому відпуску. Зі сталей 55С2, 60С2, 70С3А виготовляють пружини та ресори товщиною до 18 мм.

Для ресор легкових автомобілів, пружин клапанів та інших відповідальних пружин, які працюють при температурах до 300°C, використовують сталі 50ХГ, 55ХГР, 50ХФА, 50ХГФА. Для великих і особливо відповідальних пружин та ресор використовують сталі 60С2ХА, 70С2ХА, 60С2ХФА, 60С2Н2А.

Для пружин, що працюють при високих температурах в корозійному середовищі застосовують сталі 30Х13, 40КХНМ, 44НХТЮ, 68НХВКТЮ, 12Х18Н9Т та ін.

Для виготовлення деталей підшипників кочення, що працюють в умовах високих контактних навантажень, використовують **підшипникові сталі**. Їх маркують літерами "ШХ" та числом, що показує вміст хрому в десятих частках відсотка, а також літерами наявних крім хрому легуючих елементів. У цих сталях вміст вуглецю сягає 0,95...1,05%. Сталі ШХ6, ШХ9, ШХ15 призначена для виготовлення деталей підшипників з розміром перерізу 10...20 мм, а сталі ШХ15СГ, ШХ20СГ — для деталей з більшим перерізом, бо вони прогартовуються на глибину понад 80 мм.

### ***Сталі та сплави з особливими властивостями.***

До цієї групи належать сплави, у яких переважають такі властивості, як корозійна стійкість, жароміцність, жаростійкість, зносостійкість, особливі електричні властивості тощо.

Для підвищення жаростійкості в сталь вводять хром, алюміній або кремній. При наявності 5...8% хрому жаростійкість зростає до 700...750°C, при вмісті хрому 15...17% — до 950...1000°C, а при збільшенні його вмісту до 25% сталь не окислюється навіть при 1100°C. Додавши 5% алюмінію, збільшують температуру до 1300°C.

**Жаростійкі сталі** виготовляють у вигляді листів, прутків, труб і литих деталей. При виборі сталі основним параметром є температура середовища, в якому працює деталь. Наприклад, сталь 12Х18Н9 жаростійка до 850°C, 15Х25Т — до 1050°C, а ливарна 15Х25Н9С2Л — до 1150°C.

**Нержавіючі сталі** за хімічним складом поділяють на хромисті з феритною або мартенситною структурою та хромонікелеві — аустенітні. При введенні в сталь більше 12% хрому її електрохімічний потенціал стає позитивним і вона не взаємодіє з атмосферою, прісною водою, з рядом кислот, лугів і солей. Сталі 12Х13 і 20Х13 застосовують для виготовлення деталей з підвищеною пластичністю, на які діють ударні навантаження (клапани гідропресів, предмети домашнього вжитку), їх гартують в маслі з температурою 1000...1100°C і відпускають при 700...775°C з метою укрупнення карбідів. Сталі 30Х13 і 40Х13 використовують для голок карбюраторів, пружин, хірургічного інструменту.

Після гартування при 1000...1050°C в маслі і низького відпускання сталь має мартенситну структуру (твердість HRC 50...60) і достатню корозійну стійкість. Сталь 12X17 використовують у харчовій промисловості і для виготовлення посуду; сталі 15X25Т та 15X28 — для зварних деталей.

Аустенітні нержавіючі сталі, леговані хромом, нікелем або марганцем, мають достатню міцність, пластичність і добру корозієстійкість в окиснювальних середовищах. Вони немагнітні. Сталі 12X18Н10Т та 12X18Н12Т є стійкими при контакті з азотною кислотою. Сталі 04X18Н10, 03X18Н12, 10X14Г14Н4Т застосовують для виготовлення тари під рідкі гази, для оболонок паливних баків ракет та інших виробів.

**Жароміцні сталі** здатні витримувати механічні навантаження при високих температурах. Такі сталі потрібні для виготовлення деталей котлів, газових турбін, реактивних двигунів тощо.

Для роботи при температурах, нижчих за 700...950°C, основою сплаву вибирають залізо або кобальт, а при дуже високих (до 1500°C) молібден та інші тугоплавкі метали. Сталі 16М, 12X1МФ мають структуру перліту, з них виготовляють труби паронагрівачів, арматуру парових котлів тощо. Зі сталей 15X11МФ та 40X9С2 виготовляють лопатки турбін, що тривало працюють при 540°C, клапани автомобільних та авіаційних двигунів.

До сталей з особливими електричними властивостями належать магнітні сталі та сталі з високим електричним опором. Бувають магнітотверді, магнітом'які та парамагнітні сталі.

**Магнітотверді** сталі і сплави використовують для виготовлення постійних магнітів. Від них вимагають високих значень коерцитивної сили та залишкової індукції, а також їх стабільності у часі. Для невеликих магнітів використовують вуглецеві сталі У10, У12, для магнітів більших розмірів — сталі ЕХЗ, в яких літера "Е" показує, що сталь магнітотверда, літери й числа — назву і вміст легуючого елемента. Вміст вуглецю в них становить 0,9... 1,0%.

**Магнітом'які** матеріали, навпаки, повинні мати низьку коерцитивну силу, високу магнітну проникність, малі втрати на перемагнічування. З них виготовляють якорі та полюси електротехнічних машин, магнітопроводи силових трансформаторів, статори і ротори електродвигунів тощо.

### **Леговані чавуни**

**Жароміцні** чавуни легують нікелем, хромом і марганцем, вони мають аустенітну структуру, вкраплення карбідів і кулястого графіту. Ці чавуни володіють високою циклічною в'язкістю, добре гасять вібрації, стійкі в лугах, слабких розчинах кислот, в середовищі перегрітої водяної пари та у морській воді. Крім того, вони немагнітні й задовільно обробляються різанням. З таких чавунів виготовляють деталі, що експлуатуються при високих навантаженнях і підвищеній (до 600°C) температурі, наприклад, вставки гільз циліндрів, головки поршнів, випускні колектори двигунів, вентилі, корпуси турбонагнітачів, газових турбін, насосів, а також немагнітні вироби. У марках жароміцних чавунів записують літеру "Ч", літери "Х", "Н", "Г" і числа після них, що показують вміст хрому, нікелю та марганцю у відсотках, а також літеру "Ш", якщо графіт має кулясту форму.

**Жаростійкі** чавуни стійкі до окиснення на повітрі та інших газових середовищах при підвищеній температурі. Це досягається легуванням графітізованих чавунів з пластинчастим або кулястим графітом алюмінієм, хромом і кремнієм, а також частково нікелем і марганцем.

При температурі середовища до 650°C чавун легують хромом (0,5...2,7%), при температурах 800...900°C у чавун вводять 5...6% кремнію і сприяють утворенню феритно-перлітної структури з пластинчастим або кулястим графітом. При експлуатації деталей у середовищі з температурою вище 1000°C чавун легують хромом (23...32%) та алюмінієм (19...25%). У марках цих чавунів записують літери "ЖЧ", а також "С", "Х" або "Ю" з числами через дефіс, які показують вміст кремнію, хрому і алюмінію у відсотках, наприклад, ЖЧХ-0,8, ЖЧХ-30, а також літеру "Ш" в кінці марки для кулястої форми графіту.

**Корозійної стійкості сірий чавун** набуває при легуванні хромом, кремнієм, нікелем, алюмінієм та іншими елементами, які сприяють утворенню на поверхні деталі оксидної плівки, що не взаємодіє з середовищем. Деталі з таких чавунів добре працюють в середовищі кислот, лугів, морської води і т.п. Хромонікелеві чавуни стійкі в розплавлених лугах і їх водних розчинах. З них виготовляють, наприклад, котли для розплавлення каустичної соди. Корозійна стійкість зростає при зменшенні розмірів графітних вкраплень. У марках цих чавунів записують літери СЧЩ ("Щ" — стійкість у середовищі лугів) і через дефіс номер сплаву, наприклад, СЧЩ-І, СЧЩ-2.

## Тема 2.7 *Інструментальні матеріали.*

### *Інструментальні вуглецеві сталі*

Вуглецеві інструментальні сталі розглянуті в темі 2.3.

### *Леговані інструментальні сталі*

Це вуглецеві інструментальні сталі, леговані хромом (Х), вольфрамом (В), ванадієм (Ф), кремнієм (С), нікелем (Н), марганцем (Г), молібденом (М) та іншими легуючими елементами. Цифри попереду марки сталі вказують на вміст вуглецю в десятих долях % (інколи вміст вуглецю вказується в сотих долях %), цифри після відповідних літер вказують на вміст легуючих елементів у %. При відсутності цифри вміст вуглецю, або легуючих елементів становить близько 1 %. Так в сталі 9ХС близько 0,9 % вуглецю та близько 1 % хрому і 1 % кремнію. Термообробка включає гартування при температурі 810...870°C та низькотемпературний відпуск. Структура після термообробки – легований мартенсит, карбіди та залишковий аустеніт. Після термічної обробки леговані інструментальні сталі мають твердість 62...65 HRC і теплостійкість 250...350 °C.

Сталі 9ХС та 95ХГСВФ використовують для виготовлення мітчиків, плашок, дрібних сверدل, зенкерів, розверток, дрібних фрез. Сталь ХВ5 після термообробки має твердість 70 HRC, але її теплостійкість становить 150 °C. Тому інструменти з цієї сталі рекомендуються для обробки високоміцних матеріалів на низьких швидкостях різання. Сталь ХВГ має високу здатність до

гартування і використовується для виготовлення протяжок, довгих мітчиків та довгих розверток. Сталі Х12, Х12М, Х6ВФ мають високу зносостійкість і використовуються для виготовлення дрібних фрез, інструментів для обробки отворів, мітчиків і плашок. Для виготовлення мітчиків і плашок використовуються також сталі 11Х, 11ХФ. Сталі Х, В2Ф, 13Х використовуються для виготовлення слюсарних інструментів.

### **Швидкорізальні інструментальні сталі**

Основним легуючим елементом цих сталей є вольфрам (6...18 %). Також ці сталі мають 0,7...1,55% вуглецю та 3...4,6% хрому. Додатково швидкорізальні сталі легують молібденом (М), кобальтом (К), ванадієм (Ф), титаном (Т), цирконієм (Ц). Швидкорізальні сталі позначаються літерою Р (рапід – швидкорізальний). Цифра попереду літери Р вказує на вміст вуглецю в десятих долях %, а цифра після літери Р вказує на вміст вольфраму у %. Вміст інших легуючих елементів вказується також у %, а вміст азоту (А) вказується в сотих долях %. Хром є обов'язковим легуючим елементом швидкорізальної сталі, але його вміст в марці не вказується. Так сталь Р6М5 містить близько 1 % вуглецю, 6 % вольфраму, 5 % молібдену та від 3 % до 4,6 % хрому. Точний хімічний склад та властивості швидкорізальних сталей визначається з довідників.

Термічна обробка швидкорізальних сталей залежить від марки сталі і складається з відпалу з повільним нагріванням до 800...860 °С та гартування з повільним нагріванням до 840...860 °С і швидким нагріванням до 1200...1300 °С. Нагрівання можна проводити в розплавлених соляних ваннах. Охолодження проводиться в мінеральному маслі. Структура сталі складається із високолегованого мартенситу, первинних карбідів, що не перейшли в твердий розчин під час нагрівання, та залишкового аустеніту.

Для поліпшення структури сталі проводять 2...3-х разовий відпуск при 550...560 °С, в результаті чого залишковий аустеніт переходить в мартенсит. Твердість сталі зростає. З метою повного розпаду аустенітної структури та утворення мартенситної структури сталі можна проводити обробку швидкорізальних інструментів холодом при -75...-80 °С. Твердість швидкорізальних сталей після термообробки становить 63...67 HRC, а теплостійкість підвищується до 615...650 °С.

Із сталей Р9, Р12, Р18, Р6М3, Р6М5, Р9М тощо виготовляються інструменти для обробки кольорових сплавів, чавунів, конструкційних вуглецевих та легованих сталей. Для обробки корозійностійких, жаростійких, високоміцних сталей і сплавів застосовуються інструменти, виготовлені із сталей Р9К5, Р9К10, Р9Ф5, Р12Ф3, Р6М5К5, Р9М4К8, Р6М5Ф2К8, Р12Ф4К5, Р12Ф3К10М3.

В останні десятиліття все частіше отримують заготовки для інструментів із швидкорізальних сталей методом порошкової металургії. Дуже дрібні порошки компонентів вибраної марки сталі старанно перемішують, пресують і спікають при високій температурі. Сталі, виготовлені методом порошкової металургії, мають додаткове позначення МП, наприклад, Р6М5К5МП.

Для виготовлення інструментів, які будуть працювати в тяжких умовах використовують також карбідосталі, до складу яких вводиться порошки тугоплавких карбідів (переважно  $TiC$ ). В карбідосталях (Р6М5-КТ20, Р6М5К5-

KT20) поєднується висока твердість (70...72 HRC) з високою міцністю і в'язкістю легованих сталей.

### ***Тверді металокерамічні сплави***

Тверді металокерамічні сплави отримують шляхом пресування і спікання у вакуумі або в атмосфері водню карбиду вольфраму, карбиду титану, карбиду танталу з кобальтом при температурі 1500...2000 °С. Тверді сплави мають високу твердість і теплостійкість, що дозволяє підвищити швидкість різання в 2...4 рази в порівнянні з швидкорізальними сталями. Але ці сплави крихкі, тому їх частіше всього використовують у вигляді пластин для оснащення різальних інструментів (токарні та стругальні різці, зенкери і розвертки, фрези, а також інколи свердла та мітчики). В інструментальному виробництві застосовують вольфрамові (ВК), титановольфрамові (ТК) і титанотанталовольфрамові (ТТК) тверді сплави.

***Вольфрамові тверді сплави*** (ВК2, ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10) мають твердість до 91 HRA і теплостійкість 800...850 °С. Цифра після літери К вказує на вміст кобальту (зв'язуючий елемент). Так сплав ВК4 має 4 % кобальту (Co) та 96 % карбиду вольфраму (WC). Від розміру зерен карбідів і вмісту кобальту залежать фізико-механічні властивості вольфрамових твердих сплавів. Сплави з малим вмістом кобальту (ВК2, ВК3, ВК4) мають високу твердість і високу зносостійкість, але невисоку міцність, тому рекомендуються для чистової обробки. Зі збільшенням вмісту кобальту міцність сплаву зростає, але знижується зносостійкість і твердість, тому сплави з підвищеним вмістом кобальту (ВК6, ВК8, ВК10) використовуються для чорнової обробки.

Вольфрамові тверді сплави рекомендується використовувати для обробки чавунів, кольорових металів та сплавів. При обробці сталей інструменти з цих сплавів швидко спрацьовуються і тому не рекомендуються. Виняток складають сплави ВК6-М, ВК6-ОМ, ВК8, ВК10-ОМ, які з успіхом застосовуються для обробки жаростійких і корозійностійких сталей та титанових сплавів. Для обробки жаростійких сталей і сплавів можна рекомендувати тверді сплави з особливодрібнозернистою структурою, які додатково леговані карбідами хрому (ВК10Х-ОМ, ВК15Х-ОМ).

***Титановольфрамові тверді сплави*** (Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12) складаються з карбиду вольфраму і карбиду титану та зв'язуючого елементу - кобальту. Так сплав Т15К6 містить 6 % кобальту (Co), 15 % карбиду титану (TiC) і 79 % карбиду вольфраму (WC). Теплостійкість сплавів ТК 850...900 °С, твердість 87...92 HRA. Ці сплави мають більшу зносостійкість, але їх міцність менша і вони більш крихкі. Застосовуються для обробки вуглецевих та легованих сталей. Сплави з низьким вмістом кобальту (Т30К4, Т15К6) рекомендуються для чистової обробки, а сплави з високим вмістом кобальту (Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12) – для чорнової обробки сталі.

***Титанотанталовольфрамові тверді сплави*** (ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8, ТТ20К9) мають теплостійкість 750 °С і твердість 90...94 HRA. До складу цих сплавів входить також карбід танталу. Так сплав ТТ7К12 містить 12 % кобальту (Co), 7% карбиду титану і карбиду танталу (TiC + TaC) та 81 % карбиду

вольфраму. Сплави ТТК мають більш високу міцність та в'язкість, ніж сплави групи ТК, але поступаються їм за твердістю та теплостійкістю. Завдяки високій зносостійкості та ударній в'язкості сплави ТТК ефективні при чорновій обробці сталей та сплавів. Особливо ефективні сплави ТТК при обробці важкооброблюваних сталей і сплавів. Останнім часом для поліпшення характеристик сплавів ТТК до їх складу вводиться карбід ніобію ( $NbC$ ).

**Безвольфрамкові тверді сплави** – це сплави на основі карбиду титану ( $TiC$ ), нітриду титану ( $TiN$ ) і карбиду хрому ( $CrC$ ), де в якості зв'язки використовується нікель і молібден. Ці сплави мають високу теплостійкість (до  $1000\text{ }^{\circ}C$ ), але менш міцні порівняно зі сплавами ВК, тому ефективні при чистовому та напівчистовому точінні і фрезеруванні. Схильність до злипання з поверхнею заготовки невисока і нарід на різцю під час обробки практично не утворюється. Інструменти, оснащені сплавами ТМ1, ТМ3, ТН20, КНТ16, КНТ20, КХН20, КХН30, КТС2М, забезпечують високу якість обробки, що дозволяє замінити шліфування чистовим точінням. Але ці сплави погано піддаються паянню і заточуванню, тому їх використовують у вигляді непереточуваних багатогранних пластин.

### **Мінералокерамічні тверді сплави**

Застосування мінералокерамічних інструментальних сплавів в значній мірі вирішує проблему економії дефіцитного вольфраму. Зараз в розвинених країнах до 18 % різальних інструментів оснащуються пластинками з мінералокераміки. Різальна кераміка виготовляється на основі оксидів (головним чином  $Al_2O_3$ ), нітридів (переважно  $Si_3N_4$ ), або змішаною. З метою підвищення міцності до складу кераміки вводять оксиди цирконію та гафнію ( $ZrO_2$ ,  $HfO_2$ ), карбід титану ( $TiC$ ), нітрид титану ( $TiN$ ) та інші тугоплавкі сполуки. Відповідно до складу кераміка поділяється на оксидну, оксидно-карбідну та нітридну.

Корунд, або оксидну кераміку ( $Al_2O_3$ ), отримують із глинозему в електропечах при температурі  $1720...1750\text{ }^{\circ}C$ , тому його прийнято називати електрокорундом. Електрокорунд, має теплостійкість до  $1200\text{ }^{\circ}C$  і твердість до  $90...94\text{ HRA}$ , але дуже крихкий. Для зміцнення оксидної кераміки вводиться оксид цирконію ( $ZrO_2$ ). Сплави на основі  $Al_2O_3$  використовуються у вигляді пластин переважно білого кольору для оснащення токарних різців, фрез, зенкерів, розверток тощо, які застосовують для чистової і напівчистової обробки вуглецевих та легованих сталей, в т. ч. важкооброблюваних. Сплавами на основі  $Al_2O_3 + ZrO_2$  можна виконувати чорнову та чистову обробку різних сталей, чавунів та високоміцних сплавів. У вигляді окремих зерен електрокорунд використовується для виготовлення абразивних інструментів.

З метою підвищення міцності до складу оксидної кераміки вводять карбіди титану, кремнію, хрому тощо. Міцність такої оксидно – карбідної кераміки (ВОК-60, ВОК-63) зростає у 1,5...2 рази.

До складу нітридної (безоксидної) кераміки вводять карбід та нітрид титану, нітрид бору. Таку кераміку можна застосовувати для чистової обробки гартованих легованих сталей та для швидкісної обробки сталей.

Разом з тим пластини з мінералокераміки мають дещо меншу міцність на згин та меншу ударну в'язкість у порівнянні з пластинами із твердих сплавів. З метою усунення цього недоліку застосовують багат шарову кераміку.

Наприклад, для виготовлення робочого шару пластин з кераміки ВОК-95С та ВОК-95М використовують ВОК-63, ВОК-71, а перший або проміжний шар виготовляють з твердого сплаву.

### ***Надтверді інструментальні матеріали***

Самим твердим інструментальним матеріалом є **алмаз**. В інструментальному виробництві він використовується для оснащення лезових та абразивних інструментів. При виготовленні лезових інструментів необхідно враховувати анізотропність алмазу, тобто різну величину міцності і твердості в різних напрямках кристалу. Крім високої твердості алмаз має високу зносостійкість, добру теплопровідність і малий коефіцієнт тертя.

Тонке точіння алмазними різцями може забезпечити шорсткість поверхні до  $R_a = 0,025$  мкм. Разом з цим він дуже крихкий і дорогий. Інструменти, оснащені алмазом, найбільш доцільно застосовувати для тонкого точіння і розточування кольорових сплавів та пластмас.

Для виготовлення інструментів частіше використовуються штучні алмази, які мають значно меншу вартість. Синтетичні алмази АСБ – **баллас** (АСБ-5, АСБ-6) рекомендуються для обробки кольорових сплавів з підвищеним вмістом кремнію, склопластиків, пластмас. Так при обробці склопластиків зносостійкість балласу в 70...80 разів вища зносостійкості твердих сплавів ВК2, ВК3М. Балласи використовують для оснащення різців, сверدل, фрез та для виготовлення абразивних інструментів. Синтетичні алмази АСПК – **карбонадо** (АСПК-1, АСПК-2, АСПК-3) рекомендуються для обробки особливоміцних сплавів. Монокристалеві алмази САМ високоефективні при обробці напівпровідникових матеріалів, радіотехнічної кераміки, кольорових сплавів з високим вмістом кремнію.

**Кубічний нітрид бору** (КНБ) по твердості близький до синтетичних алмазів і має теплостійкість в два рази вищу ніж в алмазів (до 1600 °С). На основі КНБ створені композиційні інструментальні матеріали (композити). Так композит 01 (**ельбор-Р**), композит 02 (**бельбор**), композит 10 (**гексаніт-Р**) мають масову частку КНБ не менше 95 %. Композит 05 має 40...50 % КНБ та 50–60 %  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  та інші. Композити використовуються для виготовлення абразивних інструментів, які призначені для обробки високоміцних і жаростійких сталей та сплавів, доводки твердосплавних інструментів після заточування і для оснащення лезових інструментів.

Композити є якісно новим інструментальним матеріалом. Чим вище твердість оброблюваного матеріалу, тим більш ефективно застосування різців і фрез, оснащених композитами. Враховуючі те, що лезові інструменти з композитів можуть працювати з глибиною різання до 5 мм, певний припуск можна зрізувати після термічної обробки. Це важливо для деталей, схильних до деформацій під час термообробки.

Інструменти, оснащені композитом, можуть працювати з високими швидкостями різання, що дає можливість значно підвищити продуктивність праці. При цьому різці з композитів забезпечують шорсткість обробленої поверхні  $R_a < 0,63...1,25$  мкм і 7...8 квалітети точності.

Шляхом спікання  $KHБ$ ,  $AlB_2$ ,  $Al_2N$ ,  $Al_2O_3$  з жароміцними сплавами отримують композиційний матеріал **киборит**, який забезпечує точіння чавунів, гартованих і високолегованих сталей без подальшого шліфування.

## Тема 2.8 *Сплави кольорових металів.*

### *Сплави міді. Склад, структура, властивості, маркування та використання латуней і бронз*

**Латунями** називають сплави міді з цинком. Вони бувають простими (якщо містять лише мідь і цинк) і багатокомпонентними (коли містять крім міді а цинку інші хімічні елементи). Технічне застосування мають латуні з вмістом цинку до 45%.

У марках однофазних латуней записують літеру "Л" і число, що показує середній вміст міді у відсотках. У марках легованих латуней крім числа, що показує вміст міді, записують літери та числа, які вказують на наявність певного елемента і його вміст у відсотках. Алюміній у латунях позначають літерою "А", нікель — Н, олово — О, свинець — С, фосфор — Ф, залізо — Ж, кремній — К, марганець — Мц, берилій — Б, цинк — Ц. У деформівних латунях записують спочатку всі літери, а потім числами через дефіс — вміст легуючих елементів, наприклад, ЛАН59-3-2 містить 59% Cu, 3% Al і 2% Ni. У марках ливарних латуней вміст міді не пишуть, а після літери "Л" записують літери та числа — відсотки наявних елементів, наприклад, ЛЦ40Мц3А містить 40% Zn, 3% Mn, 1% Al і 56% Cu.

**Бронзами** називають сплави міді з усіма елементами, крім цинку, який може бути наявним у невеликих кількостях як легуючий елемент. Назву бронза отримує за основним, крім міді, компонентом (олов'яниста, алюмінієва, кремниста, свинцева, берилієва тощо).

Найпоширенішою і давно відомою є **олов'яниста бронза**. Століттями застосовували машинну або гарматну бронзу з вмістом олова 9...12%, художню — 3...8% Sn, монетну — 4...5% Sn, а також бронзу для дзвонів з 20...25% Sn. Практичне застосування мають бронзи з вмістом олова до 10%. З метою здешевлення і для поліпшення технологічних властивостей олов'янисті бронзи легують цинком, свинцем, нікелем і фосфором.

**Деформівні однофазні бронзи** маркують літерами "Бр" (бронза), літерами "О, Ц, С, Ф, Н" і числами через дефіс, що показують вміст відповідно олова, цинку, свинцю, фосфору та нікелю у відсотках, наприклад, БрОЦС 4-4-2,5 містить 4% Sn, 4% Zn і 2,5% Pb. Ці бронзи мають високі електропровідність, корозійну стійкість та антифрикційні властивості, а також пружні властивості і опір втомі. Тому з них виготовляють круглі та плоскі пружини в точній механіці (годинники), електротехніці, хімічному машинобудуванні та інших галузях.

