

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Факультет природничих наук та технологій  
Кафедра нафтогазової інженерії та буріння

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

завідувач кафедри

Коровяка Є.А. 

«21» січня 2021 року

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**  
з дисципліни  
**«Матеріалознавство»**

Галузь знань .....	18 Виробництво та технології
Спеціальність .....	185 Нафтогазова інженерія та технології
Освітній рівень .....	бакалавр
Освітньо-професійна програма..	«Нафтогазова інженерія та технології»
Статус .....	вибіркова
Загальний обсяг .....	4 кредити ЄКТС (120 годин)
Форма підсумкового контролю	диференційований залік
Термін викладання .....	
Мова викладання .....	українська

Викладач: доц. Пащенко О.А.

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_»\_\_ 20\_\_р.  
(підпис, ПІБ, дата)

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_»\_\_ 20\_\_р.

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2021

## ВСТУП

Дисципліна "Матеріалознавство" є однією з профільюючих дисциплін, яка безпосередньо пов'язана з подальшою професійною діяльністю фахівців напряму "Гірництво" професійного спрямування "Буріння". Основною метою цієї дисципліни є підготовка студентів для здійснення на сучасному рівні вибору матеріалів для різних виробів (деталей машин, інструментів, у т.ч. породоруйнівних та ін.) з урахуванням таких важливих критеріїв, як фізичні, технологічні, хімічні, біологічні та економічні.

Курс "Матеріалознавство" складається з двох частин: "Металознавство" та "Неметалічні матеріали".

Металознавство – наука, яка вивчає залежність між складом, будовою та властивостями матеріалів та сплавів і закономірністю їх змін під дією теплових, хімічних, механічних, електромагнітних та радіоактивних впливів.

Сучасне машинобудування характеризується високою енергонапруженістю, а також важкими умовами експлуатації (вакуум, низькі та високі температури, агресивні середовища, висока радіація та ін.). Такі умови роботи машин ставлять до матеріалів особливі вимоги. Для того, щоб задовольняти ці вимоги, створено багато сплавів на основі різних металів.

Залізо та сплави на його основі (сталь, чавун) прийнято називати чорними металами, а інші метали та сплави – кольоровими. Крім того, розрізняють:

- 1) легкі метали (Be, Mg, Al, Ti), які мають малу щільність;
- 2) легкоплавкі метали (Zn, Cd, Hg, Sn, Pb, Ta, Sb);
- 3) важкоплавкі метали (W, Mo, Nb), які мають температуру плавлення вищу, ніж залізо;
- 4) благородні метали (Ag, Au, Pd, Pt, Rh, Ru, Os), які мають хімічну інертність;
- 5) уранові метали – актиніди, які використовують в атомній техніці;
- 6) рідкоземельні метали (лантаніди – Ce, Pr, Nd, Sm);
- 7) лужноземельні метали (Na, K, Ca).

У сучасній техніці широко застосовуються сталі, які забезпечують високу конструктивну міцність, і сплави, що залишаються міцними при високих температурах (1000-3000 °C), в'язкими при температурах близьких до абсолютного нуля, які мають високу корозійну стійкість в агресивних середовищах, а також з іншими фізико-хімічними властивостями.

Друга частина посібника присвячена надтвердим та тугоплавким матеріалам. Застосування надтвердих матеріалів – важливий напрямок науково-технічного прогресу в різних галузях промисловості, у т.ч. і при бурінні свердловин.

Нарівні з металами у машинобудуванні широко застосовують неметалічні матеріали, такі як: пластичні маси, плівки, волокна, гумові матеріали, клеї, лакофарбові покриття, деревину, а також силікатне скло, кераміку та ін.

Вони служать не тільки заміниками металів, а й застосовуються самостійно. Окремі різновиди мають високу механічну стійкість, вони легкі, термічно та хімічно стійкі, мають високі електроізоляційні властивості, оптичну прозорість та ін.

Можна відзначити також технологічність неметалічних матеріалів, основою яких є переважно синтетичні полімери.

## 1. МЕТАЛОЗНАВСТВО ТА ТЕРМІЧНА ОБРОБКА

1.1. Кристалічна будова металів.

1.1.1. Загальні властивості металів.

Із 104 елементів періодичної системи Д.І. Менделєєва 82 є метали (табл. 1).

Усі метали та металічні сплави – кристалічні тіла, у яких атоми (іони) розташовані закономірно та періодично.

Метали – полікристалічні тіла, які складаються з великої кількості дрібних ( $10^{-1} - 10^{-3}$  см) по різному орієнтованих відносно один одного кристалів. Вони мають неправильну форму і називаються "кристалами" або "зернами" металу.

Метали в твердому і часті в рідкому стані мають високу тепло- і електропровідність. Велика кількість металів ( $\sim 20$ ) є надпровідниками (при температурі, близькій до абсолютного нуля, електроопір спадає стрибкоподібно до дуже малої величини); володіють термоелектронною емісією (здібністю випускати електрони при нагріванні); хорошою відбивальною здібністю (метали непрозорі і мають металічний блиск); підвищеною здібністю до пластичної деформації. Ці властивості характеризують металічний стан речовини.

Усі найбільш характерні властивості металів пояснюються наявністю в них легкорухомих електронів провідності.

Як відомо, атом складається з позитивно зарядженого ядра та негативно заряджених електронів, що рухаються навколо нього. Число електронів в атомі дорівнює позитивному заряду ядра. Розрізняють зовнішні (валентні) електрони, зв'язок яких з ядром незначний, внутрішні – більш міцно зв'язані з ядром.

Атоми металів утримують на зовнішньому енергетичному рівні незначну кількість електронів. По одному електрону утримують 16 елементів, по два – 55 елементів, по три – 4 елементи. Зв'язок електрона з атомом визначається роботою виходу електрону, тобто роботою, необхідною для видалення з ізолюваного атома зовнішнього електрона.

Зовнішні електрони за сучасною теорією будови металів дуже слабо зв'язані з ядром, тому вони здібні відщеплюватися від атомів і знаходитися у відносно вільному стані, створюючи електронний газ.

Металічний стан виникає в комплексі атомів, коли при їх зближенні зовнішні електрони втрачають зв'язок з окремими атомами, стають спільними, легко переміщуються між іонами.

Метал складається з іонів, що рівномірно розміщені в просторі, і спільних електронів, які переміщуються серед них.

Стійкість металу визначається електричним притяганням між позитивно зарядженими іонами та спільними електронами. Така взаємодія між іонним каркасом і електронним газом має назву "металічний зв'язок".

Сила зв'язку в металах визначається силами відштовхування та притягання між іонами та електронами, які не мають різко вираженого спрямованого характеру. Атоми (іони) намагаються розташуватися на такій відстані один від одного, щоб енергія взаємодії була мінімальна.

Металічний стан характеризується високою міцністю зв'язку. Мірою її є теплота взгонки (випаровування), під якою розуміють енергію, необхідну для

розподілу твердого металічного тіла на окремі атоми. Теплота сублімації для металів змінюється від 20 до 220 ккал/г-атом.

Наведені положення дозволяють пояснити властивості металів. Висока електропровідність металів пояснюється присутністю в них вільних електронів, які під впливом різниці потенціалів переміщуються від негативного полюсу до позитивного. З підвищенням температури підсилюється коливання іонів (атомів), що утруднює прямолінійний рух електронів, у результаті чого електроопір зростає. Біля абсолютного нуля опір багатьох металів відсутній. Висока теплопровідність металів обумовлена більшою рухомістю вільних електронів, а також рухом іонів (атомів), що коливається, у зв'язку з чим діється швидке вирівнювання температури в масі металу.

Висока пластичність металів пояснюється не спрямованістю металічного зв'язку, а рівномірним розподілом електронів по об'єму кристалу. В процесі пластичної деформації металу (кування, прокатка та ін.), зв'язок між іонами (атомами) не порушується.

Розрізняють перехідні та прості метали. Перехідні метали відрізняються від простих своїми властивостями. У них недобудована внутрішня електронна підгрупа за наявності електронів на зовнішній оболонці, що показує властивості перехідних металів: змінна валентність, парамагнетизм, феромагнетизм деяких елементів (Fe, Ni, Co), велике значення теплоти сублімації, та як наслідок цього високі температури плавлення, знижені електро- та теплопровідності та ін.

Чисті метали ( $\geq 99,99\%$ ) мають низьку міцність і не забезпечують необхідних фізико-хімічних та технологічних властивостей. Тому вони застосовуються рідко. Найбільш широко застосовуються сплави. Сплави одержують сплавленням або спіканням двох чи більше металів, або металів з неметалами.

Вони мають властивості, характерні для металічному стану. Речовини, які утворюють сплав, називаються компонентами. Компонентами металічних сплавів можуть бути не тільки метали, а й неметали та хімічні сполуки.

Під структурою розуміють будову металу або сплаву. Структуру металу можна розділити на макроструктуру (будова металу або сплаву видима неозброєним оком чи при збільшенні в 30-40 разів) та мікроструктуру (будова, яка спостерігається за допомогою мікроскопа).

Макроструктуру можна досліджувати по злому і на спеціальних макрошліфах. Вивчення злому – найбільш простий метод виявлення кристалічної будови металу. По злому роблять висновок про розміри зерна, особливості виплавки та лиття, термічну обробку.

Важливим завданням металознавства є встановлення зв'язку між структурою та властивостями металічних сплавів.

### 1.1.2. Атомно-кристалічна структура.

Під атомно-кристалічною структурою розуміють взаємне розташування атомів, яке є в кристалі. Він складається з атомів (іонів), розташованих у певному порядку, який періодично повторюється в трьох вимірюваннях.

Для опису атомно-кристалічної структури користуються поняттям просторових або кристалічних ґрат.



Кристалічні ґрати зображують собою уявні просторові ґрати, у вузлах яких розміщуються атоми (іони), що утворюють метал.

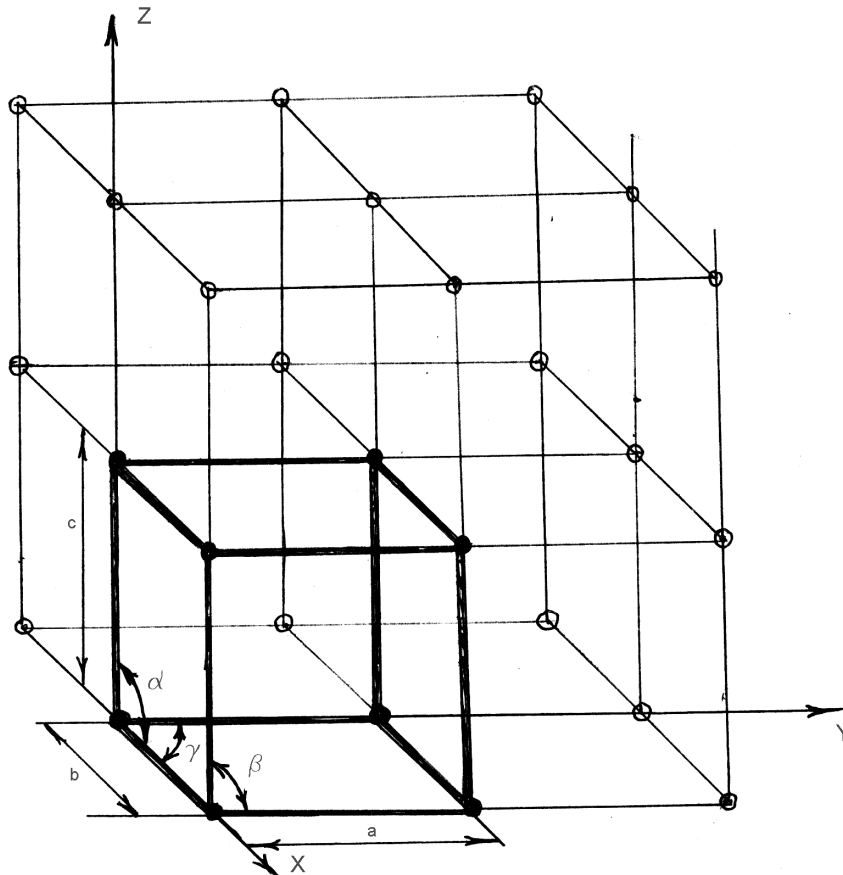


Рис. 1. Кристалічні ґрати

На рис. 1 наведений приклад кристалічних ґрат. Товстими лініями виділяється найменший паралелепіпед, послідовним переміщенням якого в просторі вздовж трьох просторових координат можуть бути побудовані всі ґрати або кристал.

Найменший об'єм кристалу, який дає уяву про атомну структуру металу в цілому об'ємі, має назву елементарного кристалічного осередку.

Просторові ґрати підрозділяються на сім систем (сингоній), виходячи із співвідношення між осьовими одиницями та вузлами.

Позначимо ребра осередку (паралелепіпеду) через  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , кути між ребрами –  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Тоді сім кристалографічних систем відповідають наступним формам осередку.

- |                   |                   |     |   |
|-------------------|-------------------|-----|---|
| 1) Триклинна:     | $a \neq b \neq c$ | $i$ | $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$     |
| 2) Моноклинна:    | $a \neq b \neq c$ | $i$ | $\alpha = \gamma = 90^\circ; \beta \neq 90^\circ$ |
| 3) Ромбічна:      | $a \neq b \neq c$ | $i$ | $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$              |
| 4) Гексагональна: | $a = b \neq c$    | $i$ | $\alpha = \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$   |
| 5) Ромбоєдрична:  | $a = b = c$       | $i$ | $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$           |
| 6) Тетрагональна: | $a = b \neq c$    | $i$ | $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$              |
| 7) Кубічна:       | $a = b = c$       | $i$ | $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$              |

Кристалічні ґрати, в яких на один елементарний осередок випадає один атом, зветься простими. Ґрати, в яких на один елементарний осередок випадає декілька атомів, зветься складними.

Метали створюють одну з наступних високосиметричних складних ґрат з щільним упакуванням атомів:

- 1) кубічну об'ємно-центровану,
- 2) кубічну гране-центровану,
- 3) гексагональну.

У кубічних об'ємно-центрованих ґратах атоми розташовані у вузлах осередку і один атом у центрі об'єму куба (рис. 2, а). Кубічні гране-центровані ґрати мають такі метали: Rb, Na, K, Li, W, Ta, Cr, Nb та ін.