У марках **ливарних бронз** вміст кожного легуючого елемента пишуть одразу після літери, наприклад, БрОЗЦ7С5Н1 містить 2,5...4,0% Sn, 6,0...9,5% Zn, 3...6% Pb і 0.5...2,0% Ni. Ливарні бронзи мають високі антифрикційні властивості (БрОЗЦІ2С5, БрО4-Ц4С17, БрО10Ц2). Висока корозійна стійкість бронз в



атмосферних умовах, у морській та прісній воді дає змогу використовувати їх для пароводяної арматури, що працює під тиском. Сучасні технології литва дають змогу арматурі витримувати тиск до 30 МПа.

Замінником дорогих олов'янистих бронз є **алюмінієві**. Вони мають дещо вищі механічні властивості, високу рідкоплинність, дещо більшу усадку, добру герметичність і малу схильність до дендритної ліквідації. Однофазні бронзи (БрА5, БрА7) мають високу пластичність і одночасно високу міцність ( $\sigma_s = 400\text{...}450$  МПа,  $\delta = 60\%$ ). З них виготовляють електричні контакти та хімічно стійкі деталі. Двофазні алюмінієві бронзи частіше ливарні, мають високу міцність ( $\sigma_s = 600$  МПа) і твердість ( $> 100$  НВ). Їх можна термічно зміцнювати.

Чисті алюмінієві бронзи мають також чимало недоліків: велику усадку, схильність до газонасичення і окиснення під час плавлення, крупно кристалічну структуру, погано піддаються паянню. Для усунення цих недоліків алюмінієві бронзи легують залізом, нікелем і марганцем.

**Залізо** модифікує алюмінієві бронзи, підвищує їх міцність, твердість і антифрикційні властивості, зменшує схильність до крихкості. Термічна обробка легованих залізом бронз, наприклад БрАЖ9-4 (нормалізація або гартування і відпускання), дає змогу підвищити твердість до 175... 180 НВ. З них виготовляють корозієстійкі гвинти, вали тощо. **Нікель** поліпшує технологічні та механічні властивості алюмінієво-залізистих бронз при звичайних і підвищених температурах. З алюмінієво-залізисто-нікелевих бронз виготовляють деталі, які працюють у важких умовах стирання при високих температурах (400...500°C): сидла клапанів, напрямні втулки випускних клапанів, деталі насосів і турбін, шестерні та інші деталі. Високі механічні властивості характерні для алюмінієво-залізистих бронз, легованих дешевшим марганцем (БрАЖМц10-3-1,5). З них виготовляють жаростійкі деталі.

**Кремністі** бронзи характеризуються високими механічними, пружними та антифрикційними властивостями. Вони добре зварюються і паяються, задовільно обробляються різанням і мають низькі порівняно з іншими бронзами та латунями ливарні властивості. Для підвищення ливарних властивостей їх легують **цинком, марганцем і нікелем**. **Свинець** поліпшує антифрикційні властивості та оброблюваність різанням. Кремністі бронзи використовують замість дорогих олов'янистих для виготовлення антифрикційних деталей

**Берилієві** бронзи мають дуже високі межі пружності і міцності, твердість і корозійну стійкість разом з підвищеною стійкістю до втоми, повзучості та спрацювання. Ці бронзи жароміцні до 310...340°C, мають високу тепло- і електропровідність, добре зварюються точковим і шовним зварюванням, практично не зварюються плавленням. З берилієвих бронз (БрБ2) виготовляють дуже відповідальні пружини (карбюраторів, бензонасосів), пружні контакти, мембрани, деталі, що працюють на стирання (кулачки, шестерні, черв'ячні колеса), підшипники ковзання для високих температур, швидкостей і тисків. Берилієва бронза є іскробезпечним матеріалом (не створює іскор при ударі по каменю чи металу). Тому з неї виготовляють електричні контакти та ударний інструмент для роботи у вибухонебезпечних умовах (інструменти гірників). Основним недоліком берилієвих бронз є їх висока вартість. Тому 0,1...0,3% Be

замінюють Mn, Ni, Ti, Co (БрБНТ1,7; БрБНТ1,9) без зниження механічних властивостей.

**Свинцеві бронзи** поєднують в собі високі антифрикційні властивості з високою теплопровідністю, ударною в'язкістю і втомною міцністю. Тому з них виготовляють високонавантажені підшипники ковзання для високих швидкостей (авіаційні та дизельні двигуни, потужні турбіни). Такі бронзи містять до 25...30% Pb. Для підвищення міцності та твердості ці бронзи легують розчинними у міді оловом, нікелем, марганцем (Бр СН60-2,5).

Сплави міді з нікелем називають **мельхіорами** (20...30% Ni, решта мідь), **куніалями** (5...15% Ni, 1,2...3,0% Al), **нейзільберами** (13,5...16,5% Ni, 18...22% Zn або 1,6...2,0% Pb). Усі вони корозієстійкі в атмосфері, морській та прісній воді, багатьох органічних рідинах, розчинах солей тощо, а також немагнітні.

### **Сплави алюмінію. Склад, структура, властивості, маркування та застосування силумінів, дуралюмінів, високоміцних і жаростійких сплавів**

Сплави алюмінію вирізняються високою питомою міцністю, здатністю протидіяти інерційним і динамічним навантаженням та високими технологічними властивостями. Більшість алюмінієвих сплавів мають добру корозійну стійкість (за винятком сплавів з міддю), високі тепло- та електропровідність, добре обробляються тиском, зварюються точковим зварюванням, а деякі і плавленням, добре обробляються різанням, алюмінієві сплави пластичніші, ніж сплави магнію та більшість пластмас.

Основними компонентами сплавів алюмінію є мідь, магній, кремній, марганець і цинк, деколи використовують літій, нікель і титан.

Сплави алюмінію класифікують за технологією виготовлення деталей (деформівні, ливарні, порошкові), за придатністю до термічної обробки (зміцнювані і незміцнювані) та за властивостями.

**Деформівні** сплави алюмінію розділяють за придатністю до термічної обробки. До незміцнюваних належать сплави системи Al-Mn, що маркуються літерами АМц і числом — номером сплаву, та сплави системи Al-Mg, в марках яких записують літери АМг та номер сплаву. Ці сплави придатні для умов, що вимагають високої корозійної стійкості, наприклад, трубопроводів для бензину і мастил, зварних баків тощо. Зі сплавів АМг і АМц, які мають межу міцності 110...430 МПа, виготовляють також заклепки, перегородки, корпуси та щогли суден, деталі ліфтів, рами вагонів, кузови автомобілів тощо.

Сплави алюмінію, які зміцнюються термічною обробкою, поділяють на сплави з нормальною міцністю — **дуралюміні**, в марках яких записують велику літеру Д і числовий номер сплаву, та **високоміцні**, в марках яких записують велику літеру "В" і числовий номер. Серед деформівних сплавів виокремлюють сплави для обробки тиском — **ковкі**. В їх марках записують літери "АК" та числовий номер сплаву.

**Дуралюміні** характеризуються добрим співвідношенням міцності та пластичності і належать до сплавів системи Al-Cu-Mg. Дуралюміні мають невисоку корозійну стійкість, тому їх поверхню покривають тонким шаром чистого алюмінію — плакують. Товщина шару алюмінію становить 3...5%

товщини листа. Паяння і зварювання дуралюмініу не створюють рівномірного з основним металом шва. Тому для нерознімного з'єднання деталей з дуралюмініу переважають заклепкові з'єднання. Заклепки також виготовляють з дуралюмініу, причому пластичність загартованих заклепок із сплаву Д1 зберігається лише 2 год, а із сплаву Д16 — 20 хв. Тому для заклепок використовують сплав Д18, в якому завдяки меншому вмісту міді та магнію пластичність зберігається і після старіння.

Дуралюміні широко застосовують в авіації, будівництві та машинобудуванні (лопаті повітряних гвинтів (Д1), шпангоути, тяги керування (Д16), деталі будівельних конструкцій, кузови вантажних автомобілів, обсадні труби тощо).

**Ковкі сплави алюмінію** (АК4-1, АК-4), крім високої міцності, мають високу пластичність у нагрітому стані. За хімічним складом вони близькі до дуралюмінів і відрізняються більшим вмістом кремнію. Їх додатково легують залізом, нікелем і титаном. Ці сплави використовують для виготовлення поршнів, головок циліндрів, обшивки літаків.

**Ливарні сплави алюмінію** при густині  $2,65 \text{ т/м}^3$ , що менша за густину чистого алюмінію, мають межу міцності від 130 до 360 МПа і твердість від 50 до 100 НВ. Ці сплави поділяють на 5 груп.

Найпоширенішими є **сілуміни**, що містять 6...13 % кремнію. Вони добре зварюються, мають високу рідкоплинність, малу усадку, не схильні до утворення гарячих тріщин, герметичні. Маркіруються літерами АК (міст кремнію у %). АК12, АК9, АК7 тощо використовуються для мало- та середньонавантажуваних литих деталей складної форми.

**Мідні сілуміни** (АК5М, АК8М3, АК12М2МгН та ін.) характеризуються високою міцністю при звичайних та підвищених температурах. Вони добре обробляються різанням і зварюються, але ливарні властивості гірші. Застосовуються для виготовлення корпусів компресорів, головок і блоків циліндрів двигунів.

До ливарних відносяться також сплави системи А1-Сu (АМ5) мають найбільш високу міцність, добре обробляються різанням і зварюються. Ливарні властивості цих сплавів є низькими.

### **Антифрикційні сплави**

**Антифрикційні** матеріали призначені для виготовлення підшипників (опор) ковзання, які часто використовуються в сучасних машинах і приладах завдяки їх стійкості до вібрацій, безшумній роботі та незначним габаритам.

Основними функційними властивостями підшипникового матеріалу є антифрикційність і стійкість до втоми. **Антифрикційність** — це здатність матеріалу забезпечувати низький коефіцієнт тертя ковзання з метою досягнення високої зносостійкості як самого підшипника, так і спряженого сталевого чи чавунного вала.

**Бабітами** називають м'які антифрикційні сплави на основі олова або свинцю. Їх маркують літерами "Б", якщо вони на основі олова, "БС" — містять олово і свинець, "БК" — свинець та кальцій, "БН" — олово й домішки нікелю, а також числами, що відповідають вмісту олова у відсотках.

За хімічним складом бабіти поділяють на олов'яні (Б88, Б83), олов'яно-свинцеві (Б16, БС6) та свинцеві (БКА, БК2).

Через великий вміст високовартісного олова такі бабіти використовують для відповідальних підшипників, які працюють при великих швидкостях і високих (Б88) та середніх (Б83, Б83С) навантаженнях (парових турбін, турбокомпресорів, дизельних двигунів суден, опор гребних гвинтів тощо). Через низький опір втомі товщина шару бабіту підшипника не перевищує 1 мм.

Олов'яно-свинцеві бабіти містять не більше 17% олова. М'якою основою у них є твердий розчин олова, сурми та міді у свинці. Бабіт Б16 крихкіший за Б83, тому замінює його у спокійних умовах роботи: у підшипниках електровозів, паровозів, парових машин, гідротурбін тощо. найдешевшим з бабітів є бабіт БС6; його застосовують у підшипниках нафтових двигунів, металообробних верстатів, а також для ударно-навантажених підшипників автотракторних двигунів. Ще дешевшими є свинцеві бабіти з кальцієм і натрієм (БКА, БК2). Ці бабіти використовують у підшипниках трамваїв і залізничних вагонів, у гірничодобувних машинах тощо.

Замінником високовартісних бабітів є алюмінієвий сплав АСМ (3,5...6,5% Sb, 0,3...0,7% Mg, решта — Al).

До антифрикційних сплавів з м'якою основою належать також олов'янисті та олов'янисто-цинково-свинцевисті бронзи. Це, наприклад, бронзи БрО10Ф1, БрО10Ц2, БрО5Ц5С5, БрО6Ц6С3. Із них виготовляють підшипники ковзання електродвигунів, компресорів, що працюють при значних тисках і середніх швидкостях ковзання.

До сплавів з твердою основою належать також графітізовані чавуни. Роль м'яких вкраплень у них виконує графіт. Для роботи в умовах високих тисків і малих швидкостей ковзання використовують сірі чавуни СЧ15, СЧ20, леговані антифрикційні чавуни АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3, високоміцні АЧВ-1, АЧВ-2, а також ковкі АЧК-1, АЧК-2. Перевагою чавунів є невисока вартість, а недоліками — недостатня припрацьовуваність до спряженої деталі, чутливість до наявності мастила і ударних навантажень.

Широке застосування у техніці отримали шаруваті підшипники. Перелічені антифрикційні матеріали, чисті метали та основа розміщені у них окремими шарами, кожен з яких має своє функційне призначення. Наприклад, чотиришаровий підшипниковий матеріал для сучасних автомобільних двигунів складається зі сталеві основи, на яку нанесено шар свинцевої бронзи БрС30 товщиною 250 мкм. Цей шар покритий тонким (~ 10 мкм) шаром нікелю або латуні. Останній шар товщиною 25 мкм виготовлений зі сплаву олова та свинцю. Сталева основа забезпечує міцність і жорсткість підшипника у вигляді вкладиша. Верхній м'який шар поліпшує припрацьовуваність. Після його спрацювання робочим шаром стає бронза. Шар нікелю або латуні запобігає дифузії олова з верхнього шару у свинцеві вкраплення бронзи.

## Тема 2.9 Корозія металів і способи захисту від неї

### Поняття про корозію

**Корозією** металів і сплавів називають їх руйнування під впливом зовнішнього середовища.

Всі метали та сплави, які використовуються в техніці, кородують в тій чи іншій степені; лише золото і платина в звичайних умовах не піддаються корозії.

В якості прикладів корозії можна привести ржавіння заліза під дією атмосфери, роз'їдання підводних частин суден, псування деталей хімічної апаратури під впливом розчинів солей, кислот або лугів. Корозія призводить до часткового або повного виходу з ладу окремих деталей або всього виробу.

Близько 2 % всіх використовуваних у світі металів і сплавів щорічно втрачається від корозії.

В залежності від середовища, в якому протікає процес, розрізняють електрохімічну і хімічну корозію.

### Електрохімічна корозія

**Електрохімічною корозією** називають таку корозію, яка супроводжується появою електричного струму. Найчастіше за все електрохімічна корозія металів протікає в рідинах – електроліті. Електролітами можуть бути кислоти, луги, їх розчини, розчини солей у воді, вода, яка містить розчинене повітря.

Атоми металів складаються з позитивно заряджених іонів, які коливаються біля свого середнього положення в кристалічній решітці, і хаотично рухаються всередині просторової ґратки негативно заряджених електронів.

Таблиця 2.1. Потенціал різних металів по відношенню до водню

Елемент	Номінальний потенціал по відношенню до водню	Елемент	Номінальний потенціал по відношенню до водню
Золото	+ 1,5	Нікель	-0,23
Ртуть	+0,86	Кобальт	-0,27
Срібло	+0,8	Залізо	-0,439
Мідь	+0,344	Хром	-0,51
Вісмут	+0,226	Цинк	-0,762
Сурма	+0,2	Марганець	-1,1
Водень	0,000	Алюміній	-1,3
Свинець	-0,127	Магній	-1,55
Олово	-0,136	Натрій	-2,71

При занурюванні металу в електроліт іони, які знаходяться на поверхні, переходять в розчин в кількості, яка залежить від природи металу і електроліту. Цей процес розчину металів в електроліті подібний звичайному розчиненню, наприклад, солі у воді, який припиняється тоді, коли розчин стане насиченим.

Однак при розчиненні металу в електроліт переходять лише позитивно заряджені іони, внаслідок чого електроліт, що прилягає до металевої пластини, заряджається позитивно, а сама пластинка – негативно, за рахунок електронів, що залишилися. Всі метали володіють різною здатністю переходити в розчин, тобто різним ступенем розчинення, тому якщо пластинки різних металів опустити в один електроліт, то вони будуть мати різні потенціали, причому чим більше іонів металу перейде в розчин, тим більшим буде від’ємний потенціал цього металу. В таблиці 2.1 приведено значення потенціалів деяких елементів, вимірених по водневому електроду, потенціал якого прийнято рівним нулю.

При з’єднанні різних металічних пластинок, що знаходяться в електроліті, утворюються гальванічні пари, де анодом буде метал з більш низьким потенціалом, а катодом – метал з більш високим потенціалом. В гальванічній парі перехід іонів аноду в розчин буде тривати до повного розчинення пластинки аноду. Так, якщо пластинку цинку і пластинку заліза опустити в електроліт і з’єднати їх електрично, то цинк буде розчинятися до повної руйнації пластинки.

Структура технічних металів і сплавів в більшості випадків неоднорідна і складається з двох фаз (наприклад, фериту і цементиту). При занурюванні такого сплаву в електроліт окремі неоднорідні кристали його будуть мати різні потенціали, а через те, що ці кристали електрично замкнені один на одного через масу металу, то сплав буде представляти собою велику кількість окремих гальванічних мікропар. З цього видно, що чисті метали і однофазні сплави повинні мати більшу корозійну стійкість, ніж сплави, які складаються з суміші фаз. Досліди показали, що сталь, загартована на мартенсит, ржавіє значно менше, ніж та ж сама сталь після відпалу або високого відпуску (стан перліту, сорбіту або трооститу).

Шар електроліту при корозії може бути досить незначним: достатньо невеликої конденсації вологи з повітря на поверхні металу, як починається процес його ржавіння, тому електрохімічна корозія спостерігається і в закритих приміщеннях.

### ***Хімічна корозія***

***Хімічною корозією*** називають корозію, яка не супроводжується появою електричного струму. Зазвичай в цьому випадку на метал діє сухий газ або рідина – неелектроліт (бензин, масло, смола тощо). При цьому на поверхні металу утворюються хімічні з’єднання, найчастіше за все – плівки окислів. Міцність плівок окислів різних металів різна. Наприклад, плівки окислів заліза є неміцними, а алюмінієва плівка досить міцна, щільно прилягає до поверхні металу і тим самим захищає його від подальшого руйнування.

Наявність міцної окисної плівки захищає метал і від електрохімічної корозії, тому що працює як ізолятор. Цим пояснюється той факт, що деякі метали (наприклад, алюміній, хром), що мають досить низькі потенціали, володіють високою корозійною стійкістю.

Хімічна корозія в чистому вигляді спостерігається досить рідко. Прикладом її може слугувати поява окалини при гарячій обробці металів.

Атмосферна корозія (корозія на відкритому повітрі) представляє собою комбіновану хімічну і електрохімічну корозію.

### ***Методи захисту від корозії***

Сталь і чавун, які становлять головну частину всіх технічних металів і сплавів, досить сильно ржавіють, тому їх захист від корозії потребує особливої уваги.

Виробництво корозійно стійких сплавів (наприклад, високохромистої і хромонікелевої сталі) саме по собі вже є способом боротьби з корозією, причому найбільш ефективним. Нержавіючі сталі і чавуни, також як і корозійностійкі сплави кольорових металів, є найбільш цінними конструкційними матеріалами, однак використання таких сплавів не завжди доцільне через їх високу вартість або з технічних міркувань.

Способи захисту металевих виробів від корозії:

1. металеві покриття;
2. хімічні покриття;
3. катодний захист;
4. неметалеві покриття.

### ***Металеві покриття***

Захист від корозії шляхом нанесення тонкого шару металу, який володіє достатньою стійкістю в даному середовищі, дає гарні результати і є досить розповсюдженим.

Металеві покриття можуть бути нанесені:

- гарячим способом;
- гальванічним способом;
- дифузійним способом;
- термомеханічним шляхом;
- металізацією (розпиленням) тощо.

***Гарячий спосіб*** використовується для нанесення тонкого шару легкоплавких металів: олова (лудіння), цинку (цинкування) або свинцю (свинцювання). При цьому способі очищений виріб занурюють у ванну з розплавленим металом, в результаті метал змочує виріб і відкладається на ньому тонким шаром. Лудіння в основному використовується для посуду (котлів, каструль тощо); цинкування – для побутових виробів, заліза для дахів, дротів, труб; свинцювання – для хімічної апаратури та труб.

***Гальванічний спосіб*** полягає в нанесенні на виріб цинку, кадмію, олова, свинцю, нікелю, хрому та інших металів.

Розрізняють анодні і катодні гальванічні покриття.

***Анодне покриття*** здійснюють металами, потенціал яких в даному електроліті нижче потенціалу металу виробу.

***Катодне покриття*** здійснюють металами, потенціал яких в даному електроліті вище потенціалу основного металу. Катодне покриття захищає основний метал, доки воно є суцільним.

Для нанесення покриття виріб занурюють в електролітичну ванну з розчином солей того металу, який необхідно нанести у вигляді захисного шару. Виріб служить катодом, а в якості анода використовують або метал, що не розчиняється в даному електроліті, або той метал який буде осаджуватися.

Гальванічний спосіб широко використовується, бо допускає нанесення любого металу на виріб, дає можливість точно регулювати товщину шару захисного металу і не вимагає нагрівання виробу.

Гальванічні покриття наносять не лише з метою захисту від корозії, але і для:

- підвищення поверхневої твердості і стійкості проти стирання (хромування, нікелювання);
- покращення декоративного виду виробу (золотіння, нікелювання, хромування);
- підвищення їх жаростійкості (хромування);
- одержання поверхні з більшою відбитковою здатністю (нікелювання з наступним поліруванням, хромування) тощо.

**Дифузійний спосіб** полягає в насиченні захисним металом поверхневого шару виробу. Це насичення здійснюється шляхом дифузії при високих температурах (хіміко-термічна обробка). Цим способом здійснюється алітування (насичення алюмінієм), хромування і силіціювання (насичення кремнієм).

**Термомеханічне покриття** (плакування) полягає в отриманні біметалів (подвійних металів) шляхом сумісного гарячого прокатування основного і захисного металу. Зчеплення між металами здійснюється за рахунок дифузії під впливом тиску і високої температури. Цей метод є найбільш надійним способом захисту від корозії. Сталь захищають міддю, томпаком, нержавіючою сталлю, алюмінієм; дуралюмін плакують чистим алюмінієм.

**Металізація** здійснюється шляхом розбризкування крапель розплавленого захисного металу по поверхні виробу за допомогою спеціального апарата – пістолета. Захисний метал у вигляді дроту подається в пістолет, де розплавляється ацетиленово-кисневим полум'ям або електричною дугою і розпилюється струменем повітря. Металізація зручна для захисту великих виробів і здійснення односторонніх покриттів. В якості захисних металів при металізації використовують нержавіючу сталь і кольорові метали.

### **Хімічні покриття**

**Хімічне покриття** полягає в тому, що на поверхні виробу штучно створюють захисні металеві плівки, найчастіше оксидні. Процес створення оксидних плівок називають **оксидуванням** або **воронінням** (в зв'язку з тим що після обробки отримують виріб синьо-чорного кольору).

При оксидуванні сталі виріб підлягає дії окислювачів. Найбільш розповсюдженим є спосіб занурення виробів в розчини азотнокислих солей при температурі близько 140 °С. Після оксидування для збільшення корозійної стійкості вироби, як правило, покривають жирною речовиною або мінеральними маслами, які заповнюють пори окисної плівки і запобігають проникненню вологи в метал.



Для захисту від корозії також застосовують **фосфатування**, яке полягає в створенні на поверхні деталі плівки фосфорнокислих солей заліза і марганцю.

### ***Катодний захист***

***Катодний захист*** використовується до виробів, які працюють в електролітах. Сутність полягає в тому, що до поверхні, яка підлягає захисту, або поблизу неї прикріплюють протектори, виготовлені з металу, що має потенціал, нижчий, ніж потенціал виробу, який треба захистити. При цьому утворюється гальванічна пара виріб – протектор, в якій анодом буде протектор, а катодом – виріб. В таких умовах протектор буде поступово руйнуватися, захищаючи тим самим виріб. Після руйнації протектора його замінюють іншим.

### ***Неметалеві покриття***

***Неметалеві покриття*** – це покриття фарбами, емалями, лаками і мастилами.

Роль лакофарбових покриттів, як засобу захисту від корозії, зводиться до ізоляції металу від зовнішнього середовища і запобіганню діяльності мікроелементів на поверхні металів. Лакофарбові покриття використовуються досить часто і становлять біля 70 % всіх випадків захисту металів від корозії. Фарби та лаки надійно захищають поверхні від корозії в атмосферних умовах. Процес виконання операції покриття досить простий. Недоліком є крихкість покриттів та обгоряння їх при високих температурах.

В якості мастил використовують різні мінеральні масла і жири. Захист мастилами здійснюється, як правило, при зберіганні і транспортуванні металевих виробів. Мастила періодично оновлюють.

### 3. Основи обробки тиском та з'єднання конструкційних матеріалів.

#### Тема 3.1 *Обробка тиском.*

**Обробка металів тиском** — один з найпоширеніших, найпродуктивніших і найдешевших методів виготовлення заготовок (а іноді і деталей) різної маси та розмірів зі сталі, деформівних сплавів алюмінію, міді, титану та ін. Мета цього виду обробки — якомога більше наблизити форму й розміри заготовки до форми й розмірів майбутньої деталі, внаслідок чого відходи металу в стружку під час подальшого виготовлення деталі різанням істотно зменшуються. Обробкою тиском отримують прутки круглого, квадратного, шестикутного та інших профілів, фасонні профілі, труби, листи, дріт, поковки, штамповані деталі тощо.