У кубічних гране-центрованих ґратах атоми розташовані в кутах куба та в центрі кожної грані (рис. 2, б). Цей тип ґрат мають метали: Ce, Pb, Ni, Ag, Au, Pt, Fe<sub>β</sub>, Cu, Co<sub>λ</sub>, та інші (табл. 1).

У гексагональних ґратах (рис. 2, в) атоми розташовані в кутах і центрі шестигранних основ призми і три атоми в середній площі призми. Цей тип ґрат мають метали Mg, Ti<sub>λ</sub>, Cd, Re, Zn, Ru, Be, Ca<sub>λ</sub> та інші. Нарешті, деякі метали (Sn<sub>β</sub>, In) мають тетрагональні ґрати (табл. 1).

Розмір кристалічних ґрат характеризується величинами періоду, під котрим розуміють відстань між ближніми паралельними атомними площинами, які утворюють елементарний осередок (рис. 2). Період ґрат вимірюється в ангстремах ( $1\text{Å}=10^{-8}\text{ см}$ ) чи в кілоіксах ( $1\text{kX}=1,00202\cdot 10^{-8}\text{ см}$ ). Період ґрат металів є в межах від 1 до 7 Å.

На один елементарний осередок об'ємно-центрованих ґрат приходить два атоми, один атом у центрі куба і один атом по масі вносять атоми, розташовані в вершинах куба (кожен атом у вершині куба одночасно належить восьми елементарним осередкам і на даний осередок приходить  $1/8$  маси атома, а на осередок  $1/8 \times 8 = 1$  атом).

На елементарний осередок гране-центрованих кубічних ґрат приходить чотири атоми: з них один атом вносять атоми, розташовані в вершинах куба ( $1/8 \times 8$ ), і три атоми вносять атоми, розташовані на середині грані, бо вони належать двом ґратам.

На елементарний осередок гексагональних щільноупакованих ґрат приходить шість атомів ( $3+1/6 \times 12+1/2 \times 2 = 6$ ).

**Щільність кристалічних ґрат характеризується координаційним числом, під яким розуміють число атомів, які знаходяться на однаковій та найменшій відстані від даного атома. Чим вище координаційне число, тим більша щільність упакування атомів.**

Координаційне число кубічних об'ємно-центрованих ґрат дорівнює 8 і позначається K8. Коефіцієнт заповнення осередку складає 68 %.

Гране-центровані кристалічні ґрати мають координаційне число 12 (K12).

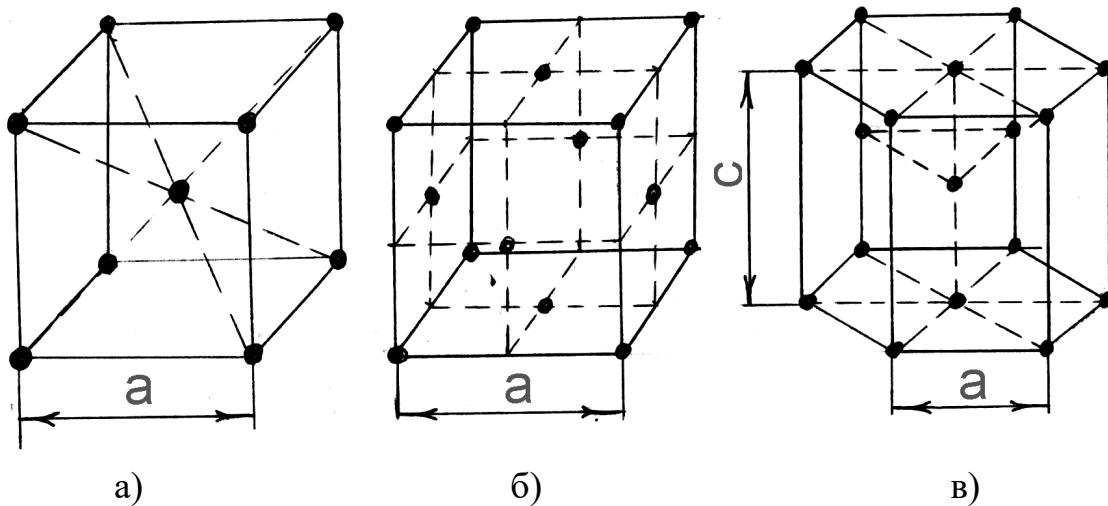


Рис. 2. Кристалічні грати:

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

Гексогональні щільноупаковані грати мають також координаційне число 12 (К12), що відповідає найбільшій щільності упаковки шарів.

Гране-центровані кубічні та гексагональні щільноупаковані грати – найбільш компактні, вони мають коефіцієнт заповнення об'єму атомами рівним 74 %.

При зменшенні координаційного числа в ґратах К12 до 6 коефіцієнт заповнення буде 50 %, а при координаційному числі 4 – лише 25 %.

Неметали мають більш складні кристалічні грати з невеликим координаційним числом.

## 1.2. Пластична деформація та механічні властивості.

### 1.2.1. Різновиди напруження.

Деформацією називається зміна розмірів та форми речовини під дією зовнішніх сил. Деформація викликається механічною дією зовнішніх сил, прикладених до тіла, або різними фізико-механічними процесами, виникаючими в тілі.

**Напруження, що виникають в простому випадку осьового розтягання, мають вигляд:**

$$S = P/F; \text{ Н/мм}^2$$

Сила  $P$ , прикладена до якоїсь площі, звичайно не перпендикулярна до неї, а направлена під деяким кутом. Тому в тілі виникають нормальні та дотичні напруження (рис. 3).

Так як напруження викликаються різними причинами, то розрізняють тимчасові напруження, що виникають під дією зовнішнього навантаження, та ті, що зникають після зняття його, а також внутрішні напруження, які виникають і врівноважуються в межах даного тіла без дії зовнішнього навантаження.

Внутрішні напруження утворюються в зв'язку з неоднорідним розподілом деформацій по об'єму тіла. Вони виникають при швидкому нагріві або охолодженні металів, внаслідок неоднорідного розширення (стиснення) поверхневих і внутрішніх шарів.

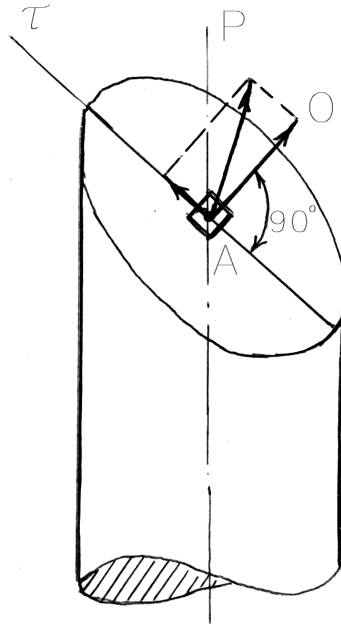


Рис. 3. Схема розкладання напруження на нормальну та дотичну складові

Розрізняють внутрішні напруження першого роду, зрівноважені в об'ємі всього тіла – макронапруження.

Напруження другого роду (мікронапруження) врівноважені в об'ємі зернини і виникають в процесі фазових перетворень і деформацій металу.

Напруження третього роду (субмікроскопічні) локалізовані в об'ємах кристалічного осередку та є статичними викривленнями ґрат, тобто зміщенням на частини ангстрема з кутів кристалічних ґрат.

Внутрішні напруження чинять великий вплив на властивості металу.

Напруження другого та третього роду визначають рентгенівським методом.

### 1.2.2. Фізичні основи пластичності та міцності металів.

**Під механічними властивостями розуміють величини, які характеризують поведінку металу під дією механічних сил. Часто механічні властивості металу характеризують наступними величинами: міцністю, під якою розуміють опір металу деформації й руйнуванню, та пластичністю, тобто здібністю металу до залишкової деформації без руйнування. Мала пластичність чи її відсутність називається крихкістю.**

Пружна деформація. Пружною деформацією зветься деформація, вплив якої на форму, структуру і властивості тіл зовсім зникає після припинення дії зовнішніх сил. При пружинній деформації відбувається тільки незначне зміщення ато-

мів або поворот блоків кристалу. При розтягненні монокристалу атоми віддаляються один від одного, а при стисненні – зближуються. При такому зміщенні атомів з положення рівноваги порушується баланс сил притягання і електростатичного відштовхування. Тому після зняття навантаження зміщені атоми повертаються в початковий рівноважний стан і кристали набувають первісну форму та розміри.

Напруження, яке витримує зразок, не даючи залишкової деформації після розвантаження, називають межею пружності. Величина пружного зміщення атома (рис. 4) відносно його сусідів дуже мала лінійно залежить від навантаження (закон Гука).

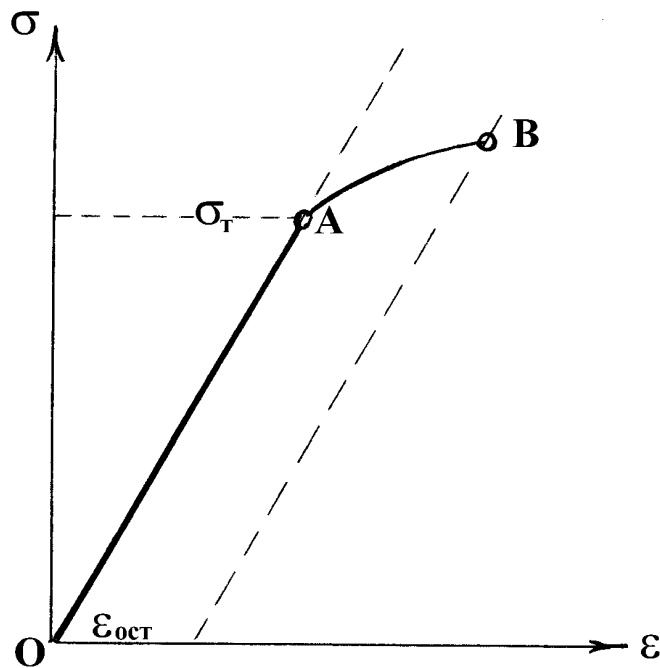


Рис. 4. Крива розтягнення пластичного металу:

ОА – ділянка пружної деформації;

АВ – ділянка пластичної деформації

$$\sigma = E \Delta L / L$$

де  $E$  – модуль пружності, або модуль Юнга, що характеризує жорсткість матеріалу, тобто його опір пружним деформаціям;  $\Delta L / L$  – відносна пружна деформація кристалу.

Модуль пружності мало залежить від структури металу та його обробки і визначається типом кристалічних ґрат. Модуль пружності деяких металів приведено нижче.

Метал	Mo	Al	Cu	Fe
$E, \text{Н/мм}^2$	45000	72000	103000	210000

Пластична деформація. При деякому напруженні  $\sigma_T$ , що отримав назву межа текучості, порушується пряма пропорційність між  $\sigma$  і  $\Delta L$  і з'являється залишкова (пластична) деформація, яка не зникає після зняття навантаження. Така деформація зв'язана з переміщенням в середині зерен на великі відстані і викликає залишкові зміни форми. Після зняття навантаження тіло не відновлює первісну форму, структуру та властивості.

Пластична деформація в кристалах може здійснюватися ковзанням і подвійниками. Ковзання (зміщення) окремих часток кристалу відносно одного відбувається під дією дотичних напружень, коли вони досягають критичного розміру ( $\tau_{кр}$ ).

Зміцнення металу в процесі пластичної деформації одержало назву наклеп і вказує на те, що проходять необоротні процеси, зв'язані з переміщенням атомів і окремих частин кристалу один відносно одного.

Схема пружної та пластичної деформацій металу з кубічною структурою, до якого прикладені дотичні напруження, показана на рис. 5.

Ковзання в кристалічних ґратах проходить по площинах і напрямках з найбільш щільним розташуванням атомів, де розмір опору зрушенню найменший. Це пояснюється тим, що в цих напрямках розмір переміщення атома з одного положення рівноваги в інше буде найменшим, а відстань між суміжними атомними площинами найбільша, тобто зв'язок найменший.

Руйнування. Будь-який процес деформації при зростанні напружень до відповідної величини закінчується руйнуванням. Розрізняють крихке та в'язке руйнування.

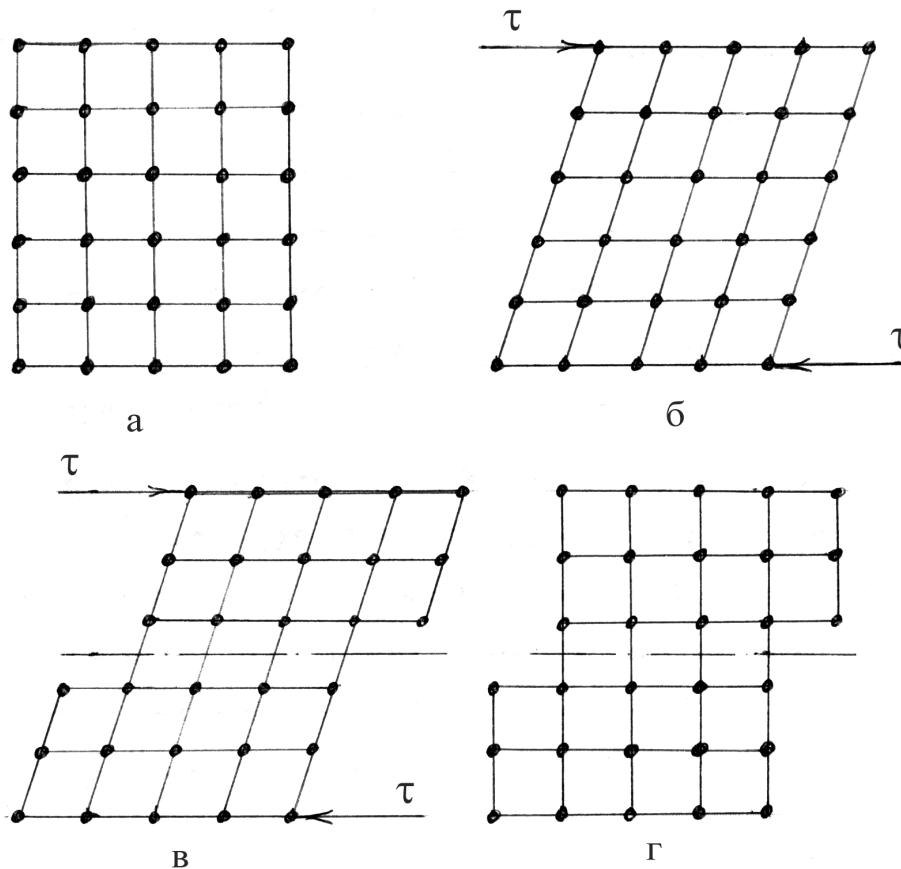
Крихке руйнування зводиться до порушення міжатомних зв'язків під впливом нормальних напружень. При збільшенні нормальних напружень спочатку буде пружна деформація, а потім виникає руйнування шляхом відриву. Крихке руйнування не супроводжується пластичною деформацією. Проте, чисто крихке руйнування не зустрічається. Руйнуванню завжди передують деяка пластична деформація.