#### *Суть обробки металів тиском*

Обробка металів тиском можлива завдяки їх пластичності. **Пластичністю** називають здатність металу необоротно (пластично) деформуватись без руйнування під дією прикладених сил. Кількісними характеристиками пластичності є відносне видовження  $\delta$ , відносне звуження  $\psi$  та ін.

Сили, прикладені до металевого тіла під час обробки тиском, зумовлюють у ньому пружну й пластичну деформації. Після зняття цих сил пружна деформація зникає, а пластична залишається. Завдяки останній тіло дістає задану форму та розміри.

Залежно від температури обробки й температури рекристалізації розрізняють холодне і гаряче деформування металів.

**Холодне деформування** відбувається при температурах, нижчих від температури рекристалізації, а **гаряче деформування** — при температурах, вищих від температури рекристалізації. Холодне деформування супроводжується видовженням зерен, збільшенням густини дефектів, що підвищує міцність та твердість металу й зменшує його пластичність (явище наклепу). Холодне деформування сприяє підвищенню точності розмірів, якості поверхні та міцності металу.

У нагрітому вище температури рекристалізації металі одночасно зі зміцненням відбувається знеміцнення (рекристалізація). Що вища температура і ступінь деформації, то вища швидкість рекристалізації. Гаряче деформування доцільно застосовувати для обробки малопластичних і важкодеформівних сплавів, а також відливків.

На пластичність металу впливають: температура, хімічний склад і структура, швидкість деформування та напружений стан.

**Температура** — найсильніший чинник, оскільки з її зміною змінюється фазовий склад, величина зерен, механізми пластичного деформування. Переважно з підвищенням температури пластичність металу збільшується, а опір деформуванню зменшується.

**Хімічний склад і структура матеріалу.** Найбільшу пластичність мають чисті метали, а меншу — їх сплави. Вуглецеві сталі, що містять понад 1,5 % вуглецю, практично не обробляються тиском. Більшість легувальних елементів, за винятком нікелю й ванадію, зменшують пластичність сталей.

### Прокатування (вальцювання) заготовок

**Прокатуванням** називають такий вид обробки металів тиском, коли заготовка силами тертя втягується у проміжок між обертальними валками, які її пластично деформують, зменшуючи площу поперечного перерізу та збільшуючи довжину. Прокатування належить до найпродуктивніших видів обробки завдяки безперервному процесу і великій швидкості руху заготовки між валками. Цим способом обробляють близько 90 % сталі та понад половину кольорових металів і їх сплавів.

**Поздовжнє прокатування** (рис. 3.1, а) є одним з найпоширеніших видів прокатування, під час якого заготовка (2) деформується між двома валками (1), що обертаються в різних напрямках, і рухається перпендикулярно до осей валків. Метал деформується валками, внаслідок чого зменшується висота заготовки, збільшується довжина і дещо зростає ширина.

Щоб розпочати прокатування, необхідно створити умови для втягування заготовки в міжвалковий проміжок силами тертя. Надійність захоплення штаби (заготовки) валками залежить від коефіцієнта тертя та центрального кута  $\alpha$ , що відповідає дузі контакту валка із заготовкою, який називається кутом захоплення. Кут  $\alpha$  можна зменшити, зменшуючі ступінь деформування або збільшуючі діаметр валка.

Під час гарячого прокатування гладкими валками кут  $\alpha = 15...24^\circ$ , а під час холодного —  $\alpha = 3...8^\circ$ .

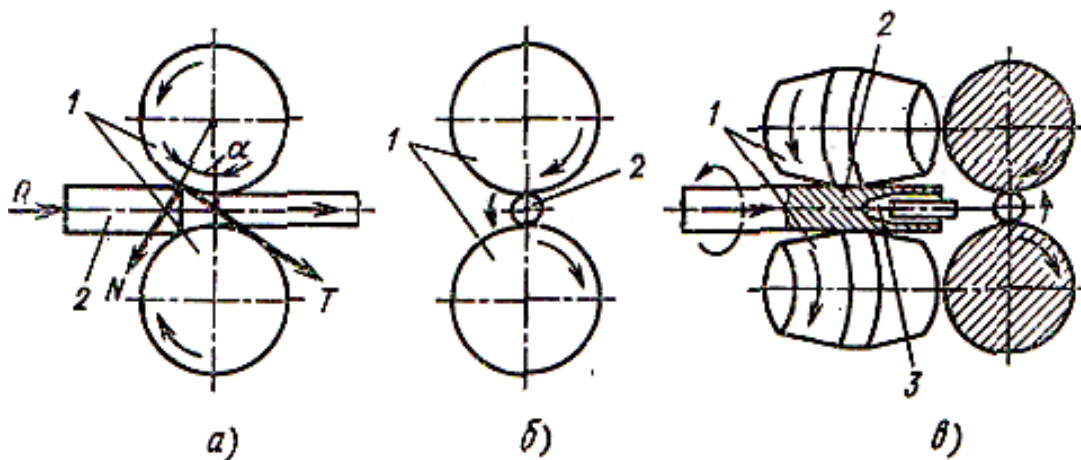


Рис. 3.1. Основні види прокатування:

а — поздовжнє; б — поперечне; в — поперечно-гвинтове;  
1 — валки; 2 — заготовка; 3 — прошивень на нерухомій оправці.

## **Сортамент прокату (вальцівок)**

**Прокат** поділяють на чотири групи: сортовий, листовий, труби, спеціальні види.

**Сортовий прокат** має профілі простої геометричної форми (квадрат, круг, шестикутник, овал, прямокутник) та профілі складної форми (швелер, двотавр, рейка, кутник та ін.).

За товщиною **листову сталь** поділяють на тонколистову (товщиною від 0,2 до 4 мм) і груболистову (товщиною понад 4 мм). Листи товщиною менше 0,2 мм є фольгою.

**Труби** зі сталі бувають безшовні діаметром 10...425 мм і зварені діаметром 5...2500 мм, виготовлені з вуглецевих або низьколегованих сталей.

Спеціальний прокат — колеса, кільця, кулі, періодично змінні профілі.

## **Обладнання для прокатування заготовок**

Прокатування (вальцювання) металів здійснюють на прокатних станах, які мають одну або декілька робочих клітей з робочими валками.

**Валки** є інструментом для прокатування. Їх виготовляють з чавуну або сталі і поділяють на гладкі, калібровані та спеціальні.

**Гладкі валки** призначені для прокатування листів, стрічок або широких штаб. Елементами валка є робоча частина — бочка.

**Калібровані валки** використовують для прокатування сортового металу. На бочці валків виточені кільцеві заглибини спеціального профілю — рівчаки. Контур, утворений сукупністю двох рівчаків пари валків, називають калібром.

Прокатні стани бувають двовалковими, тривалковими, багатовалковими та універсальними.

За призначенням прокатні стани поділяють на обтискні, заготівельні, сортові, листові, трубопрокатні та спеціальні.

## **Процес волочіння**

**Волочіння** — спосіб обробки металів тиском, що полягає у протягуванні прокатаних або пресованих заготовок крізь отвір, поперечний переріз якого менший за поперечний переріз заготовки, а конфігурація отвору формує заданий профіль виробу.

Інструмент для волочіння — **волока** — має робочий отвір, що складається з чотирьох зон: вхідної або мастильної, деформувальної, калібрувальної та вихідної. Кут конусності деформувальної зони залежить від властивостей матеріалу та типу заготовки і становить 6...12°. Калібрувальна зона завдовжки 2...10 мм остаточно формує заданий профіль, його розміри та забезпечує високу якість обробленої поверхні.

Щоб розпочати волочіння, потрібно вставити спеціально стоншений кінець заготовки в отвір інструмента і протягнути її, приклавши певну силу. Ця сила необхідна не лише для деформування металу, але і для подолання сил тертя між інструментом та заготовкою. Внаслідок пластичного деформування заготовка поступово наближається до профілю калібрувальної зони, зменшуючи свою площу поперечного перерізу, і відповідно збільшуючи довжину заготовки. Якщо

площу поперечного перерізу вихідної заготовки потрібно істотно змінити, то її протягають крізь ряд щоразу менших у діаметрі отворів.

Волоки виготовляють з інструментальних сталей, твердих сплавів, а для волочіння дуже тонкого дроту — з технічних алмазів.

Вихідними заготовками для волочіння є грубий дріт, сортові вальцівки круглого, квадратного або шестикутного профілю, безшовні й зварені труби зі сталей, кольорових металів та їх сплавів. Оскільки волочіння відбувається майже виключно в холодному стані, то оброблюваний метал зміцнюється.

Щоб відновити втрачену пластичність, застосовують проміжний рекристалізаційний відпал.

Волочінням отримують дріт діаметром 0,002...10 мм, фасонні профілі, калібрують (підвищуючи точність розмірів і якість поверхні) прокатані прутки діаметром 3...150 мм і труби, виготовляють холодногнуті труби, зменшуючи їх діаметр або одночасно діаметр і товщину стінки, а також змінюють профіль труби з круглого на квадратний, прямокутний, шестикутний чи фасонний.

### ***Пресування заготовок***

***Пресуванням*** називають процес витискування металу заготовки з замкненої порожнини інструмента – контейнера через отвір матриці з площею, меншою, ніж площа поперечного перерізу заготовки. Можна отримати любий профіль зразка, який видавлюється. Для пресування використовують чорні і кольорові метали та сплави у вигляді зливків, кованих або катаних заготовок діаметром до 500 мм і більше та довжиною до 1200 мм. Чорні метали і сплави пресують в гарячому стані, кольорові – як в гарячому, так і в холодному стані. Під час пресування метал сприймає всебічне стискання і тому стає пластичнішим.

Пресування виконують двома способами – прямим і зворотнім. При ***прямому методі*** пресування розігріту заготовку кладуть в порожнину контейнера. Тиск преса передається на заготовку пуансоном, на кінці якого закріплена прес-шайба. При цьому метал змушений видавлюватися через отвір матриці.

При виготовленні порожнистих заготовок до прес-шайби прикріплюється голка. В заготовці, яка кладеться в контейнер, попередньо прошитий отвір. Під час робочого руху прес-шайби метал заготовки витісняється в порожнину між матрицею і голкою, утворюючи трубу.

При ***зворотньому методі*** пресування контейнер закритий з одного кінця упорною шайбою, а тиск преса передається через пустотілий пуансон з закріпленою на ньому матрицею на заготовку, метал якої тече назустріч руху матриці з пуансоном.

Пресуванням отримують прутки діаметром 3-250 мм, труби діаметром до 800 мм з товщиною стінки від 1,5 мм і більше, а також вироби з металопластичних, важкодеформованих сталей та сплавів, які неможливо отримати іншими способами обробки тиском. Процес пресування високопродуктивний і в багатьох випадках конкурує з прокатуванням. Пресування виконують на вертикальних і горизонтальних механізованих або автоматизованих гідравлічних пресах зусиллям до 250 МН (25 000 т).

### **Вільне кування заготовок**

**Куванням** називають процес гарячої обробки тиском, при якому шляхом багаторазової дії універсальними підкладочними інструментами або бойками метал заготовки пластично деформується, поступово набуваючи задані форму, розміри і властивості.

Куванням отримують поковки з масою від десятків грам до сотень тон для виготовлення деталей машин різанням. Кування застосовують в одиничному і дрібносерійному виробництвах. Для виготовлення поковок використовують відливки або сортовий прокат.

Розрізняють кування ручне, яке використовують при ремонтних роботах і виконують за допомогою ковадла і молотків, та машинне, яке здійснюється за допомогою молотів і пресів.

**Молоти** є машинами динамічної (ударної) дії, на них деформування за один удар триває тисячні частки секунди. Найпоширеніші пневматичні і пароповітряні молоти.

Рухомі частини пароповітряного молота переміщуються вгору паром або стисненим повітрям, що подається в нижню порожнину циліндра під поршень. Ці частини падають вниз під дією власної маси, ударяючи по заготовці.

### **Штамування заготовок**

**Об'ємним штампуванням** називають такий спосіб обробки металів тиском, внаслідок якого заготовка, поміщена в робочу порожнину спеціального інструмента — штампа — пластично деформується, набуваючи конфігурації та розмірів порожнини. Об'ємне штампування широко використовують лише у серійному й масовому виробництвах з огляду на високу вартість штампа.

**Штамп** переважно складається з двох частин: нерухомої нижньої і рухомої верхньої. Щоб виготовити поковку, виймають нагріту заготовку з печі, кладуть її в нижню частину штампа і верхньою його частиною створюють тиск, внаслідок чого заготовка набуває конфігурації порожнини штампа. Після цього штамп розкривають і виймають поковку.

Поковки складної конфігурації виготовляють у багаторівчачових штампах. У них заготовку послідовно деформують у кожному рівчаку, наближаючи її форму й розміри до форми й розмірів поковки.

Розрізняють холодне й гаряче об'ємне штампування.

**Холодне штампування** виконують без нагрівання металу. Так виготовляють невеликі поковки, що характеризуються більш точними розмірами, якістю поверхні й деформаційним зміцненням.

Під час **гарячого штампування** завдяки нагріванню заготовок витрачають менше енергії на деформацію. Отримані поковки мають менш точні розміри та гіршу якість поверхні, внаслідок утворення окалини.

Об'ємним штампуванням виготовляють вироби зі сталей, кольорових металів та їх сплавів у великосерійному і масовому виробництвах.

### **Листове штампування**

**Листове штампування** — спосіб виготовлення тиском у штампі плоских і об'ємних деталей з листового матеріалу, стрічки або штаби. Воно більш

поширене, ніж об'ємне штампування. Товщина виготовлених деталей мало відрізняється від товщини вихідної заготовки. Матеріалом для листового штампування служать низьковуглецеві сталі, пластичні леговані сталі, мідь, алюміній, титан і сплави на їх основі. Листовим штампуванням виготовляють шайби, втулки, посуд, ковпаки, гільзи, баки, облицювання автомобілів, автобусів, літаків, ракет, кораблів тощо.

Операції листового штампування поділяють на:

- роздільні, коли відокремлюють частину матеріалу від листа, стрічки або штаби за заданим контуром;
- формозмінні, шляхом яких утворюють об'ємну конфігурацію деталі;
- штампо-складальні, що використовуються для з'єднання кількох деталей в один вузол запресуванням, клепанням, закручуванням, гнуттям та ін.

Розрізняють холодне й гаряче листове штампування.

**Гаряче листове штампування** застосовують для матеріалів недостатньо пластичних або для таких, що товстіші за 5...6 мм. Із нагрівом виготовляють деталі корпусів корабля, днища цистерн, котлів тощо.

Для листового штампування використовують кривошипні листоштампувальні преси, ексцентрикові преси, гідравлічні преси та ін.

## Тема 3.2 Зварювання, паяння і розрізування матеріалів

### Ручне електродугове зварювання

**Зварюванням** називається процес отримання нероз'ємного з'єднання за допомогою встановлення міжатомних зв'язків між зварюваними частинами при їх місцевому або загальному нагріванні або пластичному деформуванні, або сумісній дії того і іншого.

Здатність металів і сплавів до зварювання оцінюють по їх зварюємості. Під **зварюємістю** розуміють можливість утворення при зварюванні щільних герметичних швів з необхідною міцністю і фізико-хімічними властивостями. Не всі метали і сплави володіють доброю зварюємістю.

Кращою зварюємістю володіють метали, здатні утворювати один з одним тверді розчини. Гірше зварюються метали з обмеженою розчинністю в твердому стані. Зовсім неможливо зварити методом плавлення ті метали, які взагалі взаємно не розчиняються в твердому стані або утворюють крихке з'єднання. Ці метали піддають зварюванню тиском або вводять при зварюванні проміжний метал, який здатен розчинятися в обох основних металах.

### Суть електродугового зварювання

Суть ручного дугового зварювання у тому, що за допомогою теплоти зварювальної дуги розплавляється електрод та краї заготовок, а рідкий метал заповнює простір між ними, утворюючи після кристалізації рідкого металу — зварний шов. Шов міцно і надійно з'єднує зварені заготовки в одне ціле, зварювальник рукою переміщує електродотримач з електродом у напрямку до заготовок і вздовж майбутнього шва.

**Зварювальною дугою** називають потужний і стабільний електричний розряд у середовищі іонізованих газів та випарів металу, який супроводжується інтенсивним виділенням теплоти і світла. Повітря у звичайних умовах складається з нейтральних молекул, тому воно не є провідником електричного струму. Щоб молекули повітря дугового проміжку стали провідником струму, їх необхідно іонізувати. З цією метою електрод на короткий час дотикають до заготовки, після цього віддаляють його на відстань довжини дуги. Під час дотику між торцем електрода і заготовкою відбувається коротке замикання, внаслідок чого метал контактних поверхонь швидко нагрівається до високої температури. Після відриву електрода з нагрітого катода під дією електричного поля починається електронна емісія.

Температура в центрі стовпа дуги становить 6000...7000 °С. Напруга, необхідна для запалювання дуги, у випадку постійного струму не повинна перевищувати 30...35 В, а у випадку змінного струму — 50...55 В. У режимі стійкого горіння напруга спадає до 18...30 В.

Напруга дуги залежить від складу газів, у яких горить дуга, довжини дуги, сили струму, матеріалу електрода та виробу.

### **Електроди для ручного зварювання**

Для ручного електродугового зварювання застосовують два типи електродів: неплавкі, плавкі.

**Неплавкі електроди** виготовляють у вигляді стрижнів з вольфраму, електротехнічного вугілля або синтетичного графіту.

**Плавкий електрод** для ручного зварювання — це дротяний електропровідний стрижень з нанесеним на нього покриттям завтовшки 0,5...3 мм. Речовини покриття, а також стрижня, підсилюють іонізацію дугового проміжку, захищають рідкий метал від шкідливої дії середовища, дезоксидують і обмежено легують рідкий метал. Стрижні електродів діаметром 1,6...12 мм і довжиною 150...450 мм виготовляють зі спеціального зварювального дроту, який поділяють за хімічним складом на низьковуглецевий дріт (Св-08, Св-05ГА, Св-10Г2 та ін.); легований дріт (Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС та ін.) та високолегований дріт (Св-12Х13, Св-10Х20Н15 та ін.).

У позначенні марки дроту літери Св означають зварювальний, а цифри після них — вміст вуглецю у сотих частках відсотка. Наступні літери й цифри після цих літер показують легувальні елементи та їх відсотковий вміст. Наприклад, зварювальний дріт марки Св-10Х20Н15 містить 0,10 % вуглецю, 20 % хрому, 15 % нікелю, решта — залізо. Літера А в кінці марки низьковуглецевого та легованого дроту свідчить про знижений вміст шкідливих домішок. Бажано, щоб хімічний склад електродного дроту був близький до хімічного складу зварюваного матеріалу. Якщо цього досягти важко, то речовини, яких в електроді не вистачає, необхідно внести в покриття.

Для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей використовують електроди Е38, Е42, Е42А, Е46, Е46А, Е50, Е50А, Е55 і Е60; для зварювання легованих конструкційних сталей підвищеної міцності застосовують електроди Е70, Е85, Е100, Е125 і Е150. Цифра відповідає межі міцності в МПа  $\times 10^{-1}$ .



Літера А означає, що наплавлений метал має підвищені пластичні властивості (відносно видовження і ударну в'язкість).

До складу покриття входять іонізувальні, шлакоутворювальні, газоутворювальні, дезоксидувальні, легувальні та зв'язувальні речовини. За видом основної речовини покриття поділяються на рутилові (Р), целюлозні (Ц), основні (О) та кислі (К).

Найпоширенішими є рутилові покриття завдяки низькій токсичності, здатності забезпечувати стабільне горіння дуги та міцні шви.

Окрім сталевих електродів, використовують також електроди зі сплавів алюмінію (для зварювання матеріалів на його основі), зі сплавів міді (для зварювання бронз і латуней), зі сплавів титану (для зварювання титанових сплавів).

### **Типи зварних з'єднань**

**Типи зварних з'єднань** залежать від конструкції виробу й товщини зварюваного металу. Головними типами зварних з'єднань є стикові, внакладку, таврові та кутові.

**Стикове з'єднання** — зварне з'єднання двох заготовок торцевими поверхнями. Якщо товщина заготовок під 1 до 5 мм, то шов виконують переважно з одного боку і рідше з двох боків, попередньо не обробляючи скісні краї й залишаючи між заготовками невеликий зазор. При зварюванні заготовок з товщиною більше 3 мм краям заготовки можна надавати V-подібну, U-подібну або X-подібну форму. Якщо краї X-подібні, то шов накладають по чергово з обох боків з метою зменшити деформації зварюваних елементів.

**Накладні з'єднання** можуть бути суцільними та переривчастими.

**Таврові та кутові з'єднання** виготовляються також з попередньою обробкою кромки та без підготовки.

Залежно від положення швів у просторі під час зварювання їх поділяють на нижні, горизонтальні, вертикальні та стельові.

Нижній стиковий шов найзручніше виконувати, оскільки тут рідкий метал легко заповнює проміжок між зварюваними елементами, а з ванни він не витікає.

Складно накладати вертикальні шви, ще складніше — горизонтальні на вертикальній стінці і найскладніше — стельові, бо з ванни вертикальних, горизонтальних і стельових швів рідкий метал може витікати під дією сил гравітації. Витіканню можна запобігти, застосовуючи малопотужну коротку дугу.

### **Режим ручного дугового зварювання**

**Режимом ручного дугового зварювання** називають сукупність параметрів, які забезпечують необхідну якість зварного з'єднання, максимальну продуктивність і низьку собівартість. Найважливішими параметрами режиму є діаметр електрода  $d$  і сила зварювального струму  $I_z$ .

**Діаметр електрода  $d$**  вибирають залежно від товщини зварюваних елементів користуючись емпіричними формулами або орієнтовними співвідношеннями між товщиною зварюваних елементів і рекомендованим діаметром електрода:

Товщина металу $t$ , мм	1...3	3	4...5	6...12	13 і більше
-------------------------	-------	---	-------	--------	-------------

Діаметр електрода  $d$ , мм 1,6...2,5    3    3...4    4...5    5 і більше

**Силу зварювального струму  $I_z$**  (А) для електродів діаметром 3...6 мм можна визначити за емпіричною формулою

$$I_z = \kappa \cdot d,$$

де  $\kappa$  — коефіцієнт, який змінюється від 25 до 60 А/мм.

**Довжина дуги** істотно впливає на якість шва: чим коротша дуга, тим вище якість наплавленого металу. Довжину дуги визначають за формулою

$$L = 0,5 \cdot (d + 2)$$

де  $d$  — діаметр електрода, мм.

### **Автоматизація зварювального виробництва**

**Напівавтоматичне дугове зварювання в атмосфері захисних газів** відрізняється від ручного тим, що тут автоматично подається електродний дріт на виріб, автоматично запалюється та підтримується дуга і лише вручну зварювальник переміщає електродний дріт уздовж шва. Як захисні використовують інертні (аргон, гелій) та активні гази (вуглекислий газ, азот, водень). Найефективнішим з-поміж захисних газів є вуглекислий газ і аргон.

Напівавтоматичне дугове зварювання в атмосфері **вуглекислому газу** провадять лише плавким електродом у вигляді голого дроту великої довжини діаметром 0,8—2 мм.

Вуглекислий газ  $\text{CO}_2$  захищає дугу і розплавлений метал від взаємодії з повітрям. У вуглекислому газі зварюють трубопроводи, корпуси суден та інші конструкції з вуглецевих та низьковуглецевих сталей.

В атмосфері **аргону** зварюють сплави на основі алюмінію, титану, магнію, леговані та високолеговані сталі постійним струмом зворотної полярності. Аргонно-дугове зварювання забезпечує кращу якість і більш високу продуктивність, але аргон дорогий.

При **автоматичному** зварюванні, крім автоматичної подачі електрода, автоматизоване переміщення електрода вздовж шва.

### **Напівавтоматичне та автоматичне дугове зварювання під флюсом**

**Дугове зварювання під флюсом** відрізняється від зварювання в атмосфері захисних газів лише тим, що тут дугу й розплавлений метал захищає від повітря не газ, а спеціальна зерниста речовина — флюс. Флюс виконує ту ж функцію, що й покриття електродів для ручного зварювання, тобто стабілізує дугу, захищає зону зварювання, забезпечує дезоксидацію та легування шва.

Електричний дріт безперервно подається в зону зварювання, а шар флюсу завтовшки 30...60 мм з лійки насипається безпосередньо перед дугою на краї зварюваних заготовок. Дуга горить між кінцем електродного дроту і заготовками, розплавляючи їх краї та дріт, внаслідок чого утворюється зварювальна ванна. Цим способом зварюють заготовки з вуглецевих і легованих сталей, міді, алюмінію, титану та їх сплавів завтовшки 2...100 мм.

Автоматичне зварювання під флюсом відрізняється від напівавтоматичного наявністю механізму для переміщення зварювальної дуги

вздовж шва і досконалішою апаратурою для подачі флюсу та його відсмоктування зі шва.

## Особливості зварювання різних конструкційних матеріалів

### *Зварювання вуглецевих і легованих сталей*

На зварюваність *вуглецевої сталі* істотно впливає вуглець, зі збільшенням вмісту якого її твердість підвищується, а пластичність зменшується.

Найкраще з'єднуються всіма способами дугового зварювання *низьковуглецеві сталі* (до 0,25 % C), оскільки вони практично не гартуються.