Опір крихкому руйнуванню в момент руйнування називається крихкою міцністю, або опором відриву ( $S_K$ ). Таке руйнування має цинк та його сплави, залізо і малолеговані сталі.

В'язке руйнування, яке протікає внаслідок дотичних напружень, що досягли певної величини, що називається опором зрушенню ( $\sigma_{зр}$ ). Цьому виду руйнування передують значна пластична деформація. Злом волокнистий. Однак дуже часто руйнування металу відбувається шляхом складного сполучення цих двох видів руйнування.

### 1.2.3. Методи вимірювання механічних властивостей.

**Для одержання кількісних характеристик міцності та пластичності матеріалів прийнято виміряти їхні механічні властивості при різних способах навантаження металу, що дозволяють судити про зміни безпосередньо в процесі пластичної деформації. Такими способами є розтягання і стискання,**



**вигин і кручення, циклічні навантаження. Випробування можуть бути статичними, коли навантаження збільшуються повільно, і динамічними (ударний), зв'язаними з прикладанням навантаження з високою швидкістю.**

Рис. 5. Пружинна та залишкова деформація металу з кубічною структурою, що був підданий дії напруження зміщення:

а – ненапружений кристал;

б – пружна деформація, обумовлена меншою силою зрушення, ніж межа пружності;

в – збільшення пружної та пластичної деформації, викликані ковзанням при більшому навантаженні, ніж межа пружності;

г – навантаження, що обумовлює появу зрушення

Найбільш простим способом визначення міцносних властивостей, що не вимагає виготовлення зразків спеціальної форми і практично не руйнує зразок або деталь, є вимірювання твердості.

Твердістю називають опір матеріалу пластичній деформації при контактних напруженнях, тобто напруженнях, що різко змінюються в поверхневому шарі. Джерелом напружень служить конус або куля.

Найбільш відомими методами вимірювання твердості є методи вимірювання за Бринелем, Роквелом, Віккерсом і вимірювання мікротвердості.

При вимірюванні твердості за Бринелем у зразок удавлюють сталеву кулю і величину твердості НВ визначають через відношення прикладеного навантаження  $P$  до площі відбитку кулі  $S$ . За Бринелем звичайно вимірюють твердість

відносно м'яких матеріалів (відпалених сталей, кольорових металів та сплавів тощо).

При вимірюванні твердості за Роквелом індентором служить сталена куля (шкала В при навантаженні рівному 1000 МПа) або алмазний конус (шкала А при навантаженні рівному 600 МПа чи шкала С при навантаженні 1500 МПа). Числом твердості в цьому методі є деяка умовна величина, обернена глибині удавлення індентора. Цю величину визначають безпосередньо через показання приладу. Згідно зі шкалами, що відповідають умовам навантаження, твердість позначається HRA, HRB, HRC. Кулю використовують для м'яких матеріалів, алмазний конус – для більш твердих (дуже тверді, але тонкошарові матеріали випробуються по шкалі А).

За методом Віккерса в зразок удавлюють алмазну піраміду. Твердість визначають по величині діагоналі відбитку і позначають HV. Цей метод використовують для випробування тонких стрічок і покриттів.

Інколи значення твердості за Бринелем розраховують для приблизної оцінки тимчасового опору (межі міцності)  $\sigma_b$  за формулою:  $\sigma_b \approx HB/3$ , однак цей перерахунок надійний не в усіх випадках.

Якщо необхідно визначити не середню твердість матеріалу, а твердість його окремих структурних складових або твердість дуже тонких шарів покриттів на поверхні, то застосовують метод мікротвердості. У цьому методі алмазну піраміду удавлюють у певну ділянку зразка (при навантаженнях 0,05-1,00 Н) і діагональ відбитку вимірюють під мікроскопом.

Усі перелічені методи вимірювання твердості дають тільки значення характеристик міцності, про пластичність же можна судити тільки відносно.

Найбільш поширеним методом визначення не тільки міцносних характеристик ( $\sigma_{0,2}$  і  $\sigma_b$ ), а також пластичних ( $\delta$  і  $\psi$ ) є методи випробування на розтягання або стискання. Перші три характеристики ( $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_b$  і  $\delta$ ) визначаються безпосередньо з діаграм навантаження. Деформацію та значення поперечного звуження  $\psi$  вимірюють безпосередньо на зразках після руйнування.

Випробування на розтягання широко використовують для різних пластичних матеріалів. Малопластичні метали і сплави випробують на стискання і вигин (чавун, вилівані алюмінієві сплави, загартовані високовуглецеві сталі та ін.).

Випробування на скручування застосовують у тому випадку, коли необхідно більш точно визначити справжні деформації і напруження при навантаженнях, близьких до руйнівних. У цих випадках площа перерізу майже не змінюється (як для крихких, так і для пластичних матеріалів).

Випробування на стиснення і розтягання відносять до статичних і їх проводять на гладких зразках.

При випробуванні на вигин і скручування одержують ті ж характеристики міцності, що й при розтяганні, а про показники пластичності судять при вигині по стрілі угину і по куту закручування до руйнування при скручуванні.

У випадку дії на матеріал циклічних навантажень визначають його опір руйнуванню від утомленості і називають цю властивість витривалістю або довговічністю.



При випробуваннях на утомленість звичайно напруження прикладені до матеріалу, змінюються за синусоїдальним циклом, який характеризується коефіцієнтом асиметрії:

$$K = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$$

амплітудою напружень:

$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$$

середнім напруженням циклу:

$$\sigma_{cp} = \sigma_{\max} + \sigma_{\min} / 2$$

Руйнування від втоми відрізняється від руйнування при статичному навантаженні перш за все тим, що воно може відбуватися при напруженнях менших межі текучості (у випадку багатоциклічної утомленості з числом циклів  $10^7$  і більше). Руйнування починається з поверхні.

Характеристиками витривалості є циклічна міцність, тобто найбільше напруження, яке матеріал може витримати за певний час роботи, і циклічна довговічність, або число циклів, які матеріал витримає до руйнування від втоми.

Довговічність матеріалу визначають і при інших видах випробувань – на повзучість і на зношення.

Випробування на повзучість – довгочасні випробування при високих температурах. Характеристикою матеріалу служить межа довгочасної міцності  $\sigma_g$ , що визначається напруженням, яке приводить до руйнування при заданій температурі за певний відрізок часу. ( $\sigma_{800/1000} = 250$  МПа, тобто при напруженні 250 МПа і температурі 800 °С зразок руйнується за 1000 годин).

При експлуатації виробів виявляється й інший вид повільного руйнування – зношення, внаслідок тертя двох стичних поверхонь деталей.

Опір металу зношенню називають стійкістю до зношення, яка характеризує втрату маси зразку за час зношення – г/м<sup>2</sup> год. (втрата маси в грамах з одного метра квадратного площі зношення за час зношення в годинах). Критерії стійкості до зношення залежать не тільки від властивостей поверхні випробуваного металу, але і в значній мірі від умов його роботи.

#### 1.2.4. Шляхи підвищення міцності та пластичності металів.

Збільшення міцності металу підвищує надійність і довговічність і знижує витрати металу на виготовлення деталей машин внаслідок зменшення їх перерізу. Реально досягнута міцність металу значно нижча за теоретичну.

Під теоретичною міцністю розуміють опір деформації і руйнуванню, які повинні були б мати матеріали відповідно до фізичних розрахунків сил зчеплення в твердих тілах.

Низька міцність (опір деформації) металу обумовлюється легкою рухомістю дислокації. Отже, для підвищення міцності необхідно або усунути дислокації, або підвищити їх опір руху. Опір руху дислокації зростає при взаємодії їх одна з одною і з різними іншими дефектами кристалічних ґрат, створеними при обробці металу.

Схема проходження дислокації крізь перешкоду показана на рис. 6. Припустімо, що лінійна деформація дислокації АВ під дією дотичних напружень  $\tau$  переміщується в плоскості ковзання і на своєму шляху зустрічає перешкоду Д. Перешкодою може бути: перехрещення з другою дислокацією, накопичення чужорідних атомів, обособлене включення надмірної фази та ін. По мірі наближення до перешкоди Д дислокація поступово скривлюється (рис. 6) і, нарешті, утворює петлю, що огинає перешкоду: за перешкодою петля замикається і знову стає прямолінійною. Такий рух дислокації супроводжується збільшенням її довжини і додатковим різким викривленням ґрат, вимагає витрат додаткової роботи. Тому на ділянці переборення дефекту дислокація зазнає значно більшого опору переміщенню, ніж в досконалих кристалічних ґратах. У цьому й полягає сутність підвищення міцності кристалу при збільшенні в ньому кількості дефектів.

Таким чином, дефекти ґрат впливають на опір металу деформації. З одного боку, утворення в металі дислокації ослаблює метал. З другого боку, дефекти кристалічної будови зміцнюють його, бо перешкоджають вільному переміщенню дислокацій. На рис. 7 показано вплив кількості дефектів (щільності дислокацій) на міцність металу.

Мінімальна міцність визначається деякою критичною щільністю дислокацій  $A$ , приблизно оцінювана –  $10^6$ - $10^8$  см<sup>-2</sup>. Ця величина відноситься до відпалених металів. Якщо кількість дефектів (щільність дислокацій) не більше величини  $a$ , то зменшення їх вмісту різко збільшує опір деформації. Міцність у цьому випадку швидко наближається до теоретичної.

Одержані кристали довжиною 2-10 мм і товщиною від 0,5 до 2,0 мкм, практично без дефектів кристалічних ґрат (дислокацій). Ці ниткоподібні кристали (“вусики”) мають міцність, близьку до теоретичної.

Опір розриву ниткоподібних кристалів заліза складає – 13360 Н/мм<sup>2</sup>, міді – 3020 Н/мм<sup>2</sup>, цинку – 2250 Н/мм<sup>2</sup>, а технічне залізо – 300 Н/мм<sup>2</sup>, мідь – 260 Н/мм<sup>2</sup> – цинк – 180 Н/мм<sup>2</sup>.

Зі збільшенням перетину “вусів” міцність знижується. Недолік – низький опір пружним деформаціям.

Міцність металу можна підвищити, зменшуючи розмір їх зерна та блоків, бо у межі останніх накопичуються дислокації. Підвищує міцність металу і легування, тобто введення в кристалічні ґрати основи чужорідних атомів, які локально викривлюють її, що підвищує опір переміщенню дислокацій. У тому разі, якщо в результаті термічної обробки атоми розчиненого елемента збираються в певних ділянках кристалічних ґрат, ефект її дії на рух дислокацій значно зростає. Вплив різних видів обробки на міцність найбільш поширених у техніці сплавів на основі заліза (сталі) показано на рис. 8.

Підвищення міцності часто супроводжується зниженням пластичності та в'язкості (метал стає крихким). Надійність металу зростає з підвищенням пластичності ( $\sigma$ ,  $\Psi$ ) й в'язкості ( $\alpha_n$ ).

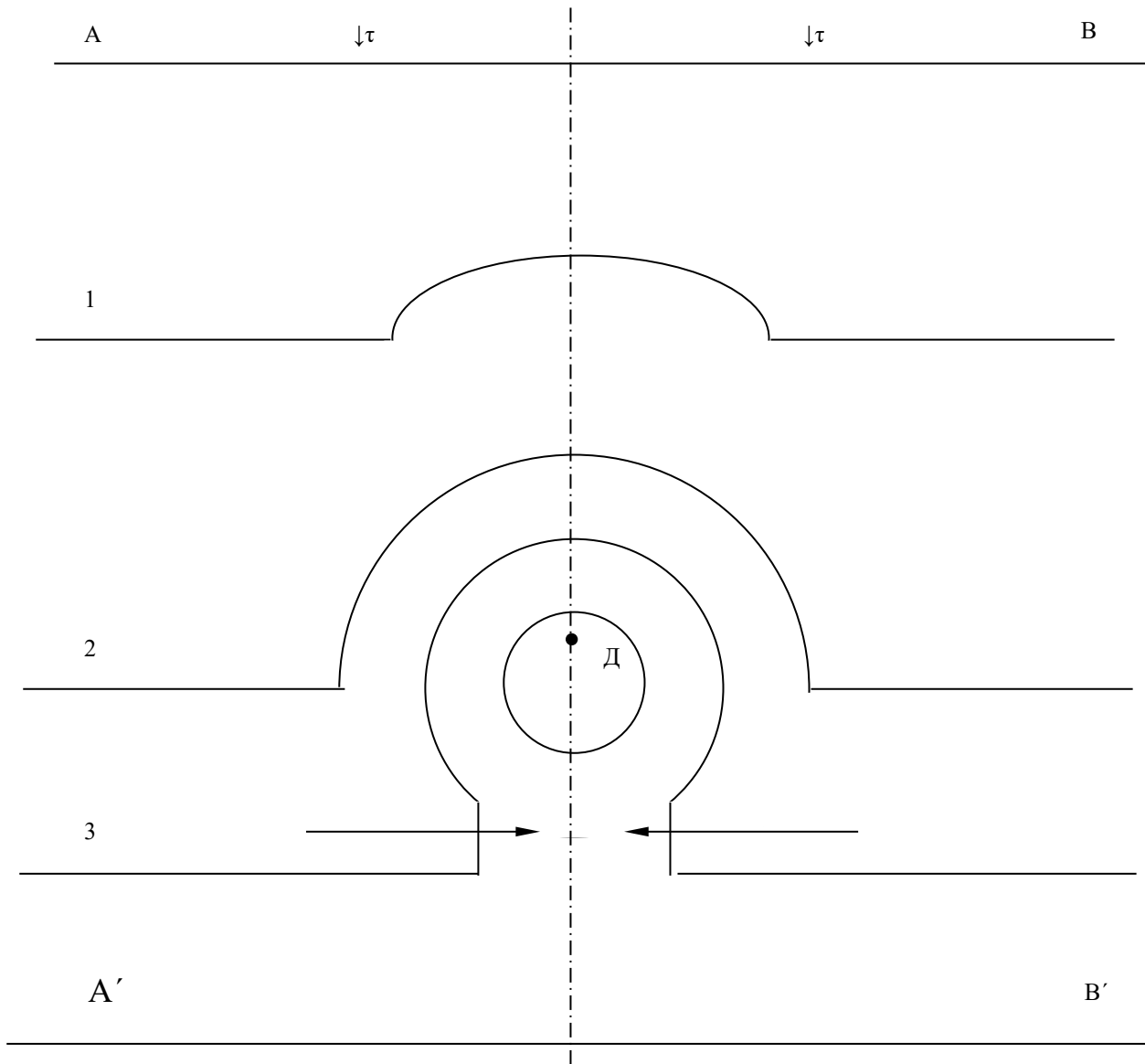


Рис. 6. Схема проходження лінійної дислокації крізь перешкоду:

АВ – форма лінійної дислокації на відстані від перешкоди: 1, 2, 3 – поступове викривлення дислокації по мірі наближення до перешкоди Д та замикання петлі за цією перешкодою;

А'В' – вирівнювання лінійної дислокації віддалік від перешкоди

Надрізи можуть сильно погіршити механічні властивості. Вони приводять до нерівномірного розподілу напружень, створюючи концентрації напружень. Особливо вони небезпечні для металів і сплавів з малим запасом пластичності.

Деякі метали, маючи ОЦК чи гексагональні ґрати (залізо, сталь, хром, молибден, вольфрам, цинк та ін.) мають схильність до крихкого руйнування при зниженні температури (холодноламкість). Зниження температури значно збільшує опір пластичної деформації  $\sigma_T$ , і метал руйнується крихко.

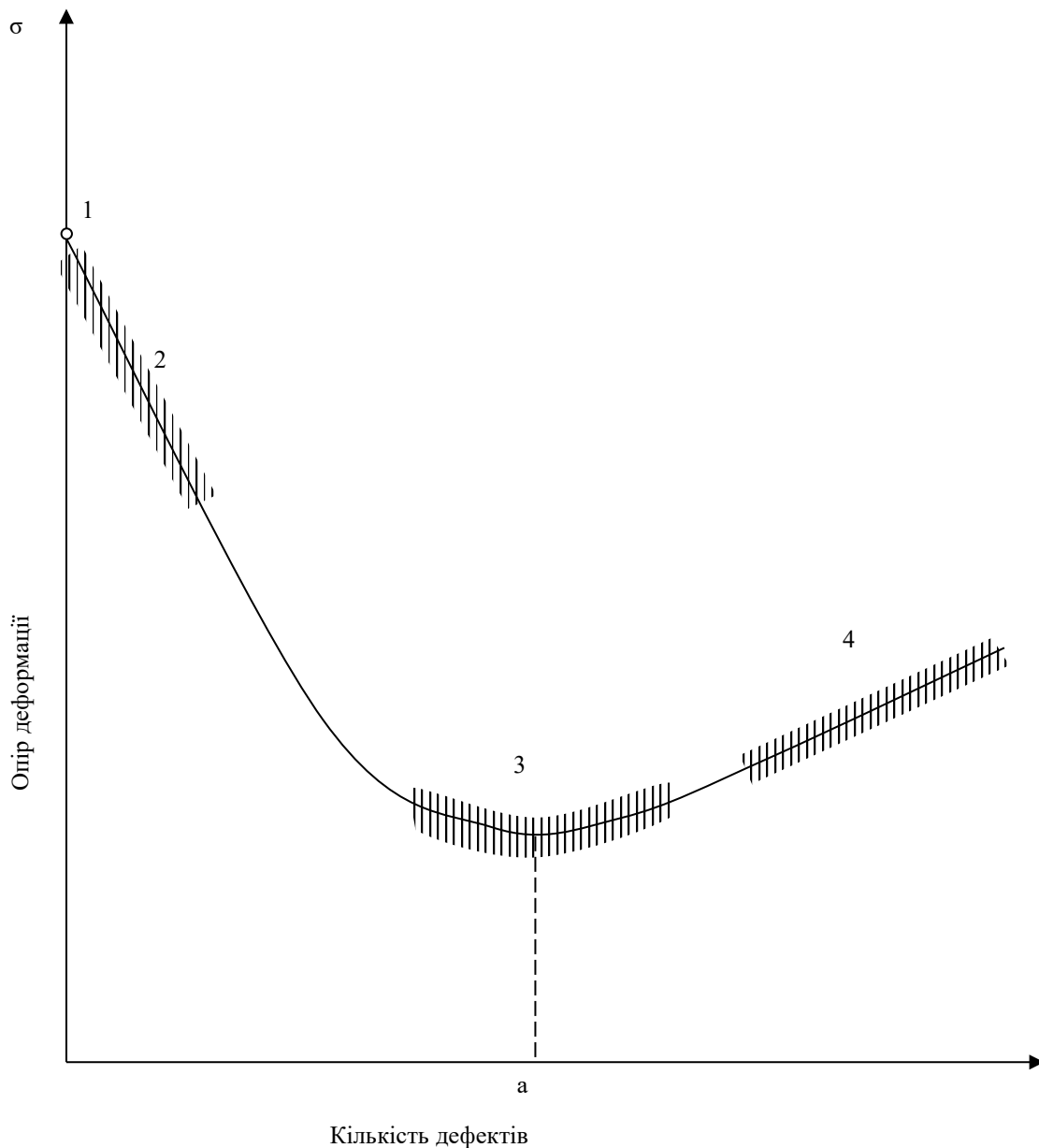


Рис. 7. Схема залежності опору деформації від кількості дефектів, що перебувають у кристалі металу:

- 1 – теоретична міцність;
- 2 – міцність “вусика”;
- 3 – чисті не зміцнені метали;
- 4 – сплави, зміцнені легуванням, наклепом, термічною та термомеханічною обробкою

Багато які деталі машин працюють в умовах, коли напруження в них міняються за величиною та знаком. Для цих деталей має велике значення опір металу втомі. Межа витривалості значною мірою залежить від розмірів зразка, концентраторів напруження, шорсткості його поверхні, впливу корозії та ін. Підвищити межу витривалості можна зміцненням поверхні, створенням у поверхневих шарах деталей залишкових напружень стискання. Для сталі це до-

сягається шляхом механічного наклепу, загартуванням, а також хіміко-термічною обробкою. Поверхнєве загартування та хіміко-термічна обробка одночасно підвищують зносостійкість, тобто опір зносу.

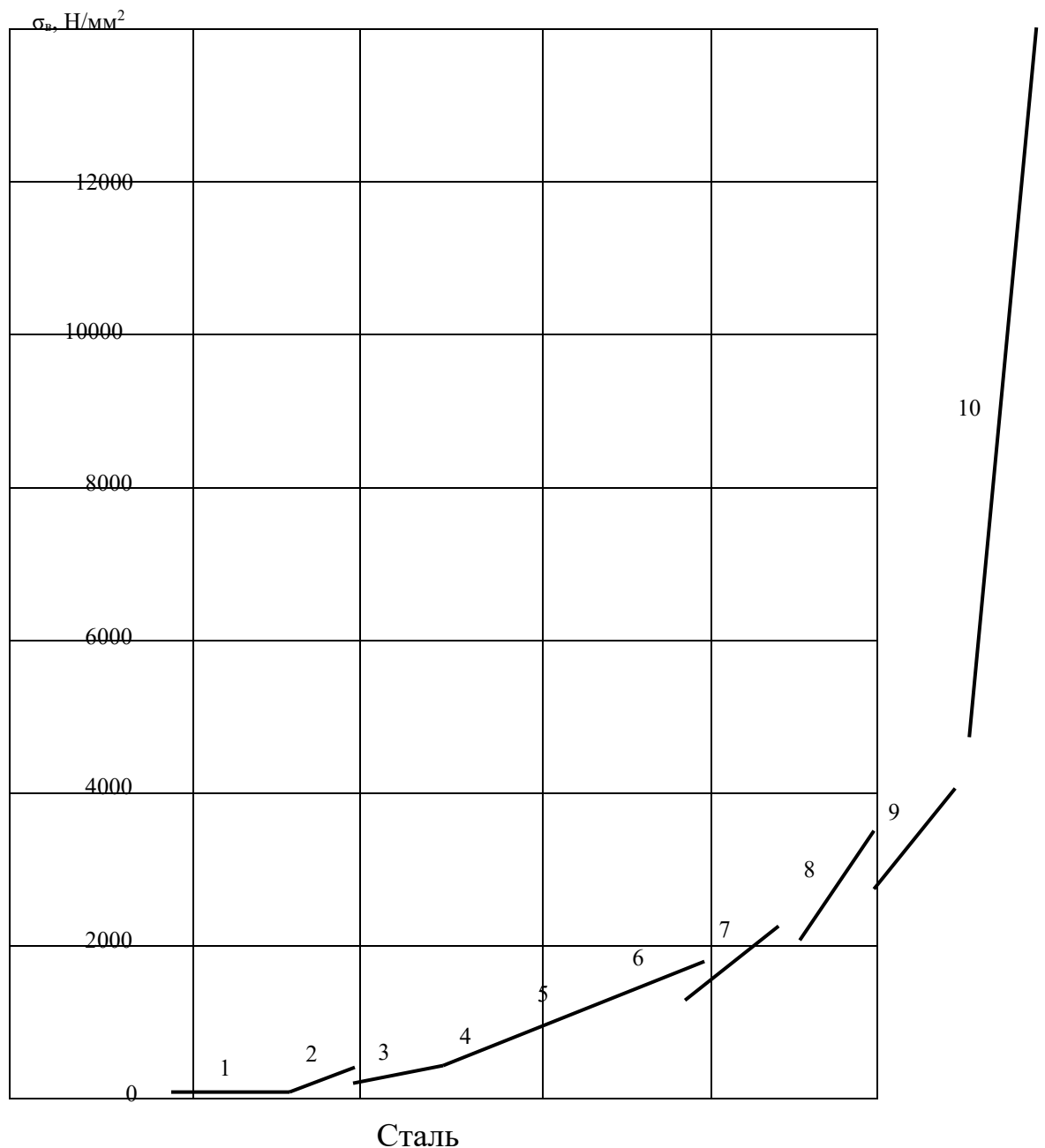


Рис. 8. Діаграма міцності заліза та сталі:

- 1 – мікрочастинки заліза високої чистоти;
- 2 – залізо, зміцнене введенням у твердий розчин вуглецю (0,0001-0,0005 % C);
- 3 – технічно чисте залізо (0,02 % C) з різним розміром зерна;
- 4 – залізо, зміцнене холодним наклепом;
- 5 – сталь з вмістом вуглецю 0,8 %;
- 6 – сталь з вмістом вуглецю 0,8 %, яка має бейнітну структуру;
- 7 – легована мартенітна сталь;
- 8 – легована сталь, піддана термомеханічній обробці;
- 9 – холоднотягнутий сталевий дріт;
- 10 – нитяні кристали заліза

### 1.3. Залізо і його сплави.

Сплави заліза розповсюджені найбільш широко. Головні з них (сталь і чавун) є сплавами заліза з вуглецем. Для одержання необхідних властивостей в сталь і чавун вводять легуючі елементи.

#### 1.3.1. Компоненти і фази в системі залізо-вуглець.

Залізо – метал сріблясто-білого кольору. Атомний номер 26, атомна вага 55,85. Чисте залізо, яке може бути одержане в наш час, вміщує 99,99 % Fe. Технічні гатунки заліза вміщують 99,8-99,9 % Fe. Температура плавлення заліза 1539 °С. Залізо відоме в двох поліморфних модифікаціях  $\alpha$  і  $\gamma$ .  $\alpha$ -залізо існує при температурах нижче 910 °С і вище 1392 °С. Це пояснюється тим, що вільна енергія  $\alpha$ -заліза менша, ніж вільна енергія  $\gamma$ -заліза при температурах нижче 910 °С і вище 1392 °С. Для інтервалу температур 1392-1539 °С  $\alpha$ -залізо нерідко позначають як  $\delta$ -залізо.

Кристалічні ґрати  $\alpha$ -заліза – об'ємно-центрований куб (ОЦК). До температури 770 °С  $\alpha$ -залізо – магнітне.

Магнітні властивості заліза залежать від його чистоти. Щільність  $\alpha$ -заліза 7,68 г/см<sup>3</sup>.

$\gamma$ -залізо існує при температурі 910-1392 °С. Кристалічні ґрати  $\gamma$ -заліза – междоцентрований куб (МЦК). Щільність  $\gamma$ -заліза 8,0-8,1 г/см<sup>3</sup>, воно немагнітне.

Вуглець є неметалічним елементом другого періоду четвертої групи. Щільність 2,5 г/см<sup>3</sup>, атомна вага 12,011, температура плавлення 3500 °С. У вільному стані існує в трьох модифікаціях: алмазу, графіту і вугілля. У сплавах Fe-C він розгублює свій неметалічний характер.

Ферит (Ф) – твердий розчин (упровадження) вуглецю та інших домішок в  $\alpha$ -залізі. Розрізняють низькотемпературний ферит з розчинністю вуглецю до 0,02 % і високотемпературний  $\delta$ -ферит з граничною розчинністю вуглецю 0,1 %. Кристалічні ґрати фериту об'ємно-центровані кубічні (ОЦК). Атом вуглецю розміщується в центрі межі куба.

Аустеніт (А) – твердий розчин (впровадження) вуглецю та других домішок в  $\gamma$ -залізі. Гранична розчинність вуглецю в  $\gamma$ -залізі – 2-14 % С. Кристалічні ґрати аустеніту междоцентровані кубічні (МЦК). Атом вуглецю в ґратах  $\gamma$ -заліза розташовується в центрі елементарного осередку.