Значно складніше зварювати *середньовуглецеві сталі* (0,40...0,45%С) через їх схильність до утворення структур підвищеної твердості і виникнення тріщин.

*Високовуглецеві сталі* (С = 0,46...0,75 %) зварюються дуже погано через велику схильність до утворення структур гартування та до зростання зерна в зоні термічного впливу. Перед зварюванням середньо- та високовуглецеві сталі рекомендується підігрівати до температур 100...300°C залежно від вмісту вуглецю.

### *Зварювання чавунів*

Зварюваність *сірих, ковких і високоміцних чавунів* незадовільна через утворення у зварному шві відбілених структур і прогартування зони термічного впливу, що призводить до утворення тріщин. Тому чавуни зварюють лише тоді, коли необхідно виправити незначні дефекти лиття або відремонтувати відповідальні деталі. Високу твердість шва і зони термічного впливу можна зменшити високотемпературним і довготривалим відпуском.

Чавуни краще зварювати з попереднім підігріванням заготовок до 400...700 °С.

### *Зварювання алюмінію*

Зварювання *алюмінію та його сплавів* ускладнюється через утворення на поверхні крапель електродного металу і металу ванни оксидної плівки  $Al_2O_3$  з температурою плавлення 2050 °С, через схильність металу шва до газової пористості і утворення тріщин, високу теплопровідність металу і низьку температуру його плавлення.

Щільна тугоплавка плівка  $Al_2O_3$ , хоч і захищає метал від окислення, але заважає сплавленню крапель електрода й зварювальній ванні. Щоб позбутись оксидної плівки, використовують у покриттях електродів та у флюсах активні хлористі та фтористі солі лужних і лужноземельних металів ( $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $BaCl_2$ ,  $LiF$ ,  $CaF_2$ ).

Дуже часто зварювальну ванну захищають інертними газами.

### *Зварювання пластмас*

Зварюванням отримують нероз'ємні з'єднання деталей з термопластів, нагріваючи їх в місцях з'єднання до в'язкорідкого стану та охолоджуючи під незначним тиском. Температура, тривалість нагрівання і тиск стимулюють дифузію макромолекул в пограничних шарах та забезпечують надійне з'єднання

деталей, виготовлених з поліетилену, полістиролу, полівінілхлориду, поліаміду, поліметилакрилату й інших термопластів.

Зварювання полімерних матеріалів проводять нагрітим газом, нагрітим металевим інструментом, тертям, струмом високої частоти, ультразвуковим зварюванням, зварювання інфрачервоними променями тощо.

Під час **зварювання нагрітий газ** як теплоносій доводить в зоні з'єднання до в'язкорідкого стану матеріал деталей і присадковий пруток. Теплоносієм найчастіше є повітря, нагріте до температури 250...380 °С, а в разі небезпеки оксидації полімера — азот або аргон. Струмінь нагрітого газу подають в зону зварювання крізь сопло. Джерелом теплоти є електронагрівач опору або природний газ. Присадковий пруток втискують з деяким зусиллям у зазор між зварювальними листами, щоб утворити зварний шов.

Якщо зварюють без присадкового матеріалу, то деталі складають внакладку і вслід за соплом прокочують ролик.

**Нагрітий металевий інструмент** у вигляді пластини розміщують між контактними поверхнями заготовок, які необхідно зварити. Інструмент нагрівається електричним струмом. Після розігріву контактних поверхонь інструмент виймають, а нагріті поверхні заготовок остаточно зближують під дією певної сили. Окрім пластинчастих, використовують також стрічкові, дротяні, клиноподібні роликові та інші інструменти.

Нагрітими металевими інструментами зварюють труби, листи, плівки, точно підтримуючи задану температуру нагрівання полімерного матеріалу і створюючи необхідний тиск.

**Зварювання тертям** ґрунтується на нагріванні контактних поверхонь з'єднуваних заготовок теплотою, що утворюється від перетворення роботи тертя у теплоту. Найчастіше тертя зумовлене обертальним рухом в поєднанні з тиском, створюваним певними силами, рідше — коливальним рухом. Прилеглі до поверхні тертя зони швидко нагріваються з огляду на низьку теплопровідність полімерних матеріалів.

**Зварювання струмом високої частоти** характеризується перетворенням електричної енергії у теплову безпосередньо всередині зварювального матеріалу — діелектрика. Під дією змінного електричного поля відбувається зміна поляризації елементарних частинок в зоні зварювання з частотою підведення струму. Ці частинки зазнають коливань, внаслідок чого виникає тертя. Частота струму становить 13...80 МГц.

Розрізняють пресове та неперервне зварювання струмом високої частоти.

Пресове зварювання забезпечує отримання несучільних контактних швів у вигляді кола, трикутника, квадрата тощо, тобто шов є відтворенням конфігурації робочої поверхні електродів, між якими затиснуті зварювані листи.

Неперервне зварювання полягає в тому, що листи, складені внакладку, пропускають між обертальними металевими роликами, до яких підводиться високочастотний струм, внаслідок чого утворюється шов.

Струмом високої частоти зварюють заготовки завтовшки до 5 мм. В них контактні поверхні не перегріваються, а міцність шва дорівнює міцності зварюваного матеріалу. Процес високопродуктивний, особливо, якщо зварюють роликівими електродами.

## Контактне зварювання та зварювання тертям

### *Контактне електричне зварювання*

Суть *контактного електричного зварювання* полягає в тому, що заготовки нагрівають у зоні з'єднання електричним струмом до пластичного стану або до часткового розплавлення і пластично деформують, щоб зблизити з'єднувані поверхні до відстаней міжатомної взаємодії.

Необхідна для зварювання кількість теплоти виділяється в результаті проходження через заготовки значної сили струму (іноді десятки тисяч і на-віть сотні тисяч ампер). Оскільки опір в контакті заготовок найвищий (що зумовлено неповним приляганням з'єднуваних поверхонь, їх забрудненням і наявністю оксидів), то контакт заготовок нагрівається найбільше.

Розрізняють три основні види електроконтактного зварювання: стикове, точкове і шовне.

*Стикове зварювання* — з'єднання заготовок по всій площі їх стикування. Стиковим зварюванням з'єднують заготовки у вигляді стрижнів, труб, рейок залізничних колій, арматури залізобетонних виробів та ін.

*Точкове зварювання* — це вид з'єднання листових заготовок завтовшки 0,5...5 мм на окремих обмежених ділянках стикування. Так з'єднують заготовки із вуглецевих і легованих сталей, сплавів міді та алюмінію. Заготовки затискають між мідними електродами, до яких подають електричний струм від трансформатора протягом часу, необхідного для утворення частково розплавленого ядра металу, який остигає після вимкнення струму, утворюючи зварну точку.

*Шовне зварювання* — це з'єднання листових заготовок суцільним або переривчастим швом. Товщина заготовок становить 0,5...3,0 мм, їх матеріал — низьковуглецеві та леговані сталі, сплави алюмінію, магнію, а також міді і титану.

Листові заготовки переміщуються під двома роликками, до яких підводять струм від трансформатора. Зварювальний струм подають неперервно, коли потрібен суцільний шов, або періодично, якщо потрібен переривчастий шов.

Шовним зварюванням з'єднують бензобаки, бочки та їм подібні переважно листові вироби.

### *Зварювання тертям*

*Зварювання тертям* відбувається у твердому стані під дією стискування і теплоти, що виникає від тертя на контактних поверхнях заготовок.

Заготовки у вигляді стрижнів або труб торцями складають встик, одну з них або обидві обертають, прикладаючи осьові сили. Від тертя метал у зоні контакту нагрівається в тонких поверхневих шарах до температури 950...1300 °С. Після надійного з'єднання обертання раптово припиняють, а стискальні напруження на деякий час підвищують.

Цим способом зварюють вироби з однорідних і різнорідних металів, а також з металів і кераміки. Серед них свердла, мітчики, кінцеві фрези, клапани двигунів внутрішнього згорання та ін. Одну частину виробу виготовляють з дорогої високолегованої сталі, а іншу — з дешевої вуглецевої або легованої.

## Газове зварювання

### *Гази, що застосовуються при зварюванні*

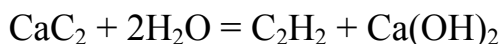
При газовому зварюванні плавленням для місцевого нагрівання з'єднаних деталей використовують тепло реакцій горіння газів в струмені кисню; при цьому утворюється факел полум'я з дуже високою температурою. В момент розплавлення основного металу в полум'я вносять пруток з присадкового матеріалу, який також плавиться і утворює разом з основним розплавленим металом зварне з'єднання.

Газове зварювання дає більш плавне нагрівання, ніж електродугове. Газове зварювання широко використовують при ремонті і виготовленні тонкостінних виробів зі сталі (товщиною від 0,2 до 5 мм) і сплавів кольорових металів, наплавочних роботах, виправленні дефектів чавунного і сталевих литва.

В якості горючих газів можуть бути використані ацетилен  $C_2H_2$ , водень  $H_2$ , природний газ (що містить приблизно 94 %  $CH_4$ ), нафтогаз, пари бензину і гасу. В зварювальному виробництві зазвичай використовують ацетилен; при горінні в технічно чистому кисні він дає найбільш високу температуру полум'я ( $3200^\circ C$ ). Запалюється ацетилен при  $420^\circ C$ , стає вибухонебезпечним при стисканні понад 0,18 МПа, а також при тривалому контакті з міддю і сріблом.

### *Обладнання для газового зварювання*

*Ацетилен* отримують з карбіду кальцію при взаємодії останнього з водою. Реакція протікає з виділенням значної кількості тепла



Ацетилен для зварювання потрапляє з генератора, в якому його отримують, або з металевих балонів. В балонах ацетилен знаходиться в суміші з ацетоном під тиском 1,5-1,6 МПа. Для безпеки балон з ацетиленом заповнюють деревним вугіллям, який створює систему капілярних судин.

Ацетиленові генератори можуть бути пересувними і стаціонарними.

Технічний *кисень* (98,5 - 99,5 %) поступає до зварювального поста по трубопроводах під тиском 0,5-1,6 МПа. В балоні кисень знаходиться під тиском до 15 МПа і містить 6 м<sup>3</sup>. Латунний вентиль балона має боковий штуцер для приєднання редуктора.

Через те що деякі речовини (жири, масла) в середовищі стисненого кисню здатні самозапалюватися, при роботі з кисневими балонами необхідно дотримуватися особливої обережності.

Для зниження тиску газу до робочого та для підтримання його постійним в процесі зварювання використовують *редуктори*.

З редукторів балонів кисень і горючий газ окремо потрапляють в *зварювальний пальник*. Пальник призначений для правильного змішування кисню з горючим газом, подачі горючої суміші до місця зварювання і створення концентрованого полум'я необхідної потужності. Пальники за принципом дії

поділяються на інжекторні і безінжекторні. Більш поширені інжекторні пальники.

В інжекторному пальнику кисень під тиском 0,1...0,4 МПа з великою швидкістю виходить з каналу інжектора і потрапляє в змішувальну камеру, куди через кільцевий канал засмоктується пальний газ. Одержана горюча суміш потрапляє в мундштук і згорає, утворюючи високотемпературне полум'я.

При запалюванні пальника спочатку на чверть оберту відкривають вентиль кисню, потім відкривають вентиль ацетилену і підпалюють газову суміш що виходить з мундштука. Після цього негайно приступають до регулювання зварювального полум'я. При гасінні пальника спочатку закривають ацетиленовий вентиль, а потім кисневий.

### ***Газове різання металів***

***Газове різання*** є одним з поширених способів термічного різання металів. Суть цього способу в тому, що метал в зоні різання нагрівають газокисневим полум'ям до температури горіння (запалювання), після чого подають струмінь кисню, в якому згорає метал і видуваються утворені оксиди.

Газове різання можливе лише в тих металах, які мають температуру згорання нижче температури плавлення. Такими металами і сплавами є залізо, вуглецева сталь з вмістом вуглецю до 0,7 %, деякі сорти легованої сталі.

Різання заліза і сталі здійснюється спеціальними різальними горілками – різачками. Різак відрізняється від пальника наявністю спеціального каналу для підведення струменю кисню.

Газове різання поділяється на ручне і машинне.

При машинному різанні рух різачка по лінії різку механізовано, і різ отримують більш точним, внаслідок відсутності вібрацій і нерівномірності швидкості руху. Є машини з фотоелектронним копіюванням контуру вирізки по кресленню: машини для різання листів, машини з дистанційним керуванням.

***Термічне різання*** високолегованих хромонікелевих корозійностійких сталей, чавуну, кольорових металів можна виконати способом киснево-флюсового різання. Суть його полягає в тому, що в зону різання разом з киснем вводиться порошковий флюс, основним компонентом якого є залізний порошок. При згорянні заліза виділяється додаткова теплота і утворюються легкоплинні шлаки, які видаляються із зони різання. При різанні кольорових металів до складу шлаку вводять також алюмінієвий порошок або кварцовий пісок.

### ***Дугове та променеве різання металів***

Електрична дуга як потужне концентроване джерело тепла може бути використана для різання металу. ***Ручне дугове різання*** проводиться з силою струму на 20...30 % більшою ніж при зварюванні. Різання можна виконувати плавкими або неплавкими електродами. Для видалення розплавленого металу можна застосовувати стиснене повітря. Якість поверхні після різання низька.

***Плазмове різання*** ґрунтується на тому, що метал розплавляється та видувається із зони різання струменем розігрітої плазми. Практично всі метали можна розрізати плазмовим різанням. Як плазмоутворюючі гази застосовуються азот, водень, аргонноводневу суміш.

Висока концентрація енергії *лазерного променя* дозволяє використовувати його для різання різних матеріалів, в т. ч. неметалевих. Лазерним променем можна розрізувати метали, скло, кераміку, алмази. Під дією лазерного променя відбувається плавлення і випаровування матеріалу із зони різання. Прорізь утворюється вузькими та дуже точними.

### **Паяння металів і сплавів**

*Паяння* – з'єднання металевих деталей в твердому стані за допомогою присадкового сплаву (*припою*). При паянні плавиться лише присадковий метал, який має температуру плавлення нижчу основного металу.

Для одержання міцного з'єднання необхідно, щоб припій добре змочувався поверхнею з'єднуваних металів, мав якісну взаємодію і утворював з ним розчини. Чим вище ступінь взаємної дифузії між розплавленим припоєм і основними металами, тим вищою є механічна міцність з'єднання. Крім того, міцність паяння залежить від чистоти поверхні з'єднуваних деталей. Тому поверхню виробу попередньо чистять, обезжирюють і вилучають окисли.

За допомогою паяння можна з'єднати деталі з вуглецевої і легованої сталі всіх марок, кольорових металів і сплавів, а також з різнорідних металів і сплавів.

### ***Припої***

Для паяння використовують припої двох видів:

- м'які з низькою температурою плавлення (до 400 °С) і відносно малою механічною міцністю з'єднання;
- тверді з високою температурою плавлення (до 900 °С) і високою механічною міцністю з'єднання.

М'які припої, до яких відносять сплави на олов'яній, свинцевій, кадмієвій, вісмутовій і цинковій основах, використовують в тому випадку, коли шов повинен забезпечувати герметичність з'єднання при відносно невисокій механічній міцності (межа міцності шва 30÷100 МПа). Часто застосовують олов'яно-свинцеві припої ПОС-61, ПОС-40 з вмістом олова 61% 40% відповідно.

Тверді припої, до яких відносять сплави на мідній, срібній, алюмінієвій, магнієвій і нікелевій основах, використовують для отримання міцних швів (межа міцності шва може сягати до 700 МПа). Твердими припоями можна паяти мідь, латунь, бронзу, сталь, чавун і інші сплави, крім алюмінію і його сплавів.

### ***Технологічний процес паяння***

Технологічний процес паяння м'яким припоєм включає підготовку поверхні деталей і власне паяння. Підготовка поверхні деталей складається з підгонки з'єднуваних деталей, механічному очищенні від бруду, жирів і оксидних плівок, покритті очищених поверхонь флюсом.

*Флюси* використовують для захисту очищених поверхонь від окислення та для поліпшення змочування рідким припоєм з'єднуваних металів. При паянні м'яким припоєм в якості флюсів найчастіше використовують соляну, фосфорну кислоти, хлористий цинк, суміш хлористого цинку з хлористим амонієм або каніфоль. Іноді використовують також пастоподібні флюси.



Для здійснення паяння паяльник нагрівають до 250-300 °С, робочим кінцем занурюють у флюс, залуднюють припоєм і розігрівають підготовлені до паяння деталі в місцях з'єднання. Одночасно на шов наносять припій, який розплавляють паяльником і вводять в зазор, де він, охолоджуючись, утворює шов. Міцність з'єднання 50-70 МПа.

При паянні твердими припоями раніше підготовлені і оброблені флюсом частини виробів нагрівають разом з припоєм до температури плавлення. В якості флюсів використовують буру ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ), сіль борної кислоти ( $\text{Na}_2\text{BO}_3$ ), фтористий калій (KF) тощо. Міцність з'єднання 450 МПа.

### ***Дефекти зварних з'єднань та методи контролю***

***Дефектами зварних з'єднань*** є тріщини, порожнини, неметалеві вкраплення, непровари, пропалини та ін. Дефекти виникають переважно внаслідок порушень технології зварювання.

***Контроль якості зварних з'єднань*** — це виявлення їх дефектів зовнішнім оглядом, ультразвуком, радіаційними методами, кольоровою дефектоскопією, магнітним методом, з гасом, рідиною або газом під тиском.

***Зовнішній огляд*** зварного з'єднання необхідно робити завжди. Перед цим шви очищають від шлаку та забруднень.

***Ультразвуковий контроль*** ґрунтується на здатності ультразвукових хвиль прямолінійно поширюватись в однорідному металі і відбиватись від границь дефектів. Відбиті хвилі підсилюються і сигнал від них скеровується в осцилограф, за допомогою якого розпізнають вид дефекту (пора, тріщина, неметалева вкраплення), його величину й місце перебування.

***Для радіаційного контролю*** використовують рентгенівські або  $\gamma$ -промені від ізоотопів, які скеровують на шов, а далі — на фотоплівку.

***Кольорова дефектоскопія*** використовує забарвлену рідину, яка проникає в несучільні дефекти, що виходять на поверхню. За 10...15 хв з поверхні шва зливають забарвлену рідину, а на її місце наносять білу фарбу, яка має адсорбенти, що вбирають цю рідину з порожнин.

***Магнітний метод*** передбачає намагнічування зварного з'єднання, посипання його поверхні магнітним порошком і виявлення за допомогою порошку магнітного розсіювання на дефектах.

***Контроль гасом*** полягає у змочуванні ним поверхні шва, з протилежного боку якого нанесена крейда. За наявності у шві наскрізних несучільностей на крейді утворюються темні гасові плями.

Резервуари й трубопроводи перевіряють на герметичність ***під тиском рідини*** або ***повітря***. У місцях наскрізних дефектів протікає рідина або виходить газ. Щоб побачити вихід газу, поверхню шва змочують мильною водою або виріб занурюють у воду. Про негерметичність свідчить поява газових бульбашок.

***Контроль аміаком***. Зварені вироби з порожнинами заповнюють стисненим повітрям з додаванням 1 % аміаку, а шви обгортають папером, просякнутим 50%-м розчином азотнокислої ртуті. При наявності нещільностей на папері з'являються чорні плями.

**Люмінесцентний метод.** Деталь занурюють на 20-30 хвилин в суміш гасу і масла, а потім витирають насухо і занурюють в порошок магнезії, який прилипає в місцях появи масла (над тріщинами).

**Металграфічний контроль.** Визначають макро- і мікроструктуру металу, а також пори, тріщини, раковини, непровари, перепал, перегрівання, нітриди і інші дефекти зварного шва.

## 4. Неметалеві конструкційні матеріали

### Тема 4.1. Пластичні маси.

Пластичною масою називають матеріал, основою якого є полімер, що перебуває під час формування виробу у в'язкорідинному чи високоеластичному стані.

#### Загальні відомості про пластмаси

Сировиною, з якої отримують синтетичні високомолекулярні матеріали, є нафта, природний газ, кам'яне вугілля, сланці. Основні позитивні властивості пластмас: простота виготовлення з них виробів, низька густина, значна стійкість проти агресивних середовищ, добрі діелектричні та теплоізоляційні властивості, а також задовільні міцність і жорсткість. Залежно від кількості компонентів пластмаси поділяють на однокомпонентні та композитні.

**Однокомпонентні пластмаси** складаються з одного компонента — високомолекулярної сполуки (наприклад, поліетилену, поліпропілену, полівінілхлориду, полістиролу тощо).

**Композитні (складні) пластмаси**, крім високомолекулярної сполуки, містять ще й інші компоненти (пластифікатори, зміцнювальні та мастильні речовини, каталізатори, барвники, стабілізатори, антипірени, антистатика, пороутворювачі) сумарною кількістю 20...80 % за об'ємом.

**Високомолекулярні сполуки** в полімерних композитних матеріалах виконують роль матриці, тобто зв'язувальної речовини, їх отримують внаслідок реакції полімеризації або поліконденсації.

**Полімеризація** — утворення високомолекулярної сполуки (полімера) із низькомолекулярних сполук (мономерів), під час якого не виділяються побічні продукти реакції. Прикладом реакції полімеризації може бути утворення твердої високомолекулярної речовини поліетилену  $(-CH_2-CH_2-)_n$  з n-ної кількості молекул мономера у вигляді газу етилену  $CH_2 = CH_2$  при підвищених тиску й температурі.

Отже, молекули мономера послідовно з'єднуються між собою, утворюючи довгі ланцюгові макромолекули нової речовини такого самого складу, як і мономер. Знак „—" означає ковалентний зв'язок, при якому два електрони стають спільними для сусідніх атомів. Кількість молекул мономера в одній макромолекулі полімера становить  $10^3 \dots 10^5$ .

**Поліконденсація** — утворення високомолекулярної сполуки (полімера) із низькомолекулярних сполук (мономерів), яке супроводжується здебільш виділенням побічних речовин ( $H_2O$ ,  $HCl$ ,  $NH_3$  та ін.). Внаслідок поліконденсації, наприклад, утворюється смола з фенолу і формальдегіду.

**Зміцнювальні** компоненти (наповнювачі) — органічні й неорганічні речовини у вигляді порошоків, волокон або листів, що додаються для підвищення міцності, жорсткості, теплостійкості, зменшення усадки, а також зниження вартості пластмаси.

**Пластифікатори** підвищують пластичність й полегшують переробку пластмас у виробі. Водночас пластифікатори зменшують міцність і жорсткість пластмаси. До них належать малолеткі органічні речовини типу гліцерину та касторової олії, які проникають у пластмасу, зменшуючи взаємодію між молекулами.

**Масильні** речовини (стеарин, олеїнова кислота та ін.) усувають прилипання матеріалу до прес-форми та збільшують його текучість, зменшуючи тертя між частинками композиції.

**Каталізатори** (уротропін, оксиди металів) прискорюють твердіння пластмаси.

**Барвники** (пігменти, природні лаки) надають пластмасовим виробам естетичного вигляду.

**Стабілізатори** (нафталін, сажа, антрацен) — речовини, що сповільнюють атмосферне старіння пластмас під дією світла, теплоти, кисню та озону. Старіння супроводжується поступовою зміною структури і погіршенням властивостей матеріалу.

**Антипірени** (ізоціаніти, сполуки стибію) зменшують горючість полімерів.

**Антистатиками** перешкоджають виникненню й нагромадженню статичного електричного заряду у виробі з полімерних матеріалів.

Види компонентів та їх кількісне співвідношення впливають на властивості пластмас.

**Пороутворювачі** — речовини, які розпадаються під час нагрівання, виділяючи гази, що спінюють смолу, внаслідок чого утворюється пориста структура в поро- та пінопластах.

За формою макромолекул розрізняють полімери лінійної, розгалуженої, сітчастої та просторової будови.

Залежно від поведінки під час нагрівання та твердіння пластмаси поділяють на термопластичні й терморективні.

### **Термопластичні пластмаси**

**Термопласти** під час кожного нагрівання спочатку розм'якають і переходять у рідкотекучий стан, а під час охолодження тверднуть. Вони мають порівняно невисоку верхню межу робочої температури. З-поміж термопластів найпоширенішими є поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид, полістирол. Промислове значення мають також політетрафторетилен, органічне скло та інші.

**Поліетилен**  $(-CH_2-CH_2-)_n$  — продукт полімеризації етилену. Залежно від тиску, під яким відбувається полімеризація, розрізняють поліетилен високого тиску (ПЕВТ), поліетилен середнього тиску (ПЕСТ) й поліетилен низького тиску (ПЕНТ). Поліетилен — дешевий, нетоксичний матеріал, без запаху, хімічно тривкий, не змочується водою, прозорий у тонкому й непрозорий у товстому шарі, легко переробляється, добрий діелектрик. Його можна експлуатувати в

межах температур від -60 до 100 °С. До недоліків належать здатність поліетилену старіти під впливом сонячного світла, горючість і мала міцність.

Поліетилен використовують для виготовлення плівок, листів, труб, різних місткостей, ізоляції електропроводів тощо. Покриття з поліетилену захищає метал від корозії.

**Поліпропілен**  $(-CH_2-CHCH_3-)_n$ , утворюється внаслідок полімеризації пропілену. Порівняно з поліетиленом він міцніший, жорсткіший, теплостійкіший і характеризується меншою густиною. Поліпропілен прозорий, але може бути забарвлений у будь-який колір, нетоксичний, хімічно тривкий, має добрі діелектричні властивості, витримує температуру до 120...150 °С. Головний недолік поліпропілену — погана морозостійкість (-5...-15 °С).

Використовується для виробництва текстильних і технічних волокон, труб, посуду, корпусів акумуляторів, електроізоляції, деталей автомобілів, холодильників, меблів і телефонів.

**Полівінілхлорид**  $(-CH_2-CHCl-)_n$  — продукт полімеризації вінілхлориду. Полівінілхлорид (ПВХ) за обсягами виробництва стоїть на другому місці після поліетилену. Він добрий діелектрик, не токсичний, стійкий до старіння і до дії багатьох хімікатів. Залежно від складу пластмаси на основі ПВХ розрізняють непластифікований і пластифікований полівінілхлорид.

**Непластифікований полівінілхлорид**, або **вініпласт**, має високу міцність і пружність, застосовується для виготовлення труб, деталей насосів, профільних елементів меблів.

**Пластифікований вінілхлорид**, або **пластикат**, отримують, пластифікуючи ПВХ поліефірами чи синтетичними каучуками. Пластифікований полівінілхлорид використовують при виробництві лінолеуму, штучної шкіри, плівок, електроізоляції проводів і кабелів.

**Полістирол**  $(-CH_2-CHC_6H_5-)_n$  — продукт полімеризації стиролу. Він твердий, жорсткий, прозорий, хімічно тривкий у розчинах багатьох лугів і кислот. Витримує температуру від -20 до 80 °С, має добрі діелектричні показники, набуває забарвлення різного кольору. Полістирол використовують для виготовлення корпусів телевізорів, деталей холодильників, меблевої фурнітури, підносів, футлярів, канцелярських товарів, гудзиків, електроізоляційних плівок і багатьох деталей в електро- і радіотехнічній промисловості. Недоліки полістиролу — низька теплостійкість і швидке старіння.

**Пінополістирол** — пластик на основі полістиролу, порожнини якого наповнені газом, внаслідок чого він має низьку густину, добрі тепло- та звукоізоляційні властивості. Використовуються як тепло- й звукоізолятор у будівництві, літако- й суднобудуванні, холодильній техніці.

**Політетрафторетилен**. Високотривкий до будь-яких розчинників, добрий теплоізолятор й діелектрик, має низький коефіцієнт тертя (0,04). Його діапазон робочих температур від -26 до 260 °С. З політетрафторетилену виготовляють прокладки, манжети, радіотехнічні вироби, хімічно тривкі деталі, підшипники, що не потребують змащування, пористі вироби, а також протези людських органів.

**Поліметилметакрилат** або органічне скло. Він оптично прозорий, доволі міцний, добрий електроізолятор. Від силікатного скла відрізняється низькою густиною й підвищеною пластичністю. Недоліки органічного скла — невисока твердість і теплостійкість (при температурі 90 °С воно починає розм'якати). Використовується як листове скло (в т.ч. для літаків), для виготовлення лінз, призм, шкал, футлярів тощо.

### **Термореактивні пластмаси**

**Реактопласти** під час нагрівання спочатку розм'якають, а згодом при певній температурі тверднуть внаслідок утворення міцних ковалентних поперечних зв'язків між макромолекулами. Деякі термореактивні полімери (наприклад епоксидні смоли) тверднуть під дією затверджувача навіть при кімнатній температурі. Затверділі реактопласти неможливо перевести, повторно нагріваючи, у рідкотекучий стан. Реактопласти відрізняються від термопластів вищою теплостійкістю, нерозчинністю і стабільністю властивостей в робочому інтервалі температур. Найпоширенішими синтетичними полімерами для термореактивних пластмас є карбамідоформальдегідні, меламіноформальдегідні та епоксидні смоли.

**Карбамідоформальдегідні смоли** — продукти поліконденсації карбаміду з формальдегідом. Каталізаторами затвердіння є органічні кислоти (соляна, фосфорна) та деякі солі. Карбамідоформальдегідні смоли світлостійкі, добре забарвлюються і зберігаються. На їх основі виробляють полімерні композитні матеріали з порошкоподібними, волоконними й шаруватими зміцнювачами, а також клеї, лаки, фарби та емалі. Основним споживачем карбамідоформальдегідних смол є деревообробна промисловість.

**Меламіноформальдегідні смоли** — продукти поліконденсації білого кристалічного порошку — меламіну а формальдегідом. Ці смоли тверднуть і при кімнатній температурі, і під час нагрівання. З них виготовляють полімерні композитні матеріали, клеї, лаки та емалі.

**Фенолоформальдегідні смоли** отримують поліконденсацією фенолу з формальдегідом. З фенолоформальдегідних смол виготовляють композитні полімерні матеріали, а також клеї, лаки, електротехнічні деталі й шліфувальні круги.

**Епоксидні смоли** — продукти поліконденсації епіхлоргідрину з дифенілпропіленом. Вони термопластичні, але після додавання до їх складу затверджувача стають термореактивними. Ці смоли мають добрі адгезійні, механічні й діелектричні властивості, тверднуть в холодному і нагрітому стані. З них виготовляють клеї, лаки, шаруваті пластмаси.

### **Виготовлення виробів з полімерних матеріалів**

Перехід термопластів від твердого до високоеластичного або до в'язкорідкого стану відбувається завдяки нагріванню. І навпаки, завдяки охолодженню термопласти або вироби з них спочатку переходять від в'язкорідкого до високоеластичного, а далі до твердого стану. У разі

необхідності термопласти можна повторно нагрівати й переробляти у виробі. Заготовки з термопластів піддаються також зварюванню й обробці різанням.

Для тверднення термореактивної зв'язувальної речовини не потрібне охолодження; тут процес супроводжується хімічними реакціями з утворенням просторової молекулярної структури, Реактопласти з такою структурою незворотно втрачають здатність переходити у високоеластичний стан. У твердому стані їх можна обробляти різанням.

Фізичний стан зв'язувальної речовини, вигляд зміцнювального матеріалу (порошок, волокно, тканина) та деякі інші фактори впливають на вибір того чи іншого способу формоутворення деталей. Переважно ці способи визначаються невеликою кількістю операцій, низькою трудо- і енергоємністю та незначними відходами.

### ***Виготовлення виробів на основі рідких полімерів***

Часто для виготовлення деталей з полімерних композитних матеріалів як зв'язувальну речовину використовують поліефірні та епоксидні смоли. Наповнювачами служать переважно скляні, а також вуглецеві, борні й органічні волокна та тканини на їх основі. Поліефірні та епоксидні смоли тверднуть без тиску або під невисоким тиском при кімнатній температурі під дією затверджувачів й пришвидшувачів процесу.

Основними способами виготовлення деталей зі склопластиків є вільне лиття, контактне формування, вихрове напилення, намотування і відцентрове лиття.

***Вільним литтям*** виробляють деталі простої конфігурації, заливаючи заздалегідь приготовлену з потрібних компонентів полімерну суміш у холодну або гарячу форму, де ця суміш твердне без прикладення тиску. Полімерна суміш складається з поліефірної або епоксидної смоли, затверджувача, наповнювача, іноді пришвидшувача тверднення та барвника. Маса деталі обмежується декількома десятками кілограмів. Ливарні форми виготовляють зі сталі, сплавів кольорових матеріалів, гіпсу або деревини.

***Контактним формуванням*** вручну виробляють деталі з полімерних композитних матеріалів у спеціальних формах. Форму виготовляють з деревини, гіпсу або металу. На робочу поверхню наносять роздільний шар із полівінілового спирту, нітролаку або целофанової плівки, який запобігає прилипанню смоли до поверхні форми. Пульверизатором наносять рідку смолу із затверджувачем і на цей шар накладають наповнювач — склотканину. Кількість шарів залежить від необхідної товщини стінки деталі.

Спосіб контактного формування характеризується простотою устаткування, проте він низькопродуктивний й не забезпечує достатньо високої якості виробів. Контактним формують такі великогабаритні деталі як корпуси байдарок й хімічних апаратів, кузови спортивних автомобілів та ін. в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва.

Під час ***вихрового напилення*** машинним способом наносять одночасно на поверхню форми смолу, затверджувач і подрібнене волокно, після чого обкочують отриманий шар гумовим роликком. Довжина подрібнених скловолокон становить 90...100 мм, а його об'ємна частка в напиленому шарі не

перевищує 30 %. Цей спосіб продуктивніший порівняно з контактним формуванням і використовується у серійному виробництві великогабаритних деталей.

**Намотування** полягає у тому, що на оправку неперервно укладають просочений зв'язкою наповнювач у вигляді волокна або стрічки. Сформовану деталь разом з оправкою поміщають у камеру тверднення. По закінченні технологічного циклу оправку виймають.

Намотування — один з найдосконаліших способів створення порожнистої високоміцної деталі з полімерного композитного матеріалу. В автомобілебудуванні цим способом виготовляють, наприклад, карданний вал автомобіля „Toyota”, в авіабудуванні — секції трансмісійного вала, лопаті та носову його частину, балони високого тиску тощо.

**Відцентровим литтям** у обертальній формі виготовляють вироби великих розмірів, що мають вигляд тіл обертання. В порожнину форми завантажують рідку зв'язувальну речовину та подрібнене скловолокно. Під дією відцентрових сил полімерна суміш притискається до стінки форми й ущільнюється. Після завершення процесу форму зупиняють і виймають виріб.

### **Формування деталей з полімерів у в'язкорідкому стані**

У **в'язкорідкому стані** формують деталі способом гарячого пресування, литтям під тиском, екструзією тощо.

**Гарячим пресуванням** виготовляють деталі переважно з реактопластів, зв'язувальна речовина яких під дією теплоти переходить у в'язкорідкий стан, а під кінець технологічного циклу твердне, утворюючи просторову структуру. Охолодження деталі відбувається поза пресформою.

**Прес-форма** є штамповим інструментом, що складається з двох головних частин — матриці, закріпленої на столі гідравлічного преса, і пуансона, закріпленого на повзуні. У порожнину розкритої прес-форми насипають задану дозу полімерної суміші у вигляді порошку, гранул або таблеток. Щоб скоротити тривалість технологічного циклу, полімерну суміш перед завантаженням у прес-форму нагрівають до температури 80...150 °С. Тиск 15...80 МПа на полімерну суміш створює пуансон, опускаючись у нижнє положення.

Прес-форми виготовляють з інструментальних сталей, їх формоутворювальні поверхні полірують і хромують, щоб забезпечити високу якість отримуваних деталей.

Гарячим пресуванням виробляють деталі середньої складності з феноло- і амінопластів, зокрема корпуси телевізорів, радіоприймачів, телефонів.

**Литтям під тиском** виготовляють деталі складної конфігурації з термо- і рідше з реактопластів, які перебуваючи у в'язкорідкому стані, заповнюють робочу порожнину прес-форми і гверднуть там під тиском.

Завдяки нагріванню полімерної суміші до температур 150...300 °С і значному тиску добре заповнюється порожнина прес-форми й тому формуються деталі з високою якістю поверхні та точними розмірами.

**Екструзія** — це поширений й високопродуктивний спосіб витискання полімерного матеріалу (переважно термопласту) у в'язкорідкому стані крізь отвір, що відповідає поперечному перерізові виробу.

Полімерний матеріал у вигляді гранул або порошку завантажують у бункер шнекової машини неперервної дії — екструдера. Бункер сполучений з порожниною робочого циліндра, в якому обертається шнек. Шнек пересуває полімерний матеріал уздовж осі циліндра, перемішує його й ущільнює. Завдяки теплоті, що передається від електронагрівача і теплоті, що виникає внаслідок тертя, полімер переходить у в'язкорідкий стан і витискається назовні крізь калібрувальний отвір головки. Далі виріб охолоджують у водяній ванні й ріжуть на заготовки заданої довжини або змотують у бухти. Щоб змінити профіль виробу, необхідно замінити головку і оправку. Екструзією виробляють фасонні прутки з однаковою формою поперечного перерізу по всій довжині, а також труби, листи; наносять ізоляцію на електропровідний дріт.

У **високоеластичному** стані виготовляють деталі з термопластів способом штампування.

**Штампування** — це спосіб виготовлення тиском деталей об'ємної конфігурації з листових термопластів, доведених нагріванням до високоеластичного стану й охолоджених у штампі.

## Тема 4.2. *Композиційні матеріали.*

**Композитними** називають штучно створювані матеріали, що складаються з двох або більше хімічно різних компонентів, істотно відмінних за властивостями й розділених добре вираженою міжкомпонентною границею. Будь-який композитний матеріал (КМ) складається з неперервної в усьому його об'ємі матриці та зміцнювального компонента (арматури), розміщеного в ній за заданою закономірністю.

**Матриця** — це порівняно пластичний матеріал, вона надійно з'єднана зі зміцнювальним компонентом, надає готовому виробу потрібної форми, міцності та жорсткості й захищає зміцнювальний компонент від можливих пошкоджень.

Матеріал матриці визначає загальну назву КМ, з огляду на що розрізняють композитні матеріали з металевою матрицею або **металеві композитні матеріали (МКМ)**, з полімерною матрицею — **полімерні композитні матеріали (ПКМ)** та з керамічною матрицею — **керамічні композитні матеріали (ККМ)**.

**Зміцнювальний компонент** повинен мати високу міцність і жорсткість, малу густину, добру хімічну тривкість й температурну стійкість, а також, максимально досягну технологічність. Для армування композитних матеріалів застосовують порошкові компоненти, волоконні та шаруваті компоненти.

Порошкові зміцнювальні компоненти — це зазвичай тверді важкоплавкі дрібні частинки карбідів, оксидів, нітридів, що не розчиняються у матриці в усьому інтервалі температур експлуатації КМ. Зі зменшенням їх розмірів і відстаней між ними підвищується міцність композитного матеріалу.



До волоконних компонентів належать неперервні та короткі волокна неорганічного й органічного походження, металевий дріт і сітки на їх основі. Волокна в МКМ гальмують поширення тріщини в напрямку, перпендикулярному до них, і практично виключають раптове руйнування конструкції. Міцність волоконподібних кристалів залежить від гладкості їх поверхні та площі поперечного перерізу. Чим рівніша поверхня волокна, тим менше мікрodefektів на його поверхні і воно міцніше.

Як пластинчастий (шаруватий) зміцнювальний компонент використовують, наприклад, тканину, шпон, папір.

### **Дисперснозміцнені МКМ**

Структурною особливістю *дисперснозміцнених металевих композитних матеріалів* є спеціально введені в матеріал матриці дуже дрібні тугоплавкі частинки карбідів, оксидів, нітридів та ін., що не розчиняються в ній. Ці частинки характеризуються високою твердістю, хімічною тривкістю і модулем пружності та низькою густиною. Що дрібніші зміцнювальні частинки, менші відстані між ними й рівномірніше вони розподілені в матриці, то краще вони блокують рух дислокацій, підвищуючи міцність і жорсткість МКМ. Дисперснозміцнені МКМ можна виготовити на основі більшості застосовуваних у техніці металів і їх сплавів з використанням порошкових технологій. Металева матриця порівняно з іншими матрицями характеризується підвищеною міцністю, жорсткістю, електро- і теплопровідністю та задовільною пластичністю. У промисловості використовують дисперснозміцнені матеріали на основі алюмінію, берилію, заліза, кобальту, магнію, нікелю, вольфраму та ін.

Представником найпоширенішого виду МКМ *на основі алюмінію* є матеріали типу **САП** (спечена алюмінієва пудра). Матрицею служить алюміній, зміцнювальним компонентом — частинки оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ . Алюмінієва пудра з частинками завбільшки 1 мкм збагачується оксидом алюмінію під час її мелення в кульових млинах, де концентрація кисню менша, ніж в атмосфері. Виготовлення виробів з порошків  $Al$  і  $Al_2O_3$  відбувається завдяки пресуванню й подальшому спіканню.

Матеріали типу САП (САП-1, САП-2, САП-3) містять 6...17 %  $Al_2O_3$ . Зі збільшенням об'ємної концентрації оксиду алюмінію зростають міцність, твердість і жаростійкість і знижується пластичність САП. При температурах експлуатації 300... 500 °С САП перевищують за жаростійкістю всі деформовні промислові сплави алюмінію.

САП добре деформуються у гарячому стані, обробляються різанням, легко зварюються. З них виробляють профільні напівфабрикати, листи, фольгу і штамповки. САП успішно застосовують для деталей з високою питомою міцністю й корозійною тривкістю (штоки поршнів, лопатки компресорів, труби теплообмінників).

### **Волоконні МКМ**

Для *металевої матриці* найчастіше використовують алюміній, магній, титан, нікель, кобальт або сплави на їх основі. Армують МКМ високоміцними й високомодульними волокнами з бору, вуглецю, важкоплавких оксидів, карбідів,

нітридів, а також волокнами зі сталі, берилію, вольфраму. З огляду на істотну відмінність властивостей матриці й волокон МКМ з однонапрямленими волокнами анізотропні і найміцніші вздовж волокон. Волокна за об'ємом займають в МКМ від 10 до 75 %, вони добре сприймають осьові навантаження. У зв'язку з цим орієнтація волокон повинна збігатись з напрямом найбільших напружень.

Для виготовлення волоконних МКМ використовують рідкофазові (лиття) й твердофазові (деформування) процеси, порошкові технології тощо.

Застосування **алюмінію** та його сплавів марок АМц, АМг2, АМг6, АДЗЗ, Д16, В95 та ін. для матриці пояснюється їх низькою ціною, малою густиною, доброю корозійною тривкістю.

Найпоширенішим серед МКМ є бороалюміній ВКА-1. За міцністю при кімнатній температурі він перевищує конструкційні сплави алюмінію вдвічі, а за жорсткістю — у 3,5 разу. Волокна бору, що займають у матеріалі ВКА-1 об'єм від 40 до 50 %, високоміцні ( $\sigma_g = 2800...3500$  МПа). Їх недолік — підвищена крихкість і висока хімічна активність.

У МКМ **алюміній-вуглецеві** волокна поєднуються низька густина матриці та арматури з високою міцністю і жорсткістю волокон, внаслідок чого композит характеризується значними питомою міцністю та жорсткістю. Окрім цього, вуглецеві волокна добре проводять тепло й електричний струм. Міцність вуглецевих волокон становить 1500...3500 МПа і більше.

Армування алюмінієвих сплавів безперервними волокнами з таких важкоплавких матеріалів як бор, карбід кремнію, оксиди алюмінію істотно підвищує жароміцність МКМ.

Із МКМ алюмінієвий сплав-волокна SiC виготовляють труби, фасонні деталі, танкові траки, поршні для двигуна автомобіля тощо.

МКМ алюмінієва матриця-металевий дріт характеризуються підвищеними міцністю, модулем пружності та втомною міцністю. Металевий дріт використовують у вигляді волокон і сітки. Звичайно застосовують дріт  $\varnothing 20...1500$  мкм, з високовуглецевих або легованих сталей з межею міцності  $\sigma_g = 1800...3150$  МПа. Сталевий дріт належить до найдешевших зміцнювачів.

Перспективним зміцнювальним компонентом є берилієвий дріт з високою питомою міцністю й жорсткістю. Межа міцності берилієвого дроту  $\varnothing 50$  мкм становить  $\sigma_b = 1450$  МПа, а густина —  $1,84 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Зі сплавів алюмінію, армованих сталевим і берилієвим дротом, виготовляють деталі корпусів ракет й паливні баки літальних апаратів,

МКМ, матрицею яких є **технічний магній** чи його сплави, мають високу питому міцність, а також добру хімічну тривкість до більшості матеріалів волокон. Для армування матриці використовують волокна бору, вуглецю, оксиду алюмінію, карбід кремнію, сталевий і титановий дроти.

Відомі також магнієві композити, армовані волокнами SiC, дротом на основі титану або танталу. Всім їм властива висока хімічна стабільність.

МКМ на основі магнію, армовані сталевим дротом, мають високу міцність.

З волоконних композитних матеріалів на основі магнію виготовляють деталі літаків, космічних апаратів і ядерних реакторів.

Композитні матеріали на *основі титану* та його сплавів зміцнюються волокнами зі сплавів берилію, вольфраму, молібдену, бору, карбіду кремнію та оксиду алюмінію. Їх перевагою над МКМ з алюмінієвою та магнієвою матрицями є вищі температури окисації та корозійна тривкість. Серед недоліків МКМ з титановою матрицею — порівняно висока густина, вартість і технологічні труднощі, пов'язані з виготовленням виробів,

Найважливіші в техніці МКМ на основі *сплаву титану з алюмінієм і ванадієм* {90 % Ti, 6 % Al, 4 % V), армовані волокнами бору, берилію, карбіду кремнію. Оскільки сплави титану навіть без армування характеризуються підвищеною питомою міцністю, головна мета армування — збільшення модуля пружності й підвищення температурного інтервалу експлуатації МКМ до 700...800 °С.

МКМ на *основі нікелю* мають вищу окисаційну стійкість і жароміцність порівняно зі спеціальними нікелевими окисаційно стійкими й жароміцними сплавами. Зміцнювачами МКМ на нікелевій основі можуть бути волокна вуглецю, оксиду й нітриду алюмінію, карбіду й нітриду кремнію, карбіду бору та дріт з тугоплавких металів.

### **ПКМ з порошкоподібним зміцнювачем**

*Полімерна матриця* порівняно з металевією має меншу густину, вищу корозійну тривкість, кращі технологічні, тепло- та електроізоляційні властивості, а подекуди міцніша й жорсткіша. Недоліком більшості полімерних композитних матеріалів є порівняно невисока міцність зв'язку між матрицею та зміцнювальним компонентом, втрата основних властивостей під час підвищення температури до 100...200 °С і схильність до старіння в кліматичних умовах.

Матрицею є різні полімери: фенолоформальдегідні, епоксидні, поліефірні та деякі інші терморезистивні смоли і такі термопласти як поліетилен, поліпропілен, полістирол, поліаміди тощо. Порошкоподібними зміцнювальними компонентами, або наповнювачами служать тонко-дисперсні частинки сажі, оксиду кремнію, деревинної муки, крейди, тальку, графіту, металів. Розмір частинок наповнювача здебільшого не перевищує 40 мкм. Порошкоподібний зміцнювач підвищує міцність, твердість і жорсткість, зменшує усадку, а в окремих випадках надає виробам з ПКМ специфічних властивостей, зокрема заданих тепло- й електропровідності.

### **Волоконні ПКМ**

*Матрицею* служать епоксидні, фенолоформальдегідні, поліефірні та інші смоли. Зміцнювальним компонентом волоконних полімерних композитних матеріалів є органічні, вуглецеві, борні, а також скляні волокна й металевий дріт.

*Органічні волокна* виробляють з льону, бавовни, лавсану, капрону, нейлону та ін.

*Скловолокна* мають високу міцність ( $\sigma_b = 3000...5000$  МПа), задовільну теплостійкість (350...550 °С), добру корозійну тривкість, низьку тепло- та електропровідність.

Найпоширенішими з волоконних ПКМ є *скловолокніти*. Вони характеризуються підвищеною міцністю і низькою ціною. Незважаючи на порівняно низький модуль пружності скляних волокон, скловолокніти за питомою жорсткістю перевершують леговані сталі та сплави алюмінію і титану. Скловолокніти використовують у суднобудуванні, транспортному машинобудуванні, для виготовлення ємкостей і труб.

Широко застосовуються також органоволокніти (ПКМ, що складаються з полімерної матриці і синтетичних волокон), вуглеволокніти (полімерна матриця та високоміцні вуглецеві волокна) та бороволокніти (епоксидна, поліефірна, фенолоформальдегідна чи інша смола і волокна бору).

### **Волоконні ККМ**

Особливістю *волоконних керамічних композитних матеріалів* (ККМ) є їх висока теплова стійкість, корозійна тривкість і водночас підвищена крихкість. Матрицею в ККМ служить нітрид та карбід кремнію, оксиди алюмінію і цирконію.

Як зміцнювальний компонент використовують волокна з вуглецю, карбїду кремнію або оксиду алюмінію. ККМ на основі нітриду кремнію  $Si_3N_4$ , армований волокнами з карбїду кремнію (40 % об'єму), характеризуються підвищеними теплостійкістю і густиною. Цей матеріал є перспективним для виготовлення деталей двигунів підвищеної економічності.

## **Тема 4.3. Скло та склокристалеві матеріали**

*Скло* має високу міцність на стискування (600 – 1200 МПа), низьку міцність на розтягування (30 – 90 МПа) та дуже високу крихкість. При різкому і сильному нагріванні чи охолодженні в склі можуть виникати тріщини. При нагріванні скло розм'ягчується і при температурі близько 1000 °С починає плавитись. Більшість мінеральних кислот, за винятком плавикової, не руйнують скло.

Основною сировиною для виготовлення скла є чистий кварцовий пісок, вапняк, доломіти, кальцинована сода чи сульфат натрію. До складу окремих видів скла вводять оксиди бору (підвищує термостійкість), оксиди алюмінію (підвищує міцність і хімічну стійкість), оксиди фтору, цинку тощо. Для виготовлення кольорового скла використовують перекис марганцю, оксиди хрому, кобальту та інші мінеральні барвники.

Виробництво скла складається з таких технологічних операцій: підготовка сировинних матеріалів (збагачення, сушіння, подрібнення, змішування компонентів і брикетування); варіння скла в скловарільних печах при 1400 – 1500 °С; охолодження скломаси до температури, при якій вона має потрібну в'язкість; формування виробів та їх термічну, механічну чи хімічну обробку.