Різні об'єми елементарних сфер в ОЦК і МЦК-ґратах, визначають значно більшу розчинність вуглецю в  $\gamma$ -залізі в порівнянні з  $\alpha$ -залізом. Аустеніт володіє високою пластичністю, низькими межами текучості міцності.

Цементит – хімічна сполука заліза з вуглецем – карбід заліза Fe<sub>3</sub>C. В цементиті міститься 6,67 % вуглецю. Цементит має складні ромбічні ґрати з щільним упакуванням атомів. Температура плавлення цементиту  $\approx$ 1500 °С. До температури 210 °С цементит – феромагнітний. Цементит має високу твердість (до 1000 НV).

Графіт – це вуглець, який знаходиться у вільному стані в залізобуглецевих сплавах. Кристалічні ґрати графіту гексагональні шаруваті. М'який, має високу електропровідність, непрозорий.

### 1.3.2. Діаграма стану залізо-цементит.

Діаграма стану залізо-вуглець (цементит) приведена на рис. 9. Вона показує фазовий склад і структуру сплавів з концентрацією від чистого заліза до цементиту (6,67 % С).

Нижче приведені наступні температури в °С нонваріантних рівноваг в системі Fe- Fe<sub>3</sub>C.

Перитектичне перетворення (лінія HJB) – 1499.

Евтектичне перетворення (лінія ECF) – 1147.

Евтектоїдне перетворення (лінія PSK) – 727.

Точка Кюрі для заліза (лінія MO) – 210.

Вагові концентрації вуглецю для характерних точок діаграм стану Fe-Fe<sub>3</sub>C наступні:

В – 0,51 % С – вміст вуглецю в рідкій фазі, яка знаходиться в рівновазі з δ-феритом і аустенітом при температурі 1499 °С;

Н – 0,1 % С – граничний вміст вуглецю в δ-фериті при температурі 1499 °С;

І – 0,16 % С – вміст вуглецю в аустеніті при перитектичній температурі 1499 °С;

Е – 2,14 % С – граничний вміст вуглецю в аустеніті при евтектичній температурі 1147 °С;

С – 0,8 % С – вміст вуглецю в аустеніті при евтектоїдній температурі 727 °С;

Р – 0,02 % С – граничний вміст вуглецю в фериті при евтектоїдній температурі 727 °С;

Лінії діаграми стану Fe-Fe<sub>3</sub>C відповідають наступним фазовим перетворенням.

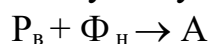
АВ – (лінія ліквідус) показує температуру початку кристалізації δ-фериту з рідкого сплаву (Р).

ВС – (лінія ліквідус) відповідає температурі початку кристалізації аустеніту (А) з рідкого сплаву (Р).

CD – (лінія ліквідус) відповідає температурі початку кристалізації первинного цементиту (Fe-Fe<sub>3</sub>C) з рідкого сплаву (Р).

АН – (лінія солідус) є температурною межею області рідкого сплаву і кристалів δ-фериту (Ф); нижче цієї лінії існує тільки δ-ферит.

НВ – лінія перитектичної нонваріантної (С=0) рівноваги; при досягненні температури, яка відповідає лінії НВ, протікає перитектична реакція (рідина складу В взаємодіє з кристалами δ-фериту складу Н з утворенням аустеніту складу І):



Для сплавів ділянка HJ буде лінією солідус.

JE – (лінія солідус) відповідає закінченню процесу кристалізації аустеніту; нижче цієї лінії сплави мають однофазну будову – аустеніту (А).

ЕС – (лінія солідус) – відповідає евтектичній нонваріантній (С = 0) рівновазі – аустеніту складу Е (А<sub>Е</sub>), цементиту Fe<sub>3</sub>C і рідкій фазі складу С (P<sub>С</sub>).



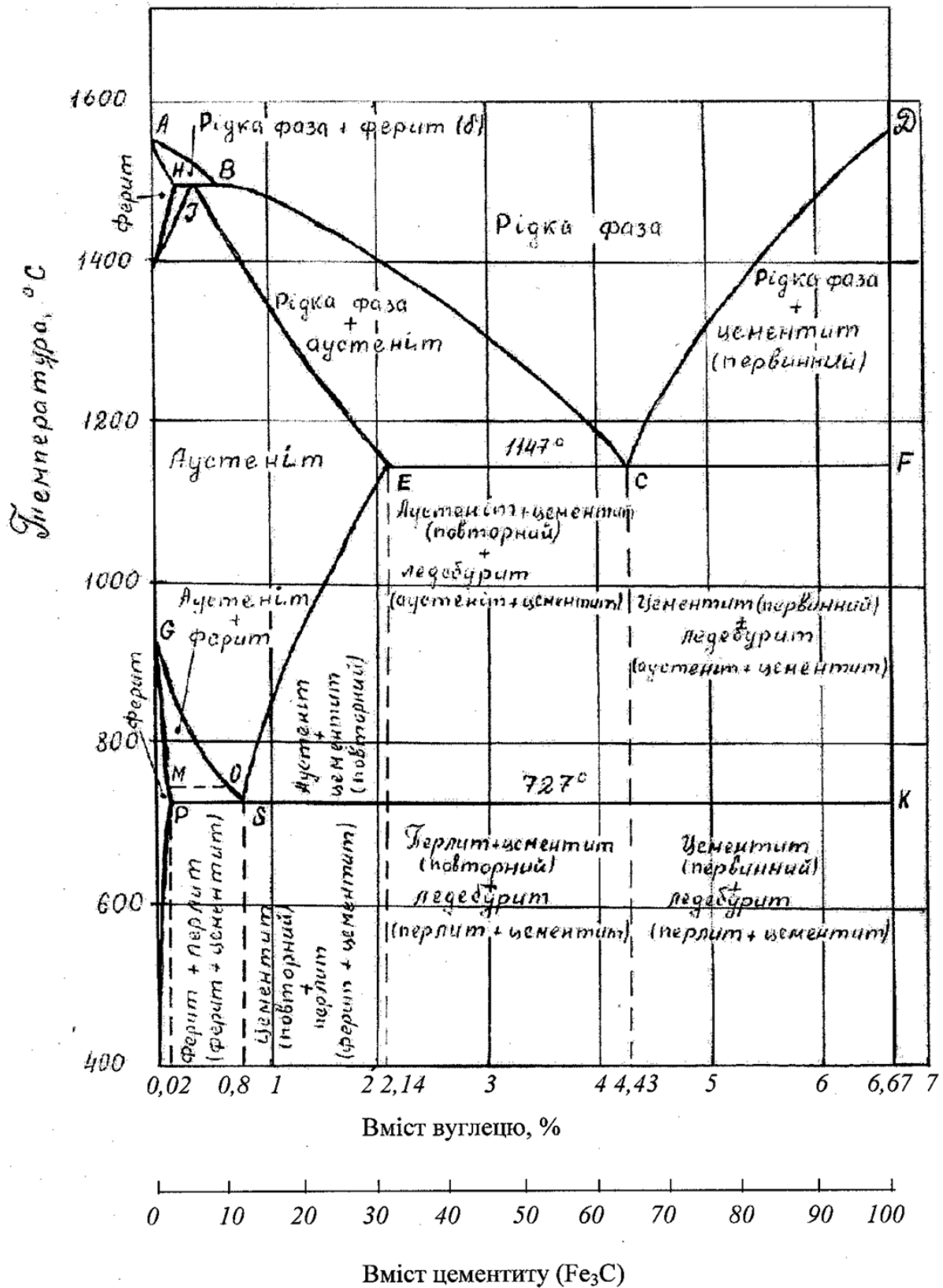
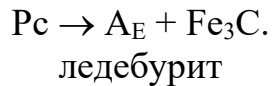
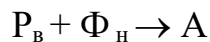


Рис. 9. Діаграма стану Fe – Fe<sub>3</sub>C

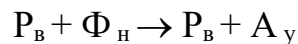
У результаті кристалізації рідкого сплаву складу С утворюється евтектика ледебурит, який складається з аустеніту складу Е і цементиту:



У сплавах, які мають до 0,1 % С кристалізація закінчується при температурах, що відповідають лінії АН, з утворенням – фериту. Сплави, які мають від 0,1 до 0,16 % С, зазнають перитектичного перетворення ( $P_C + \Phi_H \rightarrow \Phi_H + A_y$ ), у результаті якого утворюється двофазна структура  $\delta$ -розчин ( $\Phi$ ) +  $\gamma$ -розчин (А). У сплаві, який має 0,16 % С (точка J), початкові кристали твердого розчину  $\delta$  ( $\Phi$ ) і вся рідка фаза при перитектичному перетворенні повністю використовуються на утворення аустеніту



У сплавах, які мають від 0,15 до 0,5 % С в умовах переохолодження при перитектичному перетворенні  $\delta$  ( $\Phi$ ) твердий розчин використовується повністю, а рідка фаза залишається з надлишком:



Тому при температурах нижче лінії JB сплав буде двофазним: аустеніт (твердий розчин) + рідина. Процес кристалізації закінчується при досягненні температур, які відповідають лінії солідус JE. Після затвердіння сплави набувають однофазну структуру – аустеніт.

При температурах, що відповідають лінії BC, з рідкого сплаву кристалізується аустеніт, а лінії CD – цементит. У точці С при температурі 1147 °С і концентрації 4,43 % С (евтектичний сплав) з рідкого сплаву одночасно кристалізуються аустеніт і цементит, утворюючи евтектику ледебурит.

Сплави, які мають від 0,5 до 2,14 % С, кристалізуються в інтервалі температур, обмеженому лініями BC і JE. Після затвердіння (нижче лінії солідус JE) сплави набувають однофазну структуру – аустеніт.

При кристалізації доевтектоїдних сплавів, які мають від 2,14 до 4,43 % С, з рідкої фази при досягненні температур, що відповідають лінії ліквідус BC, спочатку виділяються кристали аустеніту, а при температурі 1147 °С (лінія EC) сплави твердіють і набувають евтектику ледебуриту. Отже, доевтектичні сплави після затвердіння мають структуру аустеніт + ледебурит.

Заевтектичні сплави, які мають від 4,43 до 6,67 % С, починають твердіти при досягненні температур, відповідних лінії CD. Спочатку з рідкої фази виділяються кристали цементиту, а при температурі 1147 °С (лінія ECF) сплави остаточно затвердівають з утворенням евтектики ледебуриту.

Сплави, які мають до 2,14 % С, називають сталлю, а сплави, які мають більш як 2,14 % С – чавуном.

Сталь не має малопластичного ледебуриту, тому вона є ковким сплавом. Чавуни володіють кращими литейними властивостями, однак крихкі, не піддаються куванню, що пояснюється присутністю в структурі ледебуриту або графіту.

Фазові та структурні зміни в сплавах Fe-Fe<sub>3</sub>C чиняться і після затвердіння. Лінія NH-верхня межа області рівноваги δ-фериту і аустеніту. При охолодженні відповідає температурам початку поліморфного перетворення δ-фериту в аустеніт.

Лінія NJ – нижча межа рівноваги δ-фериту і аустеніту; при охолодженні відповідає температурам закінчення перетворення δ-фериту в аустеніт. Верхня межа області рівноваги немагнітного фериту та аустеніту відповідає лінії GO. Ця лінія відповідає температурам початку  $\gamma \rightarrow \alpha$  перетворення з утворенням немагнітного фериту.

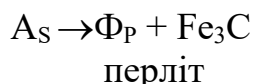
Лінія OS – верхня межа рівноваги фериту та аустеніту: при охолодженні відповідає температурам початку  $\gamma \rightarrow \alpha$  перетворення з утворенням феромагнітного фериту.

SE – лінія граничної розчинності вуглецю в аустеніті при охолодженні відповідає температурам початку виділення з аустеніту вторинного цементиту.

GP – лінія межі області рівноваги ферит + аустеніт, яка при охолодженні відповідає температурам кінця перетворення аустеніту в ферит.

Температура точки Кюрі<sup>1\*</sup> відповідає лінії MO;

PSK – лінія евтектоїдної рівноваги при охолодженні відповідає розпаду аустеніту (0,8%С) з утворенням евтектоїдної ферито-цементитної суміші, яка має назву перліт:



PQ – лінія зміни розчинності вуглецю в фериті.

Сплави, які мають не більш 0,02 % С, мають назву технічне залізо.

Евтектичний чавун, який має 4,43 % С, при температурі нижче 727 °С складається тільки з ледебуриту (перліт + цементит).

Заевтектичний чавун який має вуглецю більше, ніж 4,43 %, при температурах нижче 727 °С складається з первинного цементиту і ледебуриту.

### 1.3.3. Вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталі.

Сталь є багатокомпонентним сплавом, що містить у собі вуглець і багато домішок Mn, Si, S, P, O, N, H та інші, які впливають на її властивості. Присутність цих домішок пояснюється важкістю виведення їх при виплавці (P, S), або переходом їх у сталь у процесі її розкислення (Mn, Si), або з шихти – металічного брухту (Cr, Ni та ін.). Ці домішки в більшій кількості присутні і в чавунах.

Вплив вуглецю. Структура сталі складається з фериту і цементиту. Кількість цементиту збільшується в сталі відповідно до вмісту вуглецю.

При збільшенні в сталі вуглецю збільшується твердість, межа міцності  $\sigma_B$  і текучості  $\sigma_T$ , а зменшується відносне подовження  $\delta$ , відносне звуження  $\varphi$  і ударна в'язкість  $\alpha_H$ ; крім того, збільшується щільність, залишкова індукція, магнітна проникність.

<sup>1</sup> Точка Кюрі – це критична точка (770 °С), що відповідає магнітному перетворенню, тобто втраті магнітних властивостей.

Вплив кремнію та марганцю. Вміст кремнію в вуглецевій сталі в якості домішки звичайно не перебільшує 0,35-0,4 % і марганцю 0,5-0,8 %. Кремній і марганець, при розкисленні сталі, вилучають з неї закис FeO, який негативно впливає на властивості сталі.

Кремній, при розчиненні в фериті, сильно підвищує межу текучості  $\sigma_T$ . Це знижує здібність сталі до витяжки і холодної висадки. При більших вмістах кремній підвищує поріг крихкості.

Марганець підвищує міцність гарячекатаної сталі і підвищує поріг холодноламкості сталі.