Спосіб формування залежить від виду виробу. Для отримання будівельного скла застосовують витягування, прокатування та пресування.

В будівництві найбільш широко застосовується неполіроване *листо́ве віконне скло* товщиною 2 – 6 мм з світлопропускнуою здатністю 85 – 90 %.

**Вітринне скло** товщиною 6 – 10 мм для великих вікон випускається полірованим і неполірованим. Для компенсації температурних деформацій при монтажі таких вікон застосовують гумові чи пластмасові прокладки.

**Армоване скло** виготовляють методом прокатування розплавленої скломаси з металевою сіткою. Воно має підвищену вогнестійкість і безпечність.

**Візерунчасте скло** отримують прокатуванням прозорої чи кольорової скломаси на гравірованих валках. Таке скло добре розсіює світло і є декоративним.

**Гартоване скло** отримують шляхом термічної обробки скла шляхом нагрівання до 620 – 680 °С, витримки при цій температурі і швидкого охолодження в струмені повітря або в маслі. При цьому міцність скла на згинання зростає в 5 – 8 разів, міцність на удар збільшується в 4 – 6 разів, а термостійкість збільшується в 2 рази. Листи гартованого скла товщиною 6 мм, покриті зі зворотної сторони кольоровими керамічними фарбами, називають **стемалітом**. З нього виготовляють багатошарові панелі, перегородки тощо.

**Безосколкове скло (триплекс)** – це два або більше листів загартованого скла товщиною 2 – 3 мм, склеєних еластичним прозорим полімером, який утримує осколки скла після руйнування.

Із скла також виготовляють порожнисті скляні блоки, склопакети, скляні труби, облицювальну плитку та ін. **Порожнисті скляні блоки** отримують шляхом зварювання двох випресованих з скломаси половин. Для розсіювання світла на зовнішню сторону наносять рисунок. Блоки виготовляють прозорими та кольоровими.

**Склопакети** – вироби з двох чи більше листів скла, з'єднаних по периметру металевою рамкою так, що між ними утворюється замкнений простір, заповнених сухим повітрям. Склопакети виготовляють із звичайного віконного, гартованого чи іншого листового скла. Вікна з склопакетів не потіють, не замерзають і мають в 2 – 3 рази кращу звукоізоляцію.

**Профільне скло** – це великогабаритні будівельні вироби коробчастого, таврового, ребристого та іншого профілю. Виготовляються такі вироби шляхом безперервного прокатування армованого чи неармованого, прозорого чи кольорового скла.

**Скляні труби** отримують методом витягування чи методом відцентрового формування. Вони випускаються діаметром 0,1 – 200 мм і розраховані на тиск до 0,3 МПа і температуру 120 °С.

**Облицювальна скляна плитка** за міцністю та експлуатаційними якостями краща за керамічну. Випускають скляну плитку емальовану, з нанесенням на одну сторону білої чи кольорової емалі, та з непрозорого різноколірного скла.

**Склокристаліт** отримують методом кристалізації з одночасним процесом вогневого полірування лицевої поверхні склокристалевого гранульованого матеріалу з наступною його термообробкою. Випускається у вигляді плит, що можуть мати поліровану різноколірну поверхню, чи імітують природний камінь.

**Ситал** – кристалічне скло спеціального складу, отримане внаслідок керуваної кристалізації. До складу ситалів входять оксиди літію, кремнію, магнію, кальцію, а також каталізатори кристалізації: солі золота, срібла та міді. Розмір кристалів не перевищує 1 мкм. Кристали ситалу зцементовані

склоподібною масою. За структурою ситали займають проміжне положення між звичайним склом і керамікою. Ситали мають високу твердість, міцність, термічну і хімічну стійкість.

#### Тема 4.4. *Гумові матеріали*

**Гума** — це продукт вулканізації каучуку сіркою або іншою речовиною. Серед конструкційних матеріалів тільки гума характеризується еластичністю, тобто здатністю до великих зворотних деформацій у широкому інтервалі температур. Гумові вироби, крім еластичності, характеризуються значною міцністю, корозійною тривкістю та зносостійкістю. Вони газо- і водонепроникні, мають невелику густину та добрі електроізоляційні властивості. Вироби з гуми відіграють важливу роль в усіх галузях техніки, медицині й побуті.

Найважливішим складником гуми є полімер ізопрену з лінійною будовою молекул — **натуральний** або **синтетичний** каучук. Від каучуку залежать основні властивості гумового матеріалу. Натуральний каучук, як матеріал рослинного походження, є високомолекулярною сполукою  $(C_5H_6)_n$ . Синтетичний ізопреновий каучук отримують, полімеризуючи ізопрен, а синтетичний бутадієновий каучук  $(C_4H_6)_n$  — полімеризуючи бутадієн. Для поліпшення властивостей гуми до її складу, крім каучуку, додають вулканізатори, зміцнювані, пластифікатори, барвники, стабілізатори та інші компоненти.

**Вулканізатори** (частіше всього сірка) у суміші з каучуком утворюють поперечні ковалентні зв'язки між його лінійними макромолекулами. Коли вулканізатором є сірка кількістю 1...5 %, то при температурі 140...160 °C утворюється високоеластична гума рідкосітчастої будови. Якщо масову частку сірки в сирій гумі довести до 30 і більше відсотків, то утворюється твердий нееластичний матеріал густосітчастої просторової будови **ебоніт**, який використовується як ізолятор в електротехніці. Вулканізацію можна активізувати оксидами магнію, свинцю, цинку та ін.

**Зміцнювачі** — дрібнодисперсні порошки вуглецевої сажі, оксиду кремнію або оксиду цинку — підвищують міцність, твердість і стійкість гумовик виробів до спрацьовування. Для відповідальних гумових виробів (шини, шланги високого тиску, привідні паси та ін.) використовують волоконні зміцнювачі із синтетичних волокон або металевого дроту, покритого латунню, яка підвищує зчеплення дроту з полімером.

**Пластифікатори** — парафін, каніфоль, стеаринова кислота, рослинні олії — сприяють рівномірному розподілові компонентів у суміші, полегшують формування виробів й підвищують їх морозостійкість.

**Барвники** (мінеральні й органічні) надають гумовим виробам бажаного кольору.

## Тема 4.5. *Деревні матеріали.*

### *Основні відомості про деревину*

Дерево складається з коренів, стовбура і крони. Корені призначені для кріплення дерева в ґрунті, та для всмоктування вологи і розчинених в ній мінеральних речовин та передачі їх до стовбу. Стовбур підтримує крону і служить для руху води та живильних речовин від коренів через гілки до листя, а від листя назад до коренів.

Будова деревини, яку видно неозброєним оком або при невеликому збільшенні, називається макроструктурою, а під великим збільшенням – мікроструктурою.

Макроструктуру деревини вивчають за трьома розрізами стовбура (рис. 4.1): поперечному, радіальному поздовжньому і тангентальному поздовжньому. В поперечному і радіальному розрізах стовбура виділяють такі основні частини (рис. 4.2): кору, луб, камбій, деревину і серцевину.

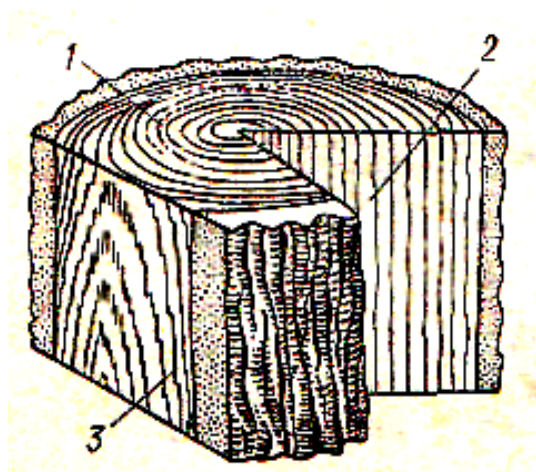


Рис. 4.1. Основні розрізи стовбура дерева: 1 – поперечний (торцевий), 2 – радіальний, 3 – тангентальний.

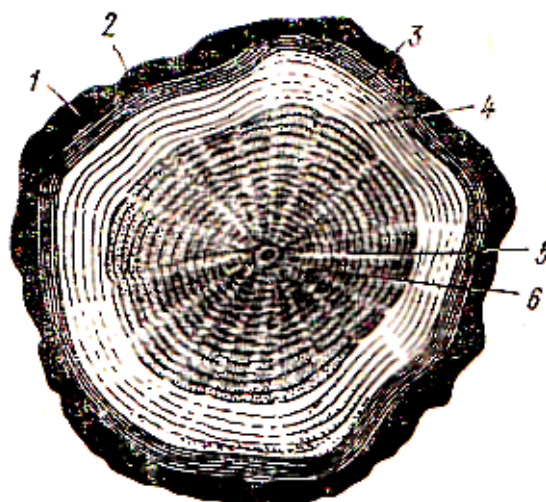


Рис. 4.2. Торцевий розріз стовбура: 1 – кора, 2 – луб, 3 – камбій, 4 – заболонь, 5 – ядро, 6 – серцевина.

Кора захищає дерево від дії зовнішнього середовища. Внутрішня частина кори називається лубом. Луб призначений для передачі живильних речовин з крони дерева донизу. В ньому також відкладаються запаси цих речовин.

Камбій - тонкий життєдіяльний шар тканини, що розташована за лубом. В шарі камбію до центра дерева відкладаються клітини деревини, а в сторону лубу – луб'яні клітини. Кожна клітина камбію при розмноженні ділиться на дві, одна з них, більш тонкостінна, відкладається до зовнішньої сторони стовбура, інша, товстостінна, одеревенівша клітина розміщується в сторону серцевини. Весною камбій утворює широкі клітини з тонкою оболонкою, так звану весняну

деревину. В другій половині вегетаційного періоду, коли дерево навантажене гілково-листяною масою, камбій утворює товстостінні приплюснуті клітини, які виконують механічні функції і складають основну частину літньої деревини. Літня або пізня деревина є більш міцною. Шар, що утворився протягом вегетаційного періоду, називають річним. В окремих порід дерев річні кільця добре видно на поперечному перерізі.

Деревина частіше всього має світлий колір, але в окремих породах (дуб, кедр, сосна) ближче до серцевини розташована більш темна деревина, яка називається ядром або мертвою деревиною. В ялини, бука, пихти ядро за кольором не відрізняється від периферійної частини. У берези, вільхи, клена ядро відсутнє. Від ядра до зовнішньої сторони стовбура знаходиться світла деревина, яку називають заболонню (оболонню). В дерева, що росте заболонь складається переважно з живих клітин.

Вздовж всього стовбура в його центральній частині розташована серцевина, що складається з тонкостінних клітин. Ця частина стовбура є найбільш слабкою, вона погано протидіє загниванню.

Рух вологи в деревині листяних порід відбувається судинами, які розташовані вздовж стовбура. В дуба, ясена, в'яза більш крупні судини знаходяться в ранній частині річного шару, а в пізній деревині судини дрібні. В берези, липі, осики рання і пізня деревина не відрізняються.

Дерева хвойних порід судин не мають, а складаються з видовжених замкнутих клітин – трахеїд. Між трахеїдами в пізній деревині річного шару знаходяться смоляні ходи – міжклітинні простори, заповнені смолою.

Крім річних кілець, на поперечному перерізі видно вузькі стрічки, направлені по радіусу, які називаються серцевинними променями.

### ***Властивості деревини***

До основних ***фізичних властивостей*** деревини відносяться вологість, гігроскопічність, щільність, усушка та набухання, теплопровідність і стійкість до агресивних середовищ.

На властивості деревини дуже впливає ***вологість***. В деревині може бути три види вологи: капілярна (вільна), яка знаходиться в клітинах і міжклітинному просторі, гігроскопічна, що знаходиться в стінках клітин і хімічно-зв'язана, яка входить до складу речовин, з яких складається деревина.

За ступенем вологості розрізняють деревину: свіжозрубану (вологість 35% і більше), повітряно-суху (вологість 15 – 20%), кімнатно-суху (вологість 8 – 12%). В будівництві застосовують деревину з вологістю 15 – 20%. Підвищення вологості може призвести до короблення і розтріскування виробів, а також сприяє враженню деревини грибками.

***Гігроскопічність*** характеризується здатністю сухої деревини всмоктувати вологу із навколишнього середовища або віддавати вологу більш сухому повітрю. Внаслідок гігроскопічності змінюється вологість деревини, що призводить до зміни об'єму.

Середня ***щільність*** деревини залежить від породи дерева, його пористості, умов росту, вологості тощо. Її величина у більшості порід менш одиниці і, частіше всього, знаходиться в межах 0,37 – 0,7 т/м<sup>3</sup>. Щільність деревини



визначає її фізико-механічні властивості (міцність, теплопровідність, насичення водою).

Величина *усушки* та *набухання* деревини внаслідок неоднорідності її будови неоднакова в різних напрямках. Лінійна усушка вздовж волокон становить всього 0,1 – 0,3%, в радіальному напрямі - 3 – 6%, а в тангентальному напрямі – 6 – 12%. Неоднаковість усушки в різних напрямках призводить до розтріскування та короблення при швидкому сушінні.

**Теплопровідність** сухої деревини незначна, але зі збільшенням вологості теплопровідність зростає.

**Механічні властивості.** Внаслідок волоконної будови деревини її опір механічним діям в різних напрямках неоднаковий. Крім того, механічні властивості деревини залежать від породи дерева, вологості, наявності дефектів.

Деревина добре витримує стискування вздовж волокон. Також вздовж волокон деревина добре працює при згинанні та розтягуванні.

**Таблиця 4.1. Середнє значення щільності і міцності деревини (при вологості 12%)**

Порода дерева	Середня щільність, $кг/м^3$	Межа міцності, МПа, вздовж волокон при				Торцева твердість, НВ
		розтягуванні	стискуванні	статичному згині	радіальному сколюванні	
Сосна	534	110	48	85	7,5	2,8
Ялина	426	120	44	80	6,8	2,6
Дуб	723	130	58	106	10,0	6,7
Бук	673	130	56	105	12,0	6,1
Береза	653	125	55	110	9,2	4,6
Осика	524	120	42	78	6,2	2,6

Механічні властивості деревини визначають шляхом випробувань спеціально виготовлених зразків.

Механічні властивості деревини в значній мірі залежать від її вологості. Зі збільшенням вологості міцність деревини знижується, особливо при статичному згинанні і стискуванні. Наявність в деревині дефектів значно погіршує її механічні властивості.

Стійкість деревини різних порід до дії агресивних середовищ (розчинів солей, кислот і лугів) неоднакова. Більш стійкими є хвойні породи. При тривалій дії кислот та лугів деревина повільно руйнується. Інтенсивність руйнування залежить від концентрації розчинів. Так слаболугові розчини майже не руйнують деревину, а дію слабких розчинів мінеральних кислот вона сприймає краще ніж бетон.

#### **Породи деревини та їх застосування**

**Сосна** – найбільш розповсюджена порода. Деревина сосни має підвищені фізико-механічні та експлуатаційні властивості і добре піддається обробці. Застосовується для будівництва житла, мостів, інших конструкцій та для виготовлення столярних виробів.

Деревина **ялини** має добру міцність, але через малу смолистість швидко гниє в сирому середовищі.

Деревина *лиственниці* за зовнішнім виглядом подібна до деревини сосни, але має більшу щільність та міцність. Листвениця має підвищену стійкість проти загнивання в умовах змінної вологості, тому її застосовують для гідротехнічних і підземних споруд та для виготовлення шпал.

*Дуб* має важку, щільну, тверду і дуже міцну деревину, яка добре зберігається як на повітрі, так і під водою.

*Ясен* має важку, в'язку, тверду і міцну деревину, яка по вигляду нагадує деревину дуба. Застосовується для столярних виробів та меблів.

*Береза* має тверду, міцну і в'язку деревину, але недовговічна в умовах частого зволоження і висушування. Виготовляється фанера, столярні вироби та меблі.

*Осика* має м'яку і легку деревину, яка в сухому середовищі досить міцна, але при наявності вологи швидко гніє. Застосовується при виготовленні фанери, тари тощо.

### **Дефекти деревини**

Дефектами деревини називають відхилення будови деревини від нормальної, порушення зовнішньої форми стовбура дерева, а також різні пошкодження, що впливають на її технічні властивості. Дефекти знижують сортність деревини та обмежують область її застосування. За причинами появи дефекти поділяють на групи: сучки, тріщини, неправильності форми стовбура і будови деревини, ненормальний колір, гниль, пошкодження комахами, пошкодження грибками.

*Сучки* – це основа гілок, що відросли від стовбура. Сучки порушують однорідність будови деревини, затрудняють обробки і знижують її механічні властивості. Вони можуть бути зрослими з деревиною, тобто бути здоровими і не мати ознак загнивання. Незростлі з основною деревиною сучки утворюють в лісоматеріалах отвори або гнілі ділянки.

*Тріщини* можуть з'являтися під час росту дерева або на зрізаному дереві в результаті висихання. Під час росту в результаті всихання ядра, розкачування вітром, від морозів та з інших причин в дереві можуть виникати тріщини, що проходять через серцевину, але не доходять до лубу, тріщини, розташовані по річних кільцях та морозобійні тріщини, які звужуються до серцевини дерева. Часто тріщини з'являються під час висушування в результаті неоднакової усушки деревини. Тріщини знижують якість деревини, зменшують кількість корисної деревини та сприяють її загниванню.

*Відхилення* від нормальної форми стовбура виникають через ненормальні умови росту дерева та в результаті кліматичних дій. Дерево може викривлятися в одній або декількох площинах, волокна можуть мати гвинтоподібну форму, діаметр дерева може понад норму зменшуватись від кореня до вершини. Все це знижує якість деревини.

*Грибки* пошкоджують як дерева, що ростуть, так і деревину будівель та конструкцій. Вони розвиваються із спор, що разносяться вітром, птахами, комахами. Грибки можуть розвиватись при певних умовах: підвищена вологість (20 – 60%), відсутність вентиляції, температура навколишнього середовища в межах 0 – 60 °С. На морозі та під водою грибки не розвиваються, але і не гинуть. Вони гинуть при температурі понад 60 °С. Окремі грибки не руйнують

деревину, а тільки змінюють її колір. Найбільш небезпечними є домові грибки. Спочатку з'являється грибниця, яка часто має вигляд ватоподібного нальоту з рожевим відтінком. Деревина набуває бурого або коричневого кольору, потім з'являються поздовжні та поперечні тріщини і деревина поволі розпадається на частинки.

Деревину можуть пошкоджувати різні комахи або їх личинки, які утворюють поверхневі чи глибинні **червоточини**. При цьому комахи заносять в деревину спори грибків, які викликають гниття.

### **Способи захисту деревини**

Підвищення довговічності дерев'яних конструкцій та виробів досягається застосуванням різних способів захисту деревини від руйнування.

Одним з основних заходів для забезпечення тривалого використання деревини є її **висушування**. Природне сушіння є довготривалим і може довести вологість до 15%. Більш ефективним є висушування деревини в сушильних камерах, де можна регулювати вологість та температуру і доводити вологість до 6 – 8%. При цьому знищуються грибки та комахи-шкідники.

Для запобігання загниванню деревини в конструкціях її ізолюють від ґрунту, каменю та бетону, захищають від атмосферних опадів, покривають оліфою, фарбами чи лаками.

Для захисту деревини від гниття її оброблюють різними хімічними речовинами – **антисептиками**. Антисептики повинні мати високу токсичність до грибків, але бути нешкідливими для людини і домашніх тварин. Обробку деревини проводиться водорозчинними і маслянистими антисептиками та антисептичними пастами. Маслянисті антисептики частіше застосовують для деревини, яка знаходиться на повітрі, в землі чи під водою (сваї, шпали, елементи мостів тощо). Обробка антисептиками проводиться шляхом оприскування, насичення в гарячих та холодних ваннах, пропитуванням під тиском в автоклавах, обмазуванням антисептичними пастами.

Деревину від пошкодження комахами захищають хімічними **інсектицидами** у вигляді порошків, емульсій та аерозолів. Вони вбивають комах і їх личинок, але більшість інсектицидів є шкідливими для людей і тварин.

Для захисту деревини від загорання застосовують конструкційні заходи, тобто покривають дерев'яні конструкції покривають штукатуркою, азбестовим картоном або фарбами чи пастами на основі рідкого скла. На дерев'яні вироби можна наносити вогнезахисні суміші або пропитувати деревину хімічними речовинами – **антипіренами**.

### **Основні види пиломатеріалів та виробів з деревини**

Пиломатеріали виготовляють шляхом поздовжнього розпилювання колод дерева. Основними пиломатеріалами є дошки, брус та бруски.

**Дошки** виготовляються товщиною 13 – 100 мм з відношенням товщини до ширини більше 2. Дошки за обробкою бокових кромek поділяють на необрізні та обрізні. За якістю деревини та за обробкою дошки випускаються п'яти сортів (вищий, 1, 2, 3 і 4).

**Брус** має товщину 100 – 250 мм при відношенні товщини до ширини менше 2. Брус може бути обрізаним з двох або з чотирьох сторін.

**Бруски** мають товщину до 100 мм з відношенням товщини до ширини менше 2. Часто бруски мають форму наближену до квадрата.

**Будівельна фанера** складається з трьох, п'яти і більше склеєних між собою шарів **шпону**. Товщина фанери від 1,5 до 19 мм. Шпон, товщиною 0,35 – 1,15 мм, отримують на луцильних верстатах шляхом зрізування шару деревини (берези, ялини, сосни, горіха, бука тощо) з попередньо розпареної колоди, що обертається. Шпон склеюють фенолоформальдегідними, карбамідними чи іншими клеями так, щоб волокна двох суміжних шарів були взаємно перпендикулярні. Залежно від виду клею і його водостійкості фанера буває підвищеної, середньої та обмеженої водостійкості. Шпон застосовується також для оздоблення меблів, виготовлення деревинних шаруватих пластиків, оздоблення ДСП тощо.

**Деревиноволокнисті** та **деревиностружкові** плити виготовляють з відходів деревини, костриці, соломи та інших органічних матеріалів. Такі плити мають високі тепло- та звукоізоляційні властивості. Процес їх виготовлення складається з подрібнення сировини, насичення її в'язучими речовинами на основі формальдегідних смол, формування і термічної обробки. До складу плит вводять антипірени – для зниження горючості, та парафінові, масляні чи смоляні емульсії – для підвищення водостійкості.

Добрі теплоізоляційні властивості мають фібролітові та арболітові плити. **Фіброліт** виробляють з лущеної деревини шляхом змішування з цементним тістом, пресуванням в формах, пропарюванням плит в камерах і сушінням. Щільність фібролітових плит становить 250 – 500 кг/м<sup>3</sup>. Плити виготовляють товщиною 30 – 150 мм.

**Арболіт** виробляють з суміші цементу, органічних наповнювачів, хімічних добавок і води. Органічними наповнювачами є тирса деревини, костриця льону і конопель, січка соломи, очерету та кукурудзи. Арболіт має щільність менше 700 кг/м<sup>3</sup>, теплостійкий, морозостійкий, добре обробляється і погано горить.

## Тема 4.6. *Мінеральні в'язучі речовини*

*Мінеральними в'язучими речовинами* називають тонкоперемелені порошки, які утворюють при змішуванні з водою пластичне тісто, що під дією фізико-хімічних процесів переходить в каменеподібний стан. Ця властивість в'язучих речовин використовується для приготування на їх основі розчинів, бетонів, необпалюваних штучних кам'яних матеріалів та виробів.

Мінеральні в'язучі матеріали поділяють на повітряні та гідравлічні. *Повітряні в'язучі речовини* твердіють, довго зберігають і підвищують свою міцність тільки на повітрі. До них відносяться гіпсові та магнезійні в'язучі, повітряне вапно і кислотостійкий цемент. *Гідравлічні в'язучі речовини* здатні твердіти і довго зберігати свою міцність не тільки на повітрі, а й у воді. До гідравлічних в'язучих речовин відносяться портландцемент і його різновидності, пуццоланові і шлакові в'язучі, глиноземний і розширюючийся цемент, гідравлічне вапно та романцемент.

Наряду з цим є в'язучі речовини, які ефективно тверднуть тільки в автоклавах.

### *Будівельне вапно*

*Будівельне вапно* отримують шляхом обпалювання кальцієво-магнієвих гірничих порід – крейди і вапняків. В результаті обпалювання при 1000 – 1200 °С утворюється грудкове вапно (CaO, MgO). Після обпалювання проводять розмелювання грудкового вапна і отримують негашене мелене вапно або проводять гашення грудкового вапна водою і отримують гашене вапно.

Негашене мелене вапно можна застосовувати без попереднього гасіння. При цьому використовується тепло, що утворюється при гашенні вапна, збільшується міцність, водостійкість та щільність виробів. Мелене негашене вапно не можна зберігати тривалий час, тому що воно поступово гаситься вологою повітря і втрачає свою активність.

Гашення вапна проводиться водою:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ . Процес супроводжується виділенням великої кількості тепла і пари. Об'єм вапна збільшується в 2 – 3 рази. Збільшуючи кількість води отримують вапняне молоко.

Вапняний розчин з піском на повітрі поступово твердне, перетворюючись в штучний камінь. При цьому дрібні частинки  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  зростаються між собою і утворюють каркас, що оточує зерна піску. Розчин твердне тим швидше, чим інтенсивніше випаровується вода.