Вплив сірки. Сірка є шкідливою домішкою в сталі та чавуні. Із залізом вона створює хімічну сполуку FeS, яка не розчиняється в залізі, крім того, FeS створює з залізом легкоплавку евтектику з температурою плавлення 985 °С. При нагріві сталі для прокату і кування евтектика розплавляється, а в сталі з'являються надриви і тріщини – червоноламкість.

Марганець зв'язує сірку, створюючи MnS, що виключає червоноламкість, однак знижує механічні властивості, особливо в'язкість і пластичність. Погіршується зварюваність і корозійна стійкість.

Вплив фосфору. Фосфор розчиняється в  $\alpha$ - і  $\gamma$ -залізі, створюючи фосфід Fe<sub>3</sub>P. Збільшує межу міцності і текучості, однак зменшує пластичність і в'язкість. Підвищує поріг холодноламкості заліза і сталі. Домішок шкідливий, допускається не більше 0,025-0,08 %.

Вплив азоту, кисню і водню. Ці елементи присутні в сталі у вигляді крихких неметалічних включень. Знижують межу витривалості і ударну в'язкість і підвищують поріг холодноламкості.

#### 1.4. Технологія термічної обробки.

##### 1.4.1. Основні види термічної обробки сталі.

Термічною обробкою називаються технологічні процеси, які складаються з нагріву і охолодження металічних виробів з метою зміни структури і властивостей.

Термічній обробці піддають зливки, виливки, напівфабрикати після гарячої чи холодної обробки тиском, зварні сполуки, деталі машин, інструмент.

Основні види термічної обробки:

- відпал;
- загартування;
- відпуск;
- старіння.

Усі ці види мають декілька різновидів.

Відпалом називають вид термічної обробки, у результаті якого метали або сплави набувають структуру, яка близька до рівноважної; відпал викликає зниження міцності металів і сплавів, яке супроводжується підвищенням пластичності і зняттям залишкових напружень.

Температура нагріву при відпалі залежить від складу сплаву і конкретного різновиду відпалу. Швидкість охолодження з температури відпалу звичайно мала, вона знаходиться в межах 3-200 °С/год.

Загартуванням називають вид термічної обробки, у результаті якого в металах і сплавах створюється нерівноважна структура. Нерівноважну структуру при термічній обробці можна отримати тільки в тому випадку, коли в сплавах є перетворення в твердому стані: змінна розчинність, поліморфні перетворення твердих розчинів, розпад високотемпературного твердого розчину по евтектоїдній реакції та ін. Для отримання нерівноважної структури застосовують нагрів сплаву до температури фазового перетворення в твердому стані, після чого швидко охолоджують, щоб запобігти рівноважного перетворення при охолодженні.

Конструкційні і інструментальні сплави піддають загартуванню з метою зміцнення. Сильно зміцнюються при загартуванні сплави, які зазнають в рівноважних умовах евтектоїдного перетворення. Міцність зростає або внаслідок мартенситного механізму фазового переходу, або внаслідок зниження температури евтектоїдної реакції, яка спричиняє здрібнювання кристалів фаз, утворюючих евтектоїдну суміш. Якщо в результаті загартування при кімнатній температурі фіксується стан високотемпературного твердого розчину, значного зміцнення сплаву безпосередньо після загартування не буде, основне зміцнення створюється при повторному низькотемпературному нагріві чи в процесі вилежування при кімнатній температурі.

У сплавах з особливими властивостями загартування дозволяє змінити структурно-чутливі фізичні або хімічні властивості: збільшити питомий електроопір, підвищити корозійну стійкість та ін.

Відпуском і старінням називають вид термічної обробки, у результаті якого в попередньо загартованих сплавах чиняться фазові перетворення, які наближають їх структуру до рівноважної. Сполучення загартування з відпуском або старінням практично завжди має на меті отримання більш високого рівня властивостей у порівнянні з відпаленим станом: твердості, характеристик міцності, коерцитивної сили, питомого електроопору та ін.

Температуру і витримку обирають таким чином, щоб рівноважний стан сплаву при обробці не досягався, як це має місце при відпалі. Швидкість охолодження з температури відпуску чи старіння за рідким виключенням не впливає на структуру і властивості сплавів.

Термін "відпуск" застосовують звичайно стосовно сталей і інших сплавів, які мають при загартуванні поліморфні перетворення. Термін "старіння", частіш за все, застосовують до сплавів, які не мають при загартуванні поліморфних перетворень (Ni-сталі, аустенітні сталі, сплави алюмінію та ін.).

#### 1.4.2. Відпал першого роду.

Під відпалом першого роду розуміють нагрівання сталі до відповідної температури, витримування і в подальшому, звичайно повільне, охолодження. Цей вид відпалу застосовується для усування хімічної неоднорідності, що виникає в процесі кристалізації зливків або фасонних виливків, змін у структурі в результаті наклепу при пластичній деформації і для зняття залишкових напружень.

Гомогенізація (дифузійний відпал). Його застосовують для зливків легованої сталі з метою зменшення усередині кристалічної ліквідації (неоднорідність хі-

мічного складу), яка надає схильність сталі до крихкого зламу, з'явлення внутрішніх тріщин. Нагрів високий (1100-1200 °С) роблять з великою швидкістю, з метою зменшення утворення окалини, а видержка мінімальна (8-20 годин). Потім повільне охолодження.

Рекристалізаційний відпал. Під ним розуміють нагрів холоднодеформованої сталі вище температури рекристалізації (зріст одних зерен полікристалу за рахунок других), видержку при цій температурі і охолодження. Він використовується перед холодною обробкою тиском і між ними для зняття наклепу.

Температура рекристалізації 450-650 °С. Підвищується пластичність сталі.

Відпал для зняття залишкових напружень. Цей вид відпалу знімає напруження, виникаючи при литті, зварюванні, різанні та ін.

Температура відпалу 200-700 °С, частіше 550-680 °С. Час витримки – декілька годин.

#### 1.4.3. Відпал другого роду (фазова перекристалізація).

Під відпалом другого роду розуміють нагрів сталі, витримку і повільне охолодження, в результаті якого відбуваються фазові перетворення. Він звичайно проводиться до термічної обробки. Знижується міцність і твердість.

Розрізняють такі види відпалу: повний, ізотермічний, неповний і низький.

Повний відпал (рис. 10) полягає в нагріві доєвтектоїдної сталі на 30-50 °С вище температури межі розділу ферит-цементит  $A_{c3}$ , видержці при цій температурі і повільне охолодження (у печі). При даній температурі утворюється аустеніт. Швидкість нагріву звичайно 100 °С/год, видержка від 0,25 до 1 години на 1 т металу. Повільне охолодження забезпечує розпад аустеніту, тому леговані сталі, володіючи високою стійкістю аустеніту, охолоджуються значно повільніше (10-100 °С/год), ніж вуглецеві (150-200 °С/год). Повільне охолодження слід проводити до 500-600 °С. Після розпаду аустеніту в перлітній ділянці подальше охолодження можливо прискорити і виконувати навіть на повітрі.

Повному відпалу піддають прокат, поковки, фасонні виливки, а також зливки легованих сталей (для зниження їх твердості і полегшення обдирання перед прокаткою).

Ізотермічний відпал (рис. 11). Нагрів здійснюють як і при повному відпалі і порівняно швидко охолоджують на 100-150 °С. Потім роблять ізотермічну витримку, необхідну для повного розпаду аустеніту, далі охолоджують на повітрі.

Переваги:

1. Зменшення тривалості процесу, особливо легованих сталей.
2. Одержання більш однорідної структури, бо під час ізотермічної витримки температура вирівнюється щодо всього перерізу.

Використовується ізотермічний відпал для прокату, поковок невеликих розмірів тощо.

Неповний відпал відрізняється від повного тим, що сталь нагрівають до більш низької температури (ледь вище  $A_{c1}$ ).

Застосовується для зняття внутрішніх напружень і поліпшення здатності до обробки різанням. Однак перекристалізація діється тільки часткова. Охолодження повільне.

Неповному відпалу піддають тонкі листи, пруті з низьковуглецевої сталі перед холодним штампуванням або волочінням для підвищення пластичності.

Високий відпуск (низький відпал). Після гарячої механічної обробки сталь має дрібне зерно і задовільну мікроструктуру і не потребує фазової перекристалізації (відпалу). Але внаслідок прискорення охолодження після прокатки чи іншої обробки леговані сталі одержують структуру сорбайт чи мартенсит і як наслідок – високу твердість. Для зниження твердості проводять відпуск при температурі 650-680 °С (нижче  $A_1$ ). При цьому відбувається розпад мартенситу, коагуляція карбідів і пониження твердості. Твердість після відпуску декілька вище, ніж після повного відпалу.

Вуглецеві сталі піддають високому відпуску у випадках, коли їх призначають для обробки різанням, холодної висадки чи волочіння. Для високолегованих сталей високий відпуск є єдиною термічною обробкою, яка дозволяє знизити їх твердість.

Відпал нормалізаційний (нормалізація).

Нормалізація полягає в нагріві сталі до температури, яка перевищує точку  $A_{c3}$  на 50-60 °С, недовгочасної витримці і охолодженні на повітрі. Нормалізація викликає фазову перекристалізацію сталі і ліквідує крупнозернисту структуру, одержану при литті або прокаті. Вона широко використовується для поліпшення властивостей сталевих відливок.

Швидке охолодження на повітрі приводить до розпаду аустеніту при більш низьких температурах. Це підвищує на 10-15 % міцність і твердість нормалізованої сталі в порівнянні з відпаленою і поліпшує її в'язкість.

Для низьковуглецевих сталей нормалізацію застосовують замість відпалу. (дає більш чисту поверхню при різанні).

Для середневуглецевих сталей нормалізацію застосовують замість загартування і високого відпуску – нижче механічні властивості, але менше деформація виробів, ніж при загартуванні.

Нормалізація з високим відпуском (600-650 °С) застосовується для виправлення структури легованих сталей замість відпалу.

#### 1.4.4. Загартування сталі.

Загартуванням називається нагрів до температури на 30-50° вище температури, що відповідає точці  $A_{c2}$  (для доєвтектоїдних сталей) чи  $A_{c1}$  (для заєвтектоїдних сталей), витримка для завершення фазових перетворень і надалі охолодження зі швидкістю вище критичної для вуглецевих сталей (частіше в воді), а для легованих – у маслі або в інших середовищах (рис. 12).

Загартування не є остаточною термічною обробкою. Для зменшення крихкості і напруження, викликаних загартуванням, і одержання необхідних механічних властивостей, сталь після загартування підлягає відпуску.

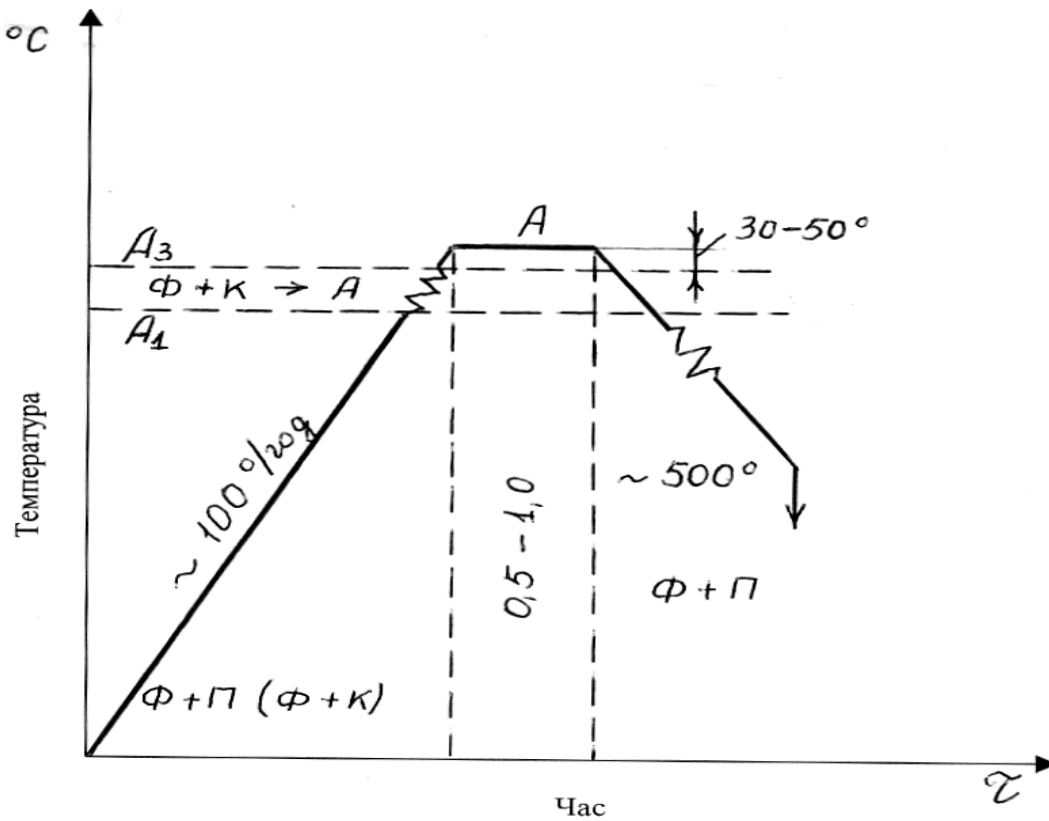


Рис. 10. Схема повного відпалу сталі:  
 А – аустеніт, Φ – ферит, Π – перліт, К – карбід