Будівельне вапно застосовується для виробництва силікатної цегли, силікатних і піносилікатних блоків, для виготовлення будівельних розчинів і сумішей та для біління будівель і споруд. Розчини та вироби на повітряному вапні не варто застосовувати у вологих приміщеннях і при будівництві фундаментів, тому що вони не водостійкі.

### *Гіпсові в'язучі речовини*

Сировиною для виробництва гіпсових в'язучих речовин є природній гіпсовий камінь  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  та природній ангідрит  $\text{CaSO}_4$ . **Будівельний гіпс** отримують шляхом теплової обробки гіпсового каменю при 110 – 180 °С та дрібним розмелюванням. Такий гіпс при розмішуванні з водою протягом 4 – 30 хв. твердне. Твердіння гіпсу можна пришвидшити за рахунок нагрівання до 65 °С. Для сповільнення твердіння до складу гіпсу вводять певні реагенти. Застосовується будівельний гіпс для виробництва гіпсових та гіпсобетонних будівельних виробів для внутрішнього застосування, а також для виробництва гіпсоцементнопуцоланових в'язучих речовин.

При нагріванні природного гіпсу під тиском 0,2 – 0,3 МПа з наступним сушінням при 160 – 180 °С отримують модифікований **високоміцний гіпс**.

Шляхом обпалювання природного гіпсу при температурі 600 – 700 °С з додаванням каталізаторів (вапно, доменний шлак та ін.) отримують **ангідритовий цемент**. Тверднути такий цемент починає через півгодини і продовжується процес твердіння до 24 годин. Випускається ангідритовий цемент марок М50, 100, 150 та 200.

Різновидністю ангідритових цементів є **високообпалюваний гіпс**, який обпалюється при температурі 800 – 1000 °С. Такий гіпс має більш високу морозостійкість і водостійкість, меншу тепло- і звукопровідність. Застосовується для будівельних розчинів, мозаїчної підлоги та виготовлення штучного мармуру.

#### **Магnezитові в'язучі речовини**

Основою магnezитових в'язучих речовин є оксид магнію  $\text{MgO}$ . Їх поділяють на каустичний магnezит і каустичний доломіт.

**Каустичний магnezит** отримують обпалюванням природного магnezиту  $\text{MgSO}_3$  при 700 – 800 °С і наступним розмелюванням. Розчини каустичного магnezиту готують не на воді, а на водних розчинах хлористого чи сірчаноокислого магнію. Твердне такий розчин від 20 хв до 6 годин. Марки каустичного магnezиту 400, 500 і 600. Каустичний магnezит є дуже гігроскопічним.

**Каустичний доломіт** отримують обпалюванням природного доломіту  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  і розмелюванням. За якість він поступається каустичному магnezиту.

Магnezитові в'язучі речовини добре з'єднуються з деревинною тирсою і стружкою та іншими органічними наповнювачами. Використовуються для виготовлення теплоізоляційних матеріалів (фіброліт, ксилоліт).

#### **Рідке скло і кислотостійкий цемент**

**Рідким склом** називають силікат натрію  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$  або силікат калію  $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ . Рідке скло представляє собою в'язкий розчин, що повільно твердне на повітрі. Для прискорення твердіння вводять каталізатор – кремнієфтористий натрій.

Рідке скло застосовується при виготовленні вогнетривких фарб, отримання кислотостійкого цементу, жаростійкого бетону тощо.

**Кислотостійкий цемент** отримують розмішуванням у водному розчині рідкого скла дрібно розмеленого кварцового піску (може бути інший

наповнювач) та кремнієфтористого натрію. Розчини і бетони на кислотостійкому цементі мають високу стійкість проти дії ряду мінеральних та органічних кислот, але руйнуються у лугах та фосфорній фтористоводневій і кремнієфтористоводневій кислотах.

### **Портландцемент**

**Портландцемент** та його різновиди є основними в'язучими речовинами в сучасному будівництві. Портландцемент відноситься до гідравлічних в'язучих речовин, які тверднуть у воді та на повітрі. Він утворюється в результаті тонкого розмелювання обпаленої до спікання сировинної суміші вапняку та глини.

Спечена сировинна суміш з розміром грудок до 15 – 25 мм називається **клінкером**. Клінкер після обпалювання складається з таких клінкерних матеріалів: трьохкальцієвого силікату  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (40 – 65 %), двохкальцієвого силікату  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (15 – 40 %), трьохкальцієвого алюмінату  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  (2–15%) і чотирьохкальцієвого алюмофериту  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  (10–20 %). Властивості цементу залежать в значній мірі від співвідношення цих компонентів. Для регулювання термінів твердіння під час розмелювання до клінкеру додають гіпс. Під час розмелювання клінкеру можуть вводиться активні мінеральні добавки для отримання цементу з певними властивостями.

Твердіння портландцементу починається не раніше 45 хв. після утворення розчину і завершується не пізніше 12 годин. Якщо твердіння відбувається на повітрі, то через випаровування вологи відбувається усадка бетону. При твердінні у воді іде зворотній процес – набухання. В результаті усадки в бетоні можуть виникати тріщини.

В процесі твердіння цементного тіста утворюється **цементний камінь**. Міцність цементного каменю швидко зростає протягом перших 3 – 7 діб, в наступні 7 – 28 діб зростання міцності сповільнюється. У вологому та теплому середовищі міцність цементного каменю може повільно зростати протягом декількох років. Твердіння портландцементу можна прискорити введенням добавок (хлористий калій, хлористий натрій та ін.).

Швидкість твердіння і міцність портландцементу зростає також при зменшенні розмірів зерен при розмелюванні клінкеру. У звичайному портландцементі розмір зерна не перевищує 0,08 мм.

Міцність портландцементу характеризується його маркою. **Марку цементу** встановлюють за межею міцності на згін зразків розмірами 40 x 40 x 160 мм та стискання половинок зразків, виготовлених з цементно-піщаного розчину складу 1:3 через 28 діб після виготовлення. Межу міцності при стисканні через 28 діб називають активністю цементу і за нею встановлюють марку. Наприклад, якщо при випробуванні цементу встановлена межа міцності на стискування 43 МПа, то його відносять до марки 400. Портландцементи поділяють на марки 400, 500, 550 і 600.

Вироби з портландцементу не рекомендується застосовувати там, де вони можуть піддаватись дії мінералізованої та морської води. Під дією  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaCl}$  та інших солей ці вироби починають руйнуватись. Захист цементного каменю від корозії здійснюють введенням активних мінеральних

добавок, створенням щільних бетонів, а також застосуванням захисних покриттів з бітуму чи полімерної плівки та облицюванням склом чи керамікою.

Поряд зі звичайним портландцементом промисловість випускає велику кількість спеціальних цементів, які мають певні властивості. Так за рахунок підвищення тонкості помолу клінкеру та збільшення вмісту активних мінералів ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) утворюється **швидкотвердіючий портландцемент** марок 400–700. Застосування швидкотвердіючого портландцементу дозволяє скоротити терміни виготовлення бетонних та залізобетонних виробів.

Додаванням до складу цементу гіпсу та пластифікованих добавок отримують **пластифікований портландцемент**. Розчини і бетони на цьому цементі мають підвищену пластичність, морозостійкість і водонепроникність

**Гідрофобний портландцемент** отримують введенням гідрофобних (водовідштовхуючих) добавок. Такий цемент підвищує водостійкість, водонепроникність і морозостійкість бетону.

**Білі та кольорові** портландцементи виробляють з сировини, що має низький вміст оксидів заліза, марганцю та хрому. До кольорових цементів додають сурик, охру, ультрамарин тощо.

**Пуццолановий портландцемент** отримують додаванням при розмелюванні клінкеру гіпсу та мінеральних добавок вулканічного походження. Такий цемент має підвищену сульфатостійкість, водостійкість та водонепроникність, але морозостійкість невисока. Рекомендується для підводних та підземних бетонних споруд. Слід враховувати, що в сухих умовах твердіння бетону на цьому цементі практично припиняється, тому протягом двох тижнів бетони необхідно зволожувати.

**Шлакопортландцементом** називають гідравлічну в'язучу речовину, яка утворюється при розмелюванні портландцементного клінкеру з доменним шлаком та невеликою кількістю гіпсу. Вміст шлаку становить 21 – 60 %. Процес твердіння такого цементу дещо сповільнений, особливо при невисоких температурах. Випускається шлакопортландцемент марок 300, 400 і 500. Він дешевший, має більшу жаро-, водо- і сульфатостійкість, але морозостійкість невисока. Випускається також швидкотвердіючий шлакопортландцемент, гіпсошлаковий, шлаковий безклінкерний, вапняно-пуццолановий цемент. Застосовуються портландцементи для виготовлення збірних залізобетонних виробів, які пропарюються в камерах, та для будівельних розчинів. Особливо ефективні вони в умовах дії сульфатних речовин.

**Глиноземний цемент** отримують обпалюванням і тонким розмелюванням вапняку з породами, що мають високий вміст глинозему  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Випускається він марок 400, 500 та 600. Такий цемент характеризується інтенсивним набором міцності на початку твердіння: через добу він має 80 – 90 % марочної міцності. Має високу водонепроникність, водостійкість та морозостійкість, але є дорожчим за звичайний портландцемент. Глиноземний цемент використовують при термінових ремонтних та аварійних роботах, виконанні робіт в зимовий час, для бетонних і залізобетонних виробів, що працюють в середовищі сильно мінералізованих вод. Бетони на глиноземному цементі можуть працювати при температурі 1200 – 1400 °С. Але глиноземний цемент не можна змішувати з іншими цементами і виробити на цьому цементі не можна пропарювати.



## Тема 4.7. *Бетони і залізобетони*

### *Загальні відомості про бетони та їх класифікація*

**Бетоном** називається штучний камінь, що утворився в результаті твердіння раціонально підбраної, добре перемішаної і ущільненої суміші мінеральної в'язучої речовини, води та наповнювача. Суміш цих матеріалів до початку твердіння називають бетонною сумішшю.

В результаті взаємодії між в'язучою речовиною і водою утворюється нова сполука у вигляді клейкого тіста, яке покриває тонким шаром зерна дрібного і крупного наповнювача, а після твердіння перетворює бетонну суміш в міцний монолітний камінь – **бетон**.

**Наповнювачі** (пісок, щебінь чи гравій) займають до 80 – 85 % об'єму бетону і утворюють його жорсткий скелет. Застосовуючи наповнювачі з різними властивостями можна отримати бетони з різноманітними фізико-механічними показниками.

Основними признаками для класифікації бетонів є середня щільність, вид в'язучої речовини, структура, вид наповнювача та призначення бетону.

**За щільністю** бетони поділяються на особливо важкі – більше  $2500 \text{ кг/м}^3$ , важкі –  $1800 - 2500 \text{ кг/м}^3$ , легкі –  $500 - 1800 \text{ кг/м}^3$  та особливо легкі (теплоізоляційні) – менше  $500 \text{ кг/м}^3$ .

За видом в'язучої речовини бетони поділяють на цементні, силікатні, гіпсові, асфальтобетонні, полімерцементні. Силікатні бетони отримують з суміші вапна і піску з наступним твердінням в автоклавах.

Залежно від структури бетони поділяють на **щільні** та **пористі**. В щільному бетоні всі проміжки між зернами наповнювача займає в'язуча речовина. Легкі бетони виготовляють із застосуванням природних чи штучних наповнювачів або піно- чи газоутворювачів.

За призначенням бетони поділяють на **конструкційні** – для бетонних та залізобетонних несучих конструкцій будівель і споруд (фундаментні блоки, балки, колони, плити тощо); **гідротехнічні** – для будівництва гребель, шлюзів, облицювання каналів та ін.; бетон для стін будівель і легкого перекриття; **дорожні** – для доріг та аеродромів; **спеціальні** – хімічно стійкі, жаростійкі, декоративні, бетонополімери та інші.

### *Матеріали для важкого бетону*

Міцність, довговічність та інші властивості бетону в значній мірі залежать від якості вихідних матеріалів. Залежно від призначення та умов експлуатації бетону в споруді його складові компоненти мають відповідати певним вимогам.

**Цемент.** Вибір виду і марки цементу визначається міцністю бетону, умовами його твердіння і експлуатації бетонної конструкції. Для важких бетонів рекомендуються такі марки цементів:

Марка бетону	М 100	М 150	М 200	М 300	М 400	М 500	М 600
Марка цементу	300	300	400	400	500	550-600	600

Якщо марка цементу вище рекомендованої, то можна застосувати мікро наповнювачі – тонко розмелені вапняки, доломіт, шлак, зола тощо.

**Вода.** Для приготування бетонних сумішей і для поливання бетону застосовують воду, яка не має шкідливих домішок (сульфати, мінеральні та органічні кислоти, жири, цукор тощо), що заважають нормальному твердінню бетону. Придатність води можна перевірити в лабораторії або перевіркою міцності зразків бетону на 28 добу з початку твердіння.

**Пісок.** Як дрібний наповнювач для важкого бетону застосовується природний пісок з розміром зерен від 0,14 до 5 мм. Глинисті та органічні домішки знижують міцність бетону.

В якості крупного наповнювача для важкого бетону застосовують гравій або щебінь гірничих порід, інколи шлаковий та цегляний щебінь.

**Гравій** – суміш зерен округлої форми розміром 5 – 70 мм, що утворилися в процесі руйнування гірських порід. Гравій часто має домішки піску, глини, пилу та органічних речовин, що негативно позначається на якості бетону.

**Щебінь** утворюється шляхом подрібнення гірничих порід, бою цегли, шлаків тощо. Отриману суміш зерен різної величини (5 – 70 мм) просіюють на різні фракції (5 – 10, 10 – 20, 20 – 40, 40 – 70 мм). Відсіяні частинки розміром до 3 мм можна використати як пісок. В щебені менше домішок ніж в гравії і щеплювання щебеню з піщано-цементною сумішшю краще. Доцільніше застосовувати щебінь більших розмірів, якщо це не обмежене розмірами бетонної конструкції, відстанню між арматурою та іншими чинниками. Для зменшення пористості між щебенем великих фракцій при приготуванні бетонної суміші доцільно змішувати різні фракції у певному співвідношенні. Вміст глинистих і пилових частин в бетонах марок М300 – М600 допускається не більше 1%. На міцність бетону суттєво впливає міцність зерен щебеню. За міцністю та морозостійкістю щебінь також поділяють на певні марки.

### ***Властивості бетонної суміші і бетону***

Свіжо приготована бетонна суміш повинн мати добру удобоукладу-ваність, тобто здатність заповнювати форму і ущільнюватись. Ця властивість суміші оцінюється рухомістю або жорсткістю.

**Рухомістю бетонної суміші** називають здатність її розпливатися під дією власної маси. Ступінь рухомості оцінюють величиною осадки конуса, сформованого з цієї суміші. Рухомість бетонної суміші визначається на стандартному зрізаному металевому конусі висотою 300 мм з діаметрами основ 100 і 200 мм. Конус встановлюють на металеву поверхню і через верхній отвір заповнюють сумішшю з її ущільненням. Після ущільнення металевий конус знімають. Конус з бетонної суміші під дією власної маси починає осідати. Величину осадки заміряють лінійкою. Чим більша осадка конуса тим більша рухомість бетонної суміші.

Одночасно з рухомістю можна визначити **зв'язаність** компонентів суміші. При недостатній зв'язаності під час зняття металевого конуса бетонна суміш буде осипатись і бетонний конус може розвалитись.

**Жорсткістю бетонної суміші** називають її здатність розпливатись і заповнювати форму під дією вібрації. Величина жорсткості характеризується

часом вібрації в секундах, необхідним для вирівнювання і ущільнення суміші у формі спеціального приладу.

Рухомість бетонної суміші залежить від виду цементу, кількості води і цементного тіста, зернистості і форми наповнювача, вмісту піску. Рухомість суміші слід вибрати якомога меншою, але достатньою для доброго укладування і ущільнення суміші.

Так для тонкостінних конструкцій рекомендуються суміші з рухомістю 40 – 60 мм і жорсткістю 10 – 15 сек, для виготовлення балок, плит, колон – суміші з рухомістю 20 – 40 мм і жорсткістю 15 – 25 сек, для фундаментів – суміші з рухомістю 0 мм і жорсткістю 50 – 60 сек.

До основних властивостей важкого бетону відноситься міцність, щільність, водонепроникність, морозостійкість, усадка та розширюваність, стійкість проти корозії, вогнестійкість.

**Міцність на стискування** є основним показником механічних властивостей бетону. Вона визначається межею міцності при стискуванні зразків 150 x 150 x 150 мм, виготовлених з певної бетонної суміші і витриманих в нормальних умовах 28 діб.

За межею міцності на стискання для важких бетонів встановлені такі марки: М 100, М 150, М 200, М 250, М 300, М 350, М 400, М 450, М 500, М 600, М 700, М 800. Для фундаментів та інших масивних конструкцій застосовують бетон М 100 і М 150, для звичайних залізобетонних конструкцій – бетон М 200 та М 250, для попередньо навантажених залізобетонних конструкцій – бетон М 300 – М 600.

Міцність бетону на стискання залежить від активності цементу, співвідношення маси води і цементу, міцності та якості наповнювачів, їх зернистості, тривалості твердіння, температури і вологості навколишнього середовища та ін.

Для хімічної взаємодії цементу з водою потрібно не більше 20% води від маси цементу. З метою поліпшення укладання бетонної суміші кількість води збільшують до співвідношення В/Ц = 0,4 – 0,7. Надлишкова вода, що не вступає в хімічну реакцію з цементом, випаровується з бетону, утворюючи в ньому порожнини. Це призводить до зменшення щільності і відповідно міцності бетону. Виходячи з цього, міцність бетону можна підвищити шляхом зменшення водоцементного співвідношення і посиленого ущільнення.

Міцність бетону залежить від правильного перемішування його складових в бетонозмішувачі, коли всі зерна наповнювача повністю покриті шаром цементного тіста.

Значний вплив на міцність бетону має ступінь ущільнення, тривалість та умови твердіння бетону. Добре ущільнений бетон в сприятливих температурних і вологих умовах безперервно набирає міцність протягом декількох років. Зі зниженням температури швидкість зростання бетону сповільнюється, а при температурах нижче 0 °С твердіння припиняється. Тому бетон при невисоких температурах підігрівають. При замерзанні води в бетоні може відбуватись його руйнування. Для створення необхідного вологого середовища бетони на портландцементі протягом 7 днів, а бетони на інших цементах протягом 14 днів потрібно періодично поливати водою або нанести плівкоутворюючі матеріали, які унеможливають випаровування води.

Ущільнення бетонної суміші, укладеної в опалубку чи форму, проводять спеціальними вібраторами або шляхом вібропресування, віброштампування, вібропрокатування, вібровакуумування, центрифугування тощо. Зі збільшенням щільності бетону зростає не тільки міцність, а й водонепроникність, морозо- та корозієстійкість.

Підбір складу бетону полягає у встановленні найбільш раціонального співвідношення між складниками. Розрахунки складу бетону виконують за формулами. Після виконання розрахунків проводять пробні замиси та випробування зразків.

Різновидами важких бетонів є **гідротехнічний бетон**, який має підвищену щільність, водонепроникність і морозостійкість, **дорожній бетон**, який має бути міцним на згін, щільним і морозостійким, **декоративний бетон** для оздоблення зовнішніх і внутрішніх стін будівель, **кислотостійкий бетон**, що має високу стійкість проти дії неорганічних кислот, **жаростійкий бетон**, який може зберігати свої властивості при 1500 – 1800 °С та **особливо важкий бетон** для захисту від радіації

### **Легкі бетони**

Легкі бетони, які мають високу порожнистість (до 45 %) і порівняно невелику щільність, застосовують для виготовлення збірних бетонних та залізобетонних конструкцій. Застосування їх замість цегли та важкого бетону дає можливість підвищити теплозахисні якості споруд, зменшити товщину і масу стін та знизити вартість будівництва.

Легкі бетони поділяють на звичайні, пористі, високопористі та високопорожнисті. **Звичайні легкі бетони** виготовляються з в'язучих речовин, води, дрібних і крупних наповнювачів при повному заповненні розчином порожнин між зернами крупного наповнювача.

**Пористі і високопористі бетони** складаються з крупного наповнювача, зерна якого покриті тонким шаром цементного тіста. Міжзернові порожнини в такому бетоні залишаються вільними.

Легкі бетони виготовляють шляхом природного твердіння, пропарюванням в спеціальних камерах та обробкою в автоклавах. Ці бетони виготовляють на основі різних цементів, вапна, гіпсу, рідкого скла та змішаних в'язучих речовин. При цьому застосовуються природні та штучні порожнисті кам'яні матеріали, від властивостей і якості яких в значній мірі залежать якості бетону.

Природні наповнювачі утворюються подрібненням порожнистих гірничих порід – пемзи, вулканічного туфа, вапняка-ракушняка.

Штучними наповнювачами можуть бути відходи виробництва (різні шлаки) та матеріали, що утворюються в результаті спеціальної обробки природних матеріалів і відходів виробництва (керамзит, аглопорит, шлакова пемза, гранульовані шлаки, зольний гравій тощо).

**Високопорожнисті легкі бетони** утворюються на основі в'язучої речовини та пороутворювача. За допомогою пороутворювача в структурі бетону виникають повітряні порожнини. Порожнистість цих бетонів становить 50 – 85 %. Залежно від способу утворення порожнистої структури бетони поділяють на газобетони та пінобетони.

**Пінобетон** виробляють змішуванням цементного тіста чи розчину з окремо приготованою стійкою піною. Пінобетонну суміш розливають в металеві форми і подають їх в пропарювальні камери або автоклави.

**Газобетон** готують змішуванням цементу (іноді з додаванням вапна), кремнеземистого компонента і води з введенням до суміші алюмінієвої пудри. В результаті хімічної реакції виділяється водень, який надає суміші піноподібного стану. Застосовуючи автоклавну обробку можна зменшити частку цементу або замінити його повністю вапном.

Піно- та газобетони мають добрі тепло- і звукоізоляційні властивості, вогнестійкість, їх легко обробляти.

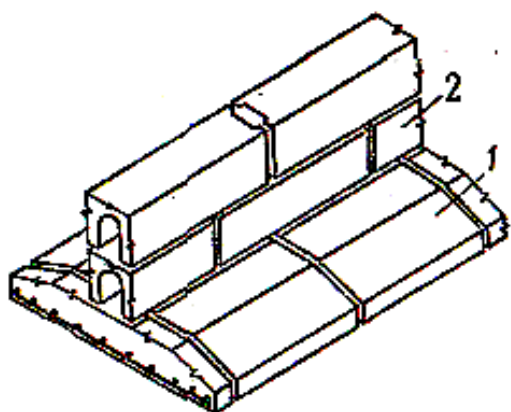
### **Залізобетони**

**Залізобетон** – це будівельний матеріал, в якому поєднані затвердівший бетон і сталева арматура. Бетон добре працює на стискування, а арматура добре сприймає розтягування.

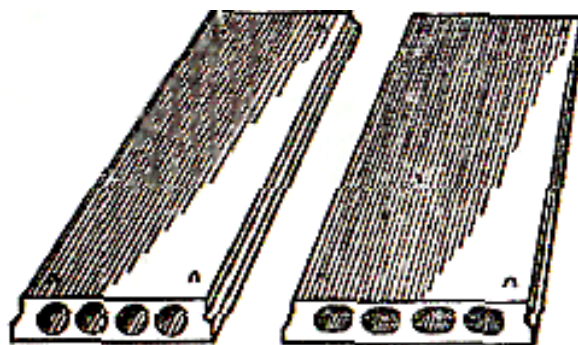
Залізобетонні конструкції за способом виготовлення поділяють на монолітні та збірні. Монолітні конструкції виготовляються безпосередньо на місці будівництва.

Збірні залізобетонні конструкції є значно економічнішими. Зменшуються витрати будівельних матеріалів, особливо пиломатеріалів, будівництво легше автоматизувати, підвищується якість робіт і зростає продуктивність праці.

Залізобетонні вироби і конструкції виготовляють як із звичайної, так і з попередньо напруженої арматури. Виробляти конструкції без напруження арматури простіше, але в процесі експлуатації в бетоні можуть виникати тріщини, в які проникає волога і викликає корозію арматури. В попередньо напруженому залізобетоні перед укладкою бетону арматурні стержні натягують, а після певного твердіння відпускають. В результаті арматура стискує бетон і можливість виникнення тріщин значно знижується.