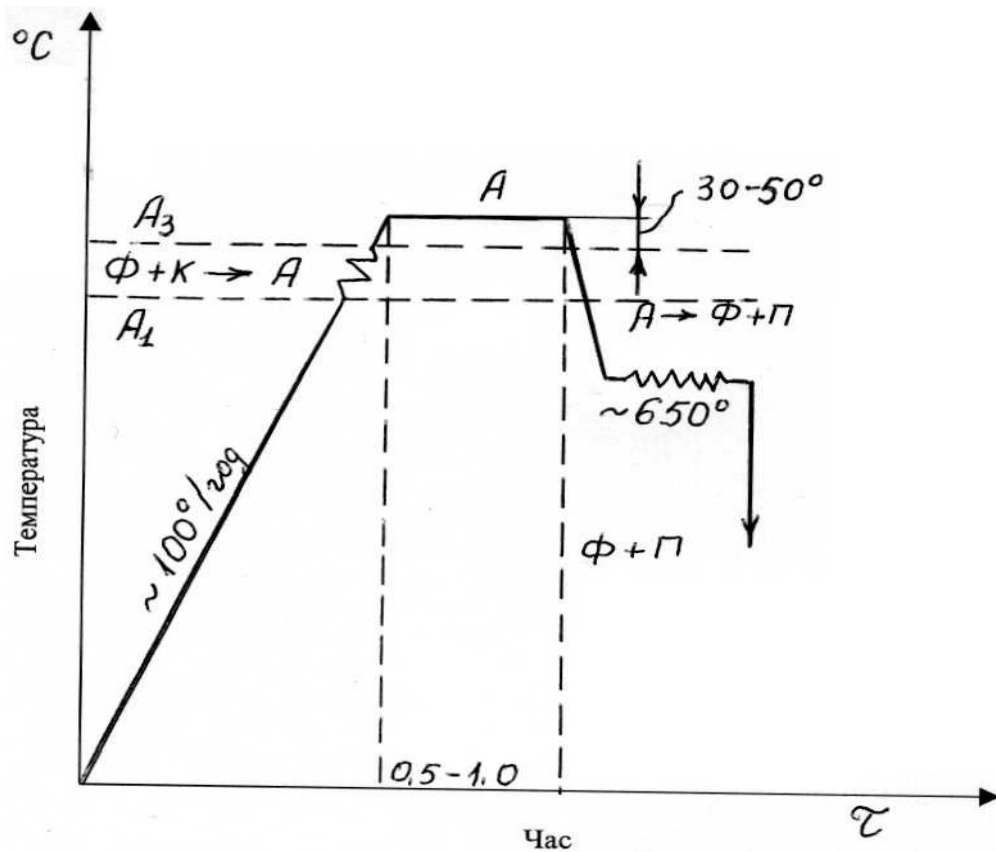


Рис. 11. Схема ізотермічного відпалу сталі (графік відпалу):  
 А – аустеніт, Φ – ферит, Π – перліт, К – карбід



Інструментальну сталь головним чином піддають загартуванню й відпуску для підвищення твердості, зносостійкості та міцності, а конструкційну сталь – для підвищення міцності ( $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$ ), твердості (НВ) і одержання високої пластичності ( $\delta$ ,  $\psi$ ) та в'язкості ( $\alpha_H$ ) для ряду деталей, а також для надання високої зносостійкості.

Вибір температури загартування. Доевтектоїдні сталі необхідно нагрівати до температури на 30-50° вище точки  $A_{c3}$  (рис. 12). У цьому випадку сталь зі структурою перліт + ферит під час нагріву одержує аустенітну структуру, яка при подальшому охолодженні зі швидкістю вище критичної перетворюється на мартенсит (рис. 13).

Якщо доевтектоїдну сталь нагрівати вище точки  $A_{c1}$ , але нижче точки  $A_{c3}$ , то після загартування зберігаються ділянки фериту, що знижує твердість після загартування й механічні властивості після відпуску.

Нагрів вище точки  $A_{c3}$  викличе зниження в'язкості сталі. Злам сталі стає кристалічним. Можуть утворитися тріщини.

Заевтектоїдні сталі нагрівають до температури на 30 – 50 °С вище точки  $A_{c1}$  (рис. 13). Утворюється аустеніт і зберігається цементит, який забезпечує більш високу твердість і зносостійкість.

Нагрів вище точки  $A_{cT}$  знижує твердість, погіршує міцність і збільшує деформацію при загартуванні.

Для легованих сталей вибір температури загартування проводиться також виходячи з розташування точок  $A_1$  і  $A_3$ . При цьому необхідно враховувати, що нікель і марганець знижують температуру точок  $A_3$  і  $A_1$ , а хром, вольфрам, молібден, титан і кремній підвищують температуру  $A_1$  і  $A_3$ .

Час нагріву. Вибір швидкості нагріву залежить від складу й структури сталі, форми та розмірів виробу. Швидкість нагріву повинна бути меншою для сталей з підвищеним вмістом вуглецю та мігруючих елементів і для великих виробів складної форми, бо може статися короблення деталей, а також утворення тріщин.

Після досягнення заданої температури нагріву проводять витримку для повного прогріву виробу по розрізу, закінчення всіх фазових перетворень. Чим вище температура нагріву, тим менша може бути довготривалість витримки.

Час для нагріву 1 мм прорізу деталі з конструкційної сталі (C=0,25-0,6 %) до 770-880 °С приймають в електричній печі рівним 50-80 сек, соляній ванні – 12-14 сек, розплавленому свинці – 6-8 сек.

Час витримки при робочій температурі установлюють рівним 1\5 часу нагріву.

Ріжучий інструмент при нагріві під загартування рекомендується попередньо підігріти в печі до температури 400-500 °С.

Витримка в електричній печі при температурі загартування (750-900 °С) рекомендується для інструменту з вуглецевої сталі (C = 0,7-1,3 %) протягом 50-80 сек на 1 мм найменшого прорізу і легованої сталі 70-90 сек. При нагріві в соляній ванні, відповідно, 20-25 сек для вуглецевої сталі і 25-30 сек для легованої сталі.

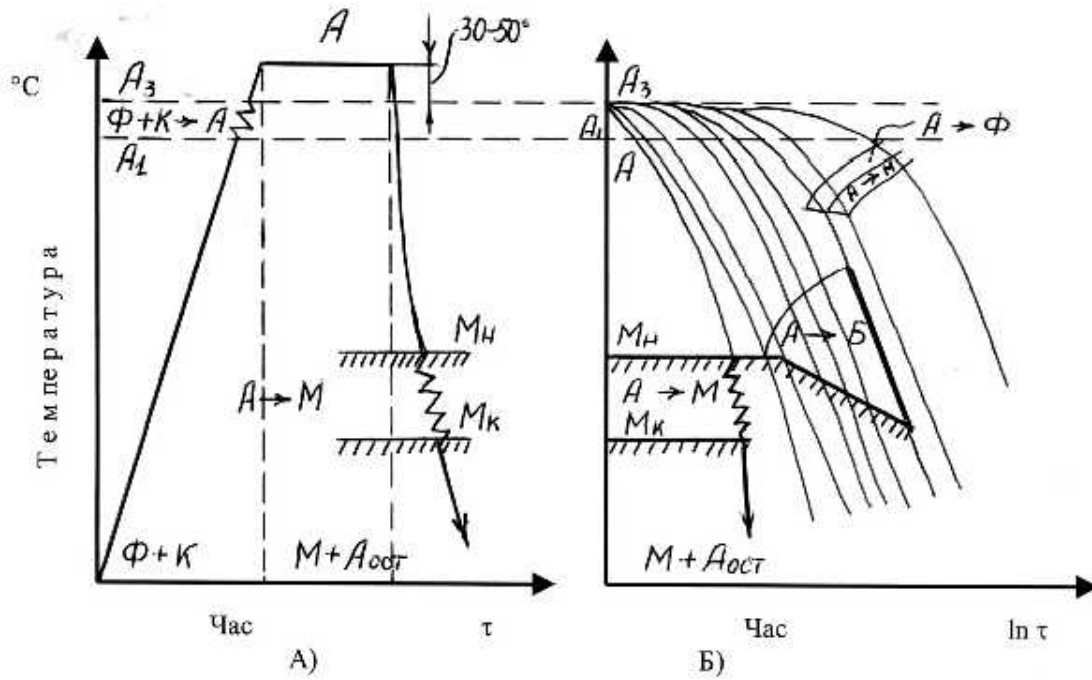


Рис. 12. Схема загартування сталі:  
 А) – графік загартування;  
 Б) – термкінетична діаграма з вказуванням швидкості охолодження при загартуванні

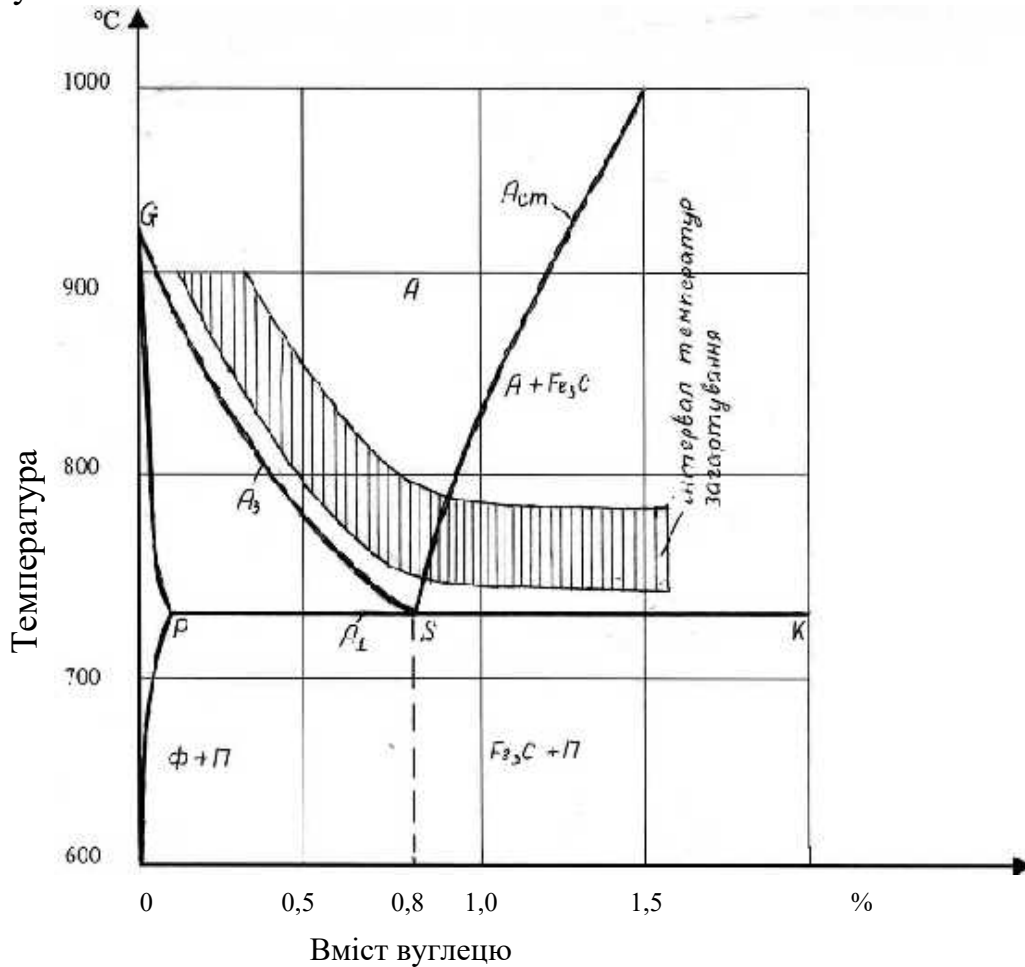
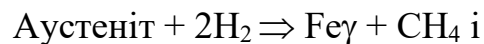


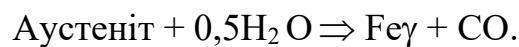
Рис. 13. Діаграма стану Fe – Fe<sub>3</sub>C з нанесеними температурами загартування доєвтектоїдної та заєвтектоїдної сталі

Захист сталі від окислення та втрати вуглецю. При нагріві до високих температур пічні газы взаємодіють з поверхнею виробу, що нагрівають. Це викликає окислення та втрату вуглецю поверхневих шарів сталі. Окислення викликає втрати металу, погіршує стан поверхневих шарів і потребує очищення від окалини. Окислення відбувається в результаті взаємодії сталі з киснем ( $2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$ ), парами води ( $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeO} + \text{H}_2$ ) і двоокису вуглецю ( $\text{Fe} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{FeO} + \text{CO}$ ). Окислення на початку нагріву незначне, а з температури 500-550 °С інтенсифікується.

Втрата вуглецю протікає при високих температурах у результаті взаємодії сталі з воднем



киснем



Втрата вуглецю знижує твердість, стійкість до зношення і опір утомленості. Для захисту виробів від окислення та втрати вуглецю застосовують нагрів у розплавлених солях, у захисних газових середовищах чи у вакуумі.

В останні роки часто використовують ендотермічну атмосферу, одержану в результаті часткового спалення при температурі 1000-1200 °С природного або промислового вуглеводневих газів в ендотермічному генераторі в присутності спеціального каталізатора.

Приблизний склад ендотермічної атмосфери: 20 %  $\text{C}_2$ , 40 %  $\text{H}_2$  і 40 %  $\text{N}_2$ .

Швидкість охолодження при загартуванні. Охолоджуюче середовище повинне забезпечити високу швидкість охолодження при температурах найменшої стійкості аустеніту (650-550 °С), щоб попередити його розпад на феритно-цементитну суміш. Однак є доцільним сповільнене охолодження в області температур мартенситного перетворення (нижче 300-200 °С), щоб не допустити утворення підвищення внутрішніх напружень, що викликають деформацію виробів, які загартовуються, і створення тріщин.

Як середовища для загартування застосовують для вуглецевих і низьколегованих сталей воду (з температурою 20-30 °С) і різні водні розчини, а для легованих сталей – масло і повітря. Для води, масла та інших киплячих рідин розрізняють при занурюванні в них нагрітого металу три періоду з різною інтенсивністю охолодження:

1. Спочатку навколо виробу утворюється парова оболонка. У цей період швидкість охолодження невелика.

2. Потім парова оболонка руйнується, і рідина на поверхні виробу починає кипіти, створюючи безпосередній контакт рідини з виробом з утворенням бульок пари. Охолодження в цей період іде з великою швидкістю.

3. При подальшому охолодженні нижче температури кипіння охолодження протікає з малою швидкістю і головним чином за рахунок конвекції.

Вода має більшу швидкість охолодження, однак має ряд недоліків:

– перехід плівочного кипіння розповсюджується на широкий інтервал температур;

– охолоджуюча здібність води різко знижується при підвищенні температури; створює високу швидкість охолодження (800-100 °С) при температурах утворення мартенситу, що сприяє деформації і створенню тріщин.

Для руйнування парової оболонки й підвищення охолодження застосовують циркуляцію води з температурою 20-40 °С.