*Рис. 4.3. Фундамент із збірних залізобетонних елементів  
1 – фундаментна плита; 2 – порожнистий фундаментний блок*



*Рис. 4.4. Плити перекриття з круглими та овальними порожнинами*

### **Бетонні і залізобетонні вироби**

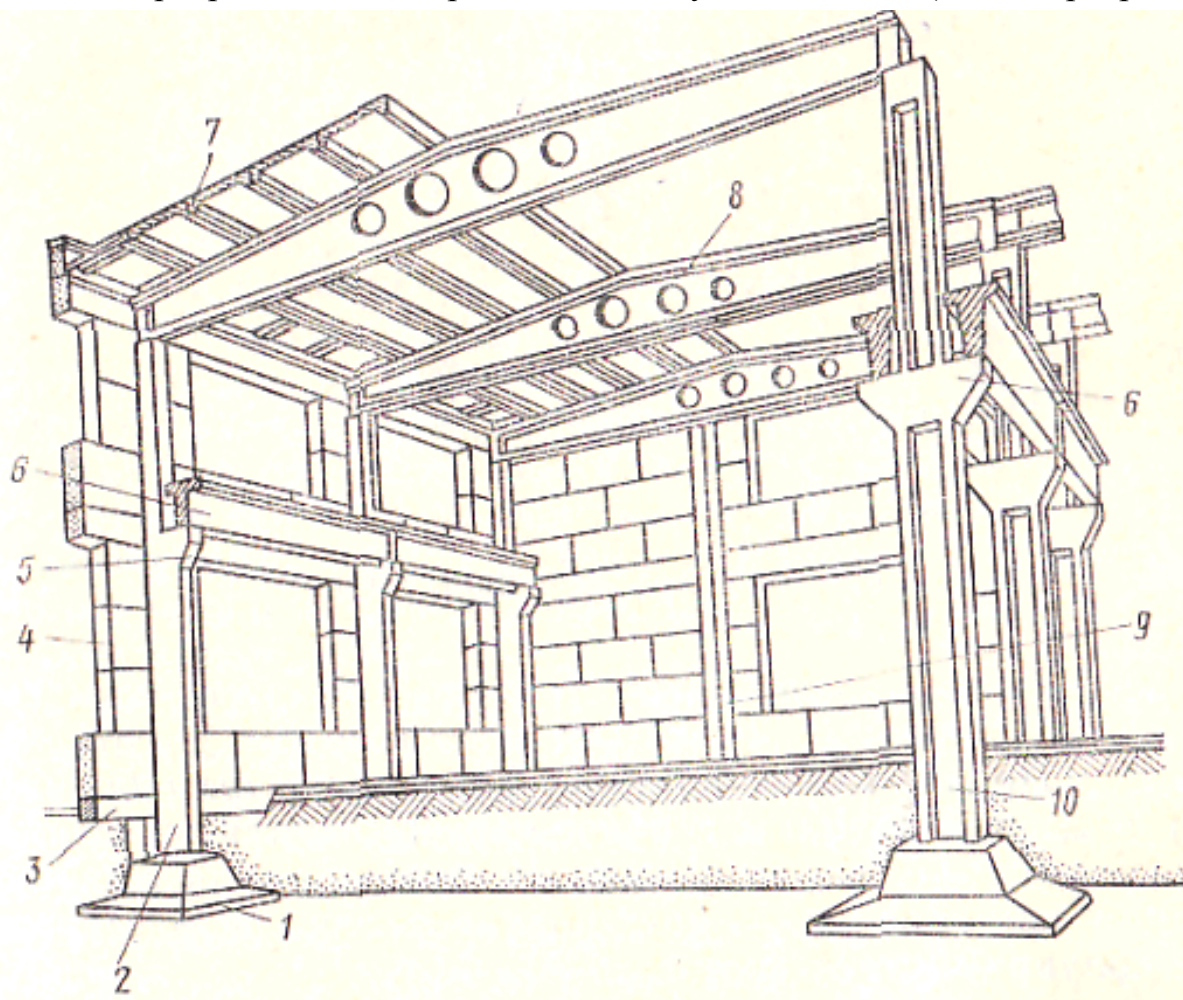
За призначенням збірні залізобетонні вироби поділяють на 4 основні групи: для житлових і громадських будівель, для промислових будівель, для інженерних споруд та різного призначення.

Для фундаментів і підземних частин будівель застосовують фундаментні плити, фундаментні блоки, палі та інші вироби. **Фундаментні плити** є основою фундаменту. Їх виготовляють з важких бетонів марок М 200, М 250 та М 300 та армують. **Фундаментні блоки** виготовляють суцільними та порожнистими з важкого бетону М 100 та М 150 довжиною до 2,5 м, товщиною до 500 мм та висотою 700 мм. На торцях блоків є пази, які заповнюються розчином під час монтажних робіт.

**Палі** для палевих фундаментів виготовляють з бетону М300 з квадратним поперечним перерізом 300 x 300 мм і довжиною 6 – 12 м.

Каркаси будівель можуть виготовлятись із залізобетонних колон, ригелів та інших елементів з важкого бетону марок М 200 – М 500.

Для перекриття між поверхами застосовуються панелі (якщо перекриваєть-



*Рис.4.5. Фрагмент одноповерхової промислової будівлі  
1 – фундамент; 2 – колони зовнішнього ряду; 3 – фундаментна балка;  
4 – елементи стін; 5 – консолі колон; 6 – підкранова балка;  
7 – панелі покрівлі; 8 – балки покрівлі; 9 – торцеві колони;  
10 – колони внутрішнього ряду*

ся ціла кімната) та плити. **Плити перекриття** за конструкцією можуть бути плоскими суцільними, плоскими з круглими чи овальними порожнинами, а також ребристими. Порожнини знижують масу плит, підвищують звукоізоляцію та знижують витрати бетону. Плити виготовляють з важкого бетону марок М 200 та М 300 із звичайним та з попередньо напруженим армуванням.

При спорудженні промислових будівель часто застосовуються колони, підкранові балки, ферми, балки перекриття та арки.

**Колони** проектуються суцільними та решітчастими з квадратним, прямокутним і тавровим перерізом з важкого бетону М 200 – М 500. Для установки підкранових балок колони мають одну чи дві консолі. Колони виготовляють з попередньо напруженою арматурою.

**Підкранові балки** таврового перерізу з бетону М400, М500 довжиною 12 м призначені для прокладання рейкових шляхів мостових кранів.

**Балки даху** виконують одно- чи двохскатними прямокутного, таврового або двотаврового перерізу з бетону М 400 та М 500 з попередньо напруженою арматурою довжиною 6, 9, 12 і 18 м.

Для перекриття прольотів 18 і 24 м. застосовують **ферми** з бетону М 400 – М 600.

Збірні залізобетонні вироби широко застосовуються при будівництві мостів, труб великих діаметрів, ліній електропередач електрифікованих залізниць, шпал тощо.

Якість залізобетонних виробів в значній мірі залежить від процесу виготовлення і якості форми. В масовому виробництві застосовують металеві форми. Перед заповненням бетоном форму змащують емульсіями для запобігання прилипання бетону до стін форми. Укладений в форму бетон ущільнюють, частіше всього вібраційним способом. Труби, опори ліній електропередач та ін. ущільнюють на центрифугах.

Для прискорення твердіння бетону свіжо сформовані вироби піддають тепловологій обробці: пропарюванню при нормальному тиску і температурі 70 – 100 °С, контактному підігріванню при 100 °С, пропарюванню в автоклавах при 170 – 190 °С і тиску 0,8 – 1,2 МПа та ін. Така обробка проводиться протягом 8 – 16 годин. В автоклавах частіше обробляють вироби на вапняно-піщаних, вапняно-шлакових сумішах та при виготовленні виробів з пористих чи порожнистих бетонів.

Після виготовлення залізобетонні вироби підлягають контролю. Перевіряється зовнішній вид, лінійні розміри, розміщення арматури та закладних деталей, міцність бетону і відповідність проектній міцності. З кожної партії виробів беруться зразки і випробовуються на міцність, жорсткість та тріщиностійкість. Кожний виріб маркується.

## Тема 4.8. Будівельні розчини

### *Види будівельних розчинів*

Будівельним розчином називають штучний кам'яний матеріал, що утворюється в результаті твердіння правильно підбраної суміші в'язучої речовини, води, дрібного наповнювача (піску) та в необхідних випадках різних добавок. Суміш цих матеріалів до твердіння називають розчинною сумішшю. За своїм складом будівельний розчин є дрібнозернистим бетон, і для нього справедливі закономірності, властиві бетонам.

За щільністю в твердому стані розчини поділяють на важкі з щільністю  $1500 \text{ кг/м}^3$  і більше (для їх виготовлення застосовують важкі кварцеві чи інші піски) та легкі з щільністю менше  $1500 \text{ кг/м}^3$  (наповнювачами в них є легкі порожнисті піски з пемзи, туфів, шлаків, керамзиту та інших легких дрібних матеріалів).

За видом в'язучої речовини будівельні розчини поділяють на цементні вапняні, гіпсові та змішані (цементно-вапняні, цементно-глиняні, вапняно-гіпсові). Розчини, виготовлені на одному в'язучому називають простими, а на декількох в'язучих – змішаними або складними.

Для приготування розчинів застосовують піски з розміром зерна не більше 2,5 мм. Вміст глини, мулу та пилу має бути не більше 10%. Органічні речовини не допустимі для розчинів.

Для поліпшення укладування до складу розчину вводять глиняне молоко або спеціальні пластифікатори. Якщо розчин готують в зимових умовах, то до його складу вводять прискорювачі твердіння або добавки, що знижують температуру замерзання води (хлористий кальцій, хлористий натрій та ін.).

### *Властивості будівельних розчинів*

**Міцність** затверділого розчину залежить від активності в'язучої речовини, водоцементного відношення, тривалості та умов твердіння. При укладуванні розчину на пористу поверхню, яка інтенсивно всмоктує воду, міцність твердого розчину буде значно вища ніж при укладуванні на щільну основу.

Міцність розчину характеризується його маркою. Марка розчину встановлюється за межею міцності на стискуванні зразків у вигляді куба розміром 70,7 x 70,7 x 70,7 мм, витриманих при температурі 15 – 25 °C протягом 28 діб. Для будівельних розчинів передбачені марки 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 і 300.

При застосуванні шлакопортландцементу та пуццоланового портландцементу слід враховувати, що при температурах нижче 10 °C різко сповільнюється процес твердіння, а нижче 0 °C твердіння припиняється.

Важливою властивістю свіжого розчину є його **рухомість**, тобто здатність легко розпливатись по поверхні тонким шаром і заповнювати всі нерівності.



Рухомість підвищується кількістю води або застосуванням пластифікаторів. Але збільшення вмісту води веде до зниження міцності розчину.

Необхідний склад розчину визначають відповідними розрахунками та підбором складників.

### ***Розчини для кам'яної кладки***

Міцність, монолітність та довговічність кам'яної кладки в значній мірі залежить від якості розчину. Марки, вид і склад розчинів для різних видів кладок встановлюють з врахуванням вимог по міцності, характеру конструкцій та умов експлуатації. В сучасному будівництві частіше всього застосовують будівельні розчини марок 10, 25, 50, 75 і 100.

Для кам'яної кладки зовнішніх стін споруд переважно застосовують змішані цементно-вапняні та цементно-глиняні розчини марок 10, 25 і 50.

При монтажі стін з бетонних панелей шви заповнюють розчинами марок не нижче 100 для панелей з важкого бетону та не нижче 50 для панелей з легкого бетону. Цементні розчини марок 50 і 75 застосовують для підземної кладки та кладки нижче гідроізоляційного шару. Склад будівельного розчину частіше всього підбирають за таблицями, а якість розчину перевіряють лабораторними випробуваннями.

Для підвищення пластичності цементних розчинів до їх складу вводять органічні пластифікатори в кількості 0,03 – 0,2 % від маси цементу.

Стіни з цегли та інших матеріалів в зимовий час кладуть із застосуванням підігрітого розчину.

***Таблиця 4.2. Склад розчинів для кам'яної кладки***

Марка цементу	Склад будівельних розчинів марок				
	200	150	100	75	50
<b>Цементно – вапняні розчини</b>					
500	1:0,2:3	1:0,3:4	1:0,5:5,5	1:0,8:7	-
400	1:0,1:2,5	1:0,2:3	1:0,4:4,5	1:0,5:5,5	1:0,9:8
300	-	1:0,1:2,5	1:0,2:3,5	1:0,3:4	1:0,6:6
200	-	-	-	1:0,1:2,5	1:0,3:4
<b>Цементні розчини</b>					
500	1:3	1:4	1:5,5	1:6	-
400	1:2,5	1:3	1:4,5	1:5,5	-
300	-	1:2,5	1:3	1:4	1:6
200	-	-	-	1:2,5	1:4

### ***Облицювальні розчини***

Облицювальні розчини поділяють на розчини для звичайних штукатурок і декоративні розчини.

Для внутрішньої штукатурки застосовують вапняні, гіпсові, вапняно-гіпсові та цементно-вапняні розчини. Для штукатурки зовнішніх стін застосовують цементно-вапняні розчини. Для зовнішньої штукатурки цоколів, карнізів та інших ділянок стін, які систематично звожуються, застосовуються цементні і цементно-вапняні розчини на портландцементях.

Наповнювачем в штукатурних розчинах є пісок з розміром зерен не більше 2,5 мм. Для остаточного затирання стін застосовують розчини з дрібнозернистим піском (0,3 мм).

Для штукатурки внутрішніх стін можна застосовувати глиняні розчини, в яких наповнювачем є дрібна дерев'яна тирса.

В сучасному будівництві часто застосовують штукатурні сухі суміші на основі портландцементу. До сумішей додають різні полімерні добавки, які зміцнюють штукатурку та посилюють її прилипання до стіни. Додавання до штукатурної суміші полімерів надає штукатурці такої якості як еластичність, тобто штукатурка м'яко реагує на зміну температури та вологості і не утворює тріщин. Суміші, приготовлені в заводських умовах, мають точне дозування та однорідність і перед застосуванням потребують тільки додавання води.

### ***Спеціальні розчини***

До спеціальних розчинів, які застосовуються в будівництві, відносяться гідроізоляційні, ін'єкційні, акустичні та рентгенозахисні.

***Гідроізоляційні розчини*** застосовуються для облицювання поверхонь різних ємкостей для рідких продуктів, стін підвалів тощо. Їх готують на портландцементі, сульфатостійкому портландцементі та водонепроникному цементі. Орієнтовний склад розчинів для гідроізоляційної штукатурки 1:2,5 чи 1:3,5. Для підвищення водонепроникності до складу розчину вводять ущільнюючі добавки (алюмінат натрію, хлорне залізо, бітумну емульсію, латекси тощо).

***Ін'єкційні розчини*** служать для заповнення каналів в попередньо навантажених конструкціях з метою захисту арматури від корозії. Марка ін'єкційного розчину має бути не нижче 300. Готують ці розчини на дрібному піску і портландцементі марки 400 і вище.

***Акустичні розчини*** застосовують для отримання звукопоглинаючої штукатурки. Розчини готують на портландцементі, шлакопортландцементі, вапні, гіпсі та їх сумішах. Наповнювачами є крупні піски (3 – 5 мм) з легких порожнистих матеріалів: пемзи, керамзиту та ін.

***Рентгенозахисні розчини*** готують з портландцементу чи шлакопортландцементу і спеціального піску зернистістю до 1,25 мм. До складу розчинів вводять добавки, що містять літій, кадмій та ін.

## **Тема 4.9. *Керамічні та силікатні матеріали.***

### ***Керамічні матеріали***

Керамічними називаються матеріали, отримані з глинистої маси або з її суміші з мінеральними добавками шляхом формування та обпалювання. В сучасному будівництві кераміка застосовується для зведення стін і дахів, облицювання підлоги і стін, кладки печей і димарів, влаштування каналізації і дренажних систем тощо.

### ***Виробництво керамічних матеріалів та виробів***

Основною сировиною для виробництва кераміки є глини. Для поліпшення технологічних властивостей глини та з метою надання виробам певних фізико-механічних властивостей застосовуються добавки.

Глина є продуктом руйнування гірських порід і складається в основному з каолініту  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ . До складу глини також входять частинки кварцу, слюди та інших мінералів. Глинисті частинки мають розмір до 0,005 мм, зерна піску мають розмір 0,15 – 5 мм.

При виготовленні кераміки важливе значення мають такі властивості глини як пластичність, повітряна та вогнева усадка, вогнестійкість і колір виробу.

Пластичністю називають здатність глиняного тіста прийняти задану форму без утворення тріщин. Зі збільшенням вмісту глинистих частинок пластичність зростає, але при цьому збільшується усадка виробу під час сушіння та обпалювання. Розрізняють глини високопластичні (жирні), глини середньої пластичності та низькопластичні (бідні) глини.

Жирні глини мають добру пластичність, легко піддаються формуванню, але під час сушіння дають усадку більше 10 % та утворюють тріщини.

Бідні глини погано піддаються формуванню, але повітряна усадка не перевищує 6%. Для підвищення пластичності до складу таких глин вводять поверхнево-активні добавки.

Вогнева усадка – це зменшення лінійних розмірів виробу в процесі обпалювання. Вона знаходиться в межах 1 – 4 %.

Вогнестійкість – це здатність глини витримувати високі температури без деформування. За вогнестійкістю глини поділяють на вогнестійкі з температурою розм'ягчення вище 1580 °С, тугоплавкі (1580 – 1350 °С) і легкоплавкі з температурою розм'ягчення нижче 1350 °С.

Вогнетривка глина має невелику кількість домішок, високо пластична, застосовується для вогнетривких, фарфорових і фаянсових виробів. Тугоплавкі глини застосовуються для виготовлення керамічної плитки, труб та інших виробів. З легких глин виготовляють червону цеглу, черепицю тощо.

Колір кераміки залежить від складу і кількості домішок в глині. Чиста глиняна сировина, каолін, має білий колір. Оксиди заліза дають глині забарвлення від світло-жовтого до темно-червоного кольору. Необхідний колір кераміки можна отримати введенням певних мінеральних добавок.

Через велику усадку і тріщини жирні глини в чистому вигляді рідко застосовуються для виробництва кераміки. До їх складу вводять пісок, шлак, золу, подрібнену кераміку, шамот тощо.

Для отримання пористої теплоізоляційної кераміки застосовують добавки, які вигоряють в процесі обпалювання (тирса, вугільний порошок, торф та ін.).

Підготовка глини до виготовлення виробів складається з подрібнення її, вилучення шкідливих домішок, внесення необхідних добавок та зволоження.

Формування керамічних виробів може виконуватись пластичним, напівсухим способами та литтям.

Пластичний спосіб полягає в тому, що глиняна маса ущільнюється і виштовхується шнеком преса через отвір певної форми у вигляді безперервного бруса. На виході брус розрізується на частини.

Напівсухим способом виробляють керамічну плитку та інші вироби шляхом пресування в формах під тиском до 15 МПа. Сирець напівсухого пресування має чітку форму і точні розміри.

Санітарно-технічні вироби та облицювальну плитку можна виготовляти відливанням глиняної маси в спеціальні форми.

Сформовані вироби для зниження вологості сушать на повітрі або в печах. Частіше всього вироби сушать в тунельних печах за рахунок спалювання газу.

Вироби після сушіння подають на обпалювання. Спочатку сирець повільно нагрівають до 100 – 120 °С. При цьому видаляється вільна вода. При подальшому нагріванні до 750 °С видаляється хімічно зв'язана вода і вигоряють органічні домішки. При подальшому підвищенні температури глиняна маса спікається і набуває необхідних властивостей. Остаточна температура призначається з врахуванням властивостей глини та виду виробу.

Глазуровані вироби обпалюють два рази. Після першого обпалювання на поверхню виробу наносять шар глазури з легкоплавкої глини, кварцу, польового шпату, оксидів свинцю, цинку тощо і знову обпалюють. Компоненти глазури розплавляються і створюють на поверхні виробу склоподібний шар, який забезпечує наряду з декоративними якостями високу водонепроникність.

### ***Керамічні вироби***

Найбільш поширеними керамічними виробами є ***керамічна цегла***. Цегла випускається розмірами 250 x 120 x 65 мм або 250 x 120 x 88 мм. Модульна цегла товщиною 88 мм має технологічні порожнини.

Цегла має бути нормально обпаленою. Недопалена цегла має знижену щільність і морозостійкість. Перепалена цегла більш щільна і міцна але має відносно високу теплопровідність.

Щільність цегли знаходиться в межах 1600 – 1900 кг/м<sup>3</sup>. Більшу щільність і, відповідно, більшу теплопровідність має цегла, яка формується напівсухим пресуванням.

За межею міцності на стискування цегла випускається таких марок: 75, 100, 125, 150, 175, 200 та 300.

Для зменшення маси стін і зниження теплопровідності застосовують пористу і порожнисту цеглу та керамічний камінь (цегла великих розмірів). Пориста цегла має щільність 700 – 1500 кг/м<sup>3</sup>. Порожниста цегла і керамічний камінь мають наскрізні або глухі отвори циліндричної чи прямокутної форми.

Для облицювання внутрішніх і зовнішніх стін та підлоги застосовують ***керамічну плитку***. Склад глинистої маси та спосіб виготовлення вибираються залежно від призначення плитки. Лицева сторона плитки може бути гладкою і фактурною, неглазурованою і глазурованою, певного кольору. Зворотна сторона може мати заглиблення для кращого з'єднання з цементним розчином.

Для облицювання фасадів будівель може застосовуватись ***лицювальна цегла***, яка має правильну форму, чіткі грані і однорідний колір.

***Каналізаційні труби*** виготовляються з вогнетривких або тугоплавких глин. Після сушіння на зовнішню та внутрішню поверхні труби наносять глазур і обпалюють. Глазурована поверхня надає трубі водонепроникність і високу стійкість проти дії кислот та лугів.

**Дренажні труби** виготовляють неглазурованими з легкоплавких глин і суглинків. Для підвищення водопроникності вони мають наскрізні канавки чи прорізи.

Для виготовлення легких бетонів застосовують керамічний пористий матеріал керамзит. Керамзит отримують обпалюванням легкоплавкої глини, які можуть здуватись при швидкому нагріванні до 1050 – 1300 °С. Здування глини забезпечують гази, які утворюються при розкладанні різних речовин, що є в сировини. З метою посилення здування до глини додають тирсу, мелене вугілля та інші матеріали. Керамзит випускають у вигляді гранул розмірами від 5 до 40 мм з поділом на фракції. Зерна розміром до 5 мм відносяться до керамзитового піску.

### ***Силікатні матеріали та вироби***

Силікатні вироби отримують в результаті формування і наступної автоклавної обробки суміші вапна чи інших в'язучих на її основі з дрібно розмеленими кремнеземистими добавками, піском і водою.

Силікатна цегла виготовляється з суміші кварцового піску з вапном шляхом пресування і твердіння в автоклаві. Суміш складається з 6 – 8 % вапна, 92 – 94 % піску і 7 – 8 % води. Приготована суміш пресується під тиском в 15 – 20 МПа і пропарується в автоклаві при температурі 175 °С та тиску пари 0,8 МПа.

Силікатна цегла міцніша за керамічну, більш щільна, але її не рекомендують застосовувати в умовах високої вологості та в конструкціях, що витримують дію високих температур.

В будівництві також застосовують щільні і легкі силікатні бетони. З щільного силікатного бетону виготовляють великі стінові суцільні та порожнисті блоки, панелі і плити перекриття, колони, балки та інші армовані вироби.

Легкі та порожнисті бетони застосовують для виготовлення конструкційних, конструкційно-теплоізоляційних та теплоізоляційних виробів. Такі вироби отримують шляхом обробки в автоклавах вапняно-піщаної суміші, до складу якої додають стійку піну (піносилікати) або алюмінієву пудру чи інші газоутворювачі (газосилікати). Теплопровідність порожнистих силікатних виробів в 2 – 10 разів нижча теплопровідності силікатної цегли.

## ***ЛІТЕРАТУРА***

1. Попович В.В., Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Львів. Світ, 2006.
2. Попов Л.Н. Строительные материалы и детали. М. Стройиздат, 1986.
3. Кузьмин Б.А. и др. Технология металлов и конструкционные материалы. М. Машиностроение, 1989.

4. Никифоров В.М. Технология металлов и конструкционные материалы. М. Высшая школа, 1986.
5. Середюк В.С. Лабораторні роботи з технології конструкційних матеріалів. Новоград-Волинський. НВПЕТ, 2009.
6. Середюк В.С. Практичні роботи з технології конструкційних матеріалів. Новоград-Волинський. НВПЕТ, 2009.

### **Зміст**

Вступ. Зміст предмету «Матеріалознавство і ТКМ» .....	3
1. Основні властивості металевих і неметалевих матеріалів.....	4
<i>Тема 1.1.</i> Будова металів, методи дослідження їх структури.....	4
<i>Тема 1.2.</i> Основні властивості конструкційних матеріалів .....	9
2. Конструкційні метали і сплави.....	14
<i>Тема 2.1.</i> Основні положення теорії сплавів. Сплави заліза з вуглецем.....	14
<i>Тема 2.2.</i> Виробництво чавуну і сталі.....	19
<i>Тема 2.3.</i> Вуглецеві сталі.....	25
<i>Тема 2.4.</i> Чавуни.....	29
<i>Тема 2.5.</i> Основи термічної і хіміко-термічної обробки металів.....	33
<i>Тема 2.6.</i> Леговані сталі.....	39
<i>Тема 2.7.</i> Інструментальні матеріали.....	44
<i>Тема 2.8.</i> Сплави кольорових металів.....	49
<i>Тема 2.9.</i> Корозія металів і способи захисту від неї.....	54
3. Основи обробки тиском та з'єднання конструкційних матеріалів.....	59
<i>Тема 3.1</i> Обробка тиском.....	59
<i>Тема 3.2.</i> Зварювання, паяння і розрізування матеріалів.....	64
4. Неметалеві конструкційні матеріали .....	75
<i>Тема 4.1.</i> Пластичні маси. ....	75
<i>Тема 4.2.</i> Композиційні матеріали.....	81
<i>Тема 4.3.</i> Скло і склокристалеві вироби.....	85
<i>Тема 4.4.</i> Гумові матеріали.....	87
<i>Тема 4.5.</i> Деревні матеріали.....	88
<i>Тема 4.6.</i> Мінеральні в'язучі речовини.....	94
<i>Тема 4.7.</i> Бетони і залізобетони .....	98
<i>Тема 4.8.</i> Будівельні розчини.....	105
<i>Тема 4.9.</i> Керамічні та силікатні матеріали.....	107
Література.....	110