Властивості води як загартовального середовища поліпшуються додаванням кухонної солі, лугів або сірчаної кислоти. Вони застосовуються при гартуванні вуглецевих і малолегованих сталей. Масло як середовище для загартовування має ряд переваг: воно має малу швидкість охолодження в мартенситному інтервалі температур, бо температура кипіння 250-300 °С. Швидкість охолодження в цьому інтервалі в 20-25 разів менше, ніж у воді. Масло охолоджує більш рівномірно, що зменшує напруження.

Недоліки масла: легке спалахування, загустіння з бігом часу. Масло застосовується для гартування легованих сталей і дрібних виробів з вуглецевої сталі.

Високолеговані сталі загартовують при охолодженні на зволоженому повітрі, яке подається під тиском. У цьому разі досягається найменша деформація.

#### Загартовуваність і прогартовуваність сталі.

Під загартовуваністю розуміють здатність даної сталі до підвищення твердості в результаті загартовування. Загартовуваність сталі визначається в основному вмістом у сталі вуглецю. Чим більше в мартенситі вуглецю, тим вище його твердість (рис. 14). Легуючі елементи мають невеликий вплив на загартовуваність.

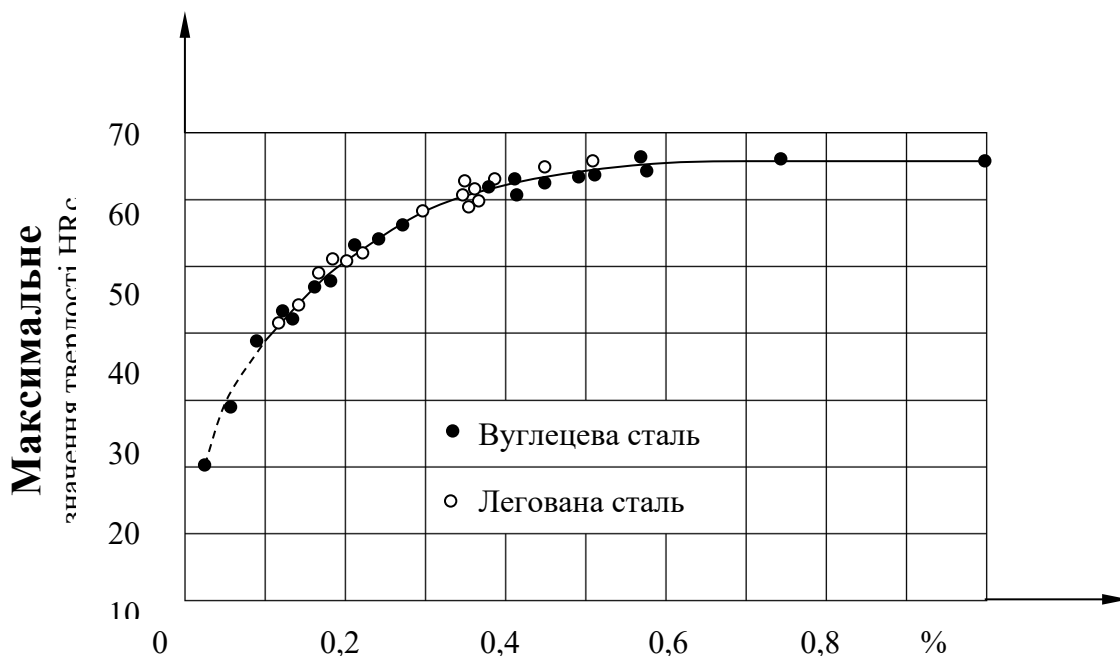


Рис. 14. Залежність максимальної твердості мартенситу від вмісту вуглецю

Під прогартовуваністю розуміють здібність сталі одержувати загартований шар з мартенситною структурою і високою твердістю на ту чи іншу глибину. Прогартовуваність визначається критичною швидкістю охолодження. Якщо дійсна

швидкість охолодження в серцевині виробу буде вище критичної швидкості загартування, то сталь отримає мартенситну структуру по всьому прорізу і буде мати наскрізну прогартованість.

Леговані сталі внаслідок більш високої стійкості аустеніту й меншої критичної швидкості охолодження прогартовуються на більшу глибину, ніж вуглецеві сталі. Сильно підвищують прогартованість марганець, молібден, хром. Малі присадки бору (0,003-005 %) сильно підвищують прогартованість. Вона особливо зростає при одночасному введенні в сталь декількох легуючих елементів. Кобальт, підвищуючи критичну швидкість загартування, зменшує прогартованість сталі. Підвищення температури і збільшення довгочасності нагріву підвищує прогартованість. Легуючі елементи, перебуваючи у вигляді карбідів, подрібнюють зерно аустеніту, що збільшує критичну швидкість загартування і зменшує прогартованість.

Способи загартування. Найбільш широке застосування отримало загартування в одному охолоджувачі. Це загартування називається безперервним. Однак для виробів складної форми і при необхідності зменшення деформації застосовують і ін. способи загартування.

Переривчасте загартування (у двох середовищах).

Виріб спочатку охолоджують у воді до температури 300-400 °С (тобто дещо вище точки Мн), а потім швидко переміщують у менш інтенсивно діючий охолоджувач (масло чи повітря), в якому він охолоджується до температури 20 °С. У результаті переміщення в інше середовище загартування зменшуються внутрішні напруження, які виникають при швидкому охолодженні в області температур мартенситного перетворення.

Для складного і великого інструменту з сталей, щоб уникнути утворення тріщин, застосовується різновид переривчастого загартування. Інструмент швидко охолоджують до температури 100 °С і відразу переносять у ванну для відпуску при температурі 170-180 °С. Відпуск знижує напруження загартування. Потім охолодження на повітрі і другий відпуск.

Загартування із самовідпуском. Виріб витримують у середовищі загартування до неповного охолодження; воно переривається, коли серцевина зберігає ще теплоту. Виділення теплоти викликає підвищення температури в більш сильно охолоджених поверхневих шарах. Так робиться їх відпуск (самовідпуск).

Загартування із самовідпуском застосовується для інструментів: зубило, кувалда, слюсарні молотки, керни та ін., які працюють з ударними навантаженнями і повинні мати високу твердість з в'язкістю в серцевині. Таким чином загартовують рейки, залізношляхові колеса.

Ступеневе загартування. Сталь, частіше вуглецева, після нагріву до температури загартування охолоджують у середовищі, яке має температуру вище точки Мн (280-250 °С), і витримують у ній короткий час. Потім охолоджують на повітрі. Таке загартування застосовується для виробів діаметром  $\leq 8-10$  мм. Великі вироби загартовують у середовищі, яке має температуру нижче точки Мн (100-110 °С), що забезпечує більшу швидкість охолодження.

Ізотермічне загартування. Загартування виконується як і ступеневе, однак передбачає більш довготривалу витримку вище точки  $M_n$ . Для вуглецевих сталей – не дає суттєвого підвищення механічних властивостей у порівнянні зі звичайним загартуванням і відпуском.

Для легованих сталей забезпечується дуже висока міцність при достатній в'язкості.

Охолоджуючим середовищем при ступеневому й ізотермічному загартуванні частіше служать розплавлені солі, наприклад: 55 %  $KNO_3$  і 45 %  $NaNO_2$  (чи  $NaNO_3$ ), а також розплавлені луги (20 %  $NaOH$  і 80 %  $KOH$ ). Солі та луги застосовують в інтервалі температур 150-500 °С.

Обробка сталі холодом. Для зменшення кількості залишкового аустеніту в загартованій сталі, з метою підвищення твердості і зносостійкості, застосовується обробка холодом.

Ця обробка полягає в охолодженні загартованої сталі до температур нижче нуля. Після обробки холодом необхідно виконувати відпуск, бо зростають напруження. Обробка холодом виконується відразу після загартування. Використовують в основному для вимірювальних інструментів.

#### 1.4.5. Відпуск сталі.

Відпуском сталі називається нагрів загартованої сталі до температури не вище тієї, що відповідає точці  $A_{c1}$ , витримка при цій температурі і наступне охолодження із заданою швидкістю. Відпуск є остаточною операцією термічної обробки. У результаті відпуску сталь має необхідні механічні властивості. Крім того, відпуск повністю або частково ліквідує внутрішні напруження, які виникають при загартуванні. Ці напруження знімаються тим повніше, чим вище температура відпуску.

Найбільш інтенсивно напруження знижуються в результаті витримки протягом 15-30 хвилин. Після витримки протягом 1,5 години напруження знижується до мінімальної величини, яка може бути досягнута відпуском при даній температурі.

Швидкість охолодження після відпуску також має великий вплив на величину залишкових напружень. Чим повільніше охолодження, тим менше залишкове напруження. Швидке охолодження у воді від температури 600 °С створює нові теплові напруження. Охолодження після відпуску на повітрі дає напруження на поверхні в 7 разів менше, а охолодження в маслі – в 2,5 разу менше в порівнянні з напруженням при охолодженні у воді. Однак вироби з легованих сталей, які мають схильність до утворення відпускнуї крихкості, після відпуску при температурі 500-600 °С необхідно швидко охолодити.

Температура відпуску має значний вплив на одержані властивості. Тому розрізняють наступні три види відпуску.

Низькотемпературний (низький) відпуск проводять з нагрівом до температури 250 °С. Цей відпуск знижує внутрішні напруження – переводить мартенсит загартування у відпущений мартенсит. Він підвищує міцність і набагато поліпшує в'язкість без зниження твердості. Однак виріб не витримує динамічних навантажень.

Низькотемпературному відпуску піддають ріжучий і вимірювальний інструменти з вуглецевих і низьколегованих сталей, а також деталі після поверхневого загартування, цементування, ціанування і нітроцементування. Тривалість відпуску 1-1,5 години, а для вимірювальних інструментів – довше.

Середньотемпературний (середній) відпуск виконується при температурі 350-500 °С і застосовується для пружин і ресор. Він забезпечує високу межу пружності і набагато підвищує в'язкість. Твердість після відпуску HRC – 40-50.

Високотемпературний (високий) відпуск проводять при температурі 500-680 °С. Він майже повністю знімає внутрішні напруження і значно підвищує ударну в'язкість. Міцність і твердість при цьому знижуються, однак залишаються вищими, ніж при нормалізації (відпалу), тому він створює найкраще співвідношення міцності та в'язкості сталі.

Загартування з високим відпуском підвищує межу міцності  $\sigma_B$  і текучості  $\sigma_T$ , відносне звуження  $\Psi$  і ударну в'язкість  $\alpha_H$  (табл. 3).

Таблиця 2

Вплив термічної обробки на механічні властивості вуглецевої сталі з 0,42 % С

Термічна обробка	Механічні властивості				
	$\sigma_B$ Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_T$ Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ Н/мм <sup>2</sup>	$\Psi$ Н/мм <sup>2</sup>	$\alpha_H$ Н/мм <sup>2</sup>
Відпал при 880 °С	550	350	20	52	90
Загартування з 880 °С (з охолодженням у воді) і відпуск при 300 °С	1300	1100	12	35	30
Загартування з 880 °С (з охолодженням у воді) і відпуск при 600 °С	620	430	22	55	140

Загартування з високим відпуском називається поліпшенням, або поліпшуючою обробкою.

Поліпшенню піддають середньовуглецеві (0,3-0,5 % С) конструкційні сталі.

Однак зносостійкість поліпшеної сталі внаслідок її зниженої твердості невисока.

#### 1.4.6. Термомеханічна обробка сталі.

Термомеханічна обробка сталі дозволяє підвищити механічні властивості в порівнянні з гартуванням і відпуском.

Вона полягає в сполученні пластичної деформації сталі з її загартуванням. Розрізняють два основних способи термомеханічної обробки.

Високотемпературна термомеханічна обробка (ВТМО) – сталь деформують при температурі вище точки  $A_3$  (рис. 15), при котрій сталь має аустенітну структуру. Ступінь деформації 20-30 %. Потім – негайне загартування.

Низькотемпературна термомеханічна обробка (НТМО) – сталь деформують у температурній зоні аустеніту (400-600 °С); температура деформування повинна бути вище точки  $M_n$ , однак нижче температури рекристалізації (рис. 15). Ступінь деформації складає 75-95 %. Загартування здійснюється відразу після деформації.

Після загартування в обох випадках іде низькотемпературний відпуск (100-300 °С).

Така обробка дозволяє отримати дуже високу міцність  $\sigma_b=2200-3000 \text{ Н/мм}^2$  при гарній пластичності та в'язкості  $\delta = 6-8 \%$ ,  $\alpha_n = 50-60 \text{ Нм/мм}^2$  (після звичайного загартування й низького відпуску межа міцності не перевищує 2000-2200  $\text{Н/мм}^2$  і  $\delta = 3-4 \%$ ).

#### 1.4.7. Дефекти, які виникають при термічній обробці сталі.

До основних дефектів, які можуть виникнути при загартуванні сталі, відносять тріщини у виробах – внутрішні або зовнішні, деформації і короблення.

Тріщини. Тріщини виникають при загартуванні в тому разі, коли внутрішні напруження розтягнення першого роду перевищують опір сталі відриву. Вони утворюються при температурі нижче точки  $M_n$ , частіше після охолодження.

Причини: збільшення в сталі вуглецю; підвищення температури загартування; збільшення швидкості охолодження мартенситу; збільшення прогартованості, а також різка зміна перерізу деталі, вирізки, поглиблення та ін.

Деформація і короблення. Деформація виникає при термічній обробці під дією об'ємних змін і в результаті термічних і структурних напружень.

Несиметрична деформація – це короблення. Воно виникає при нерівному і надзвичайно високому нагріві під загартування, високій швидкості охолодження.

Для усунення короблення деталі охолоджують у штампах, пресах тощо.

Розміри виробів після загартування не відповідають початковим навіть без короблення. Для усунення необхідно підібрати склад сталі та умови термічної обробки (ступеневе й ізотермічне загартування).

#### 1.4.8. Поверхнєве загартування сталі.

Поверхнєве загартування – місцеве загартування, при якому на деяку глибину загартується тільки поверхневий шар, серцевина виробу буде незагартована.

Основне призначення поверхневого загартування – підвищення твердості, зносостійкості і межі витривалості виробу. Серцевина виробу залишається в'язкою і сприймає ударні навантаження. У практиці частіше застосовують поверхнєве загартування з індукційним нагрівом струмом високої частоти (ТВЧ). Рідше, для великих виробів, застосовують загартування з нагрівом газовим полум'ям.



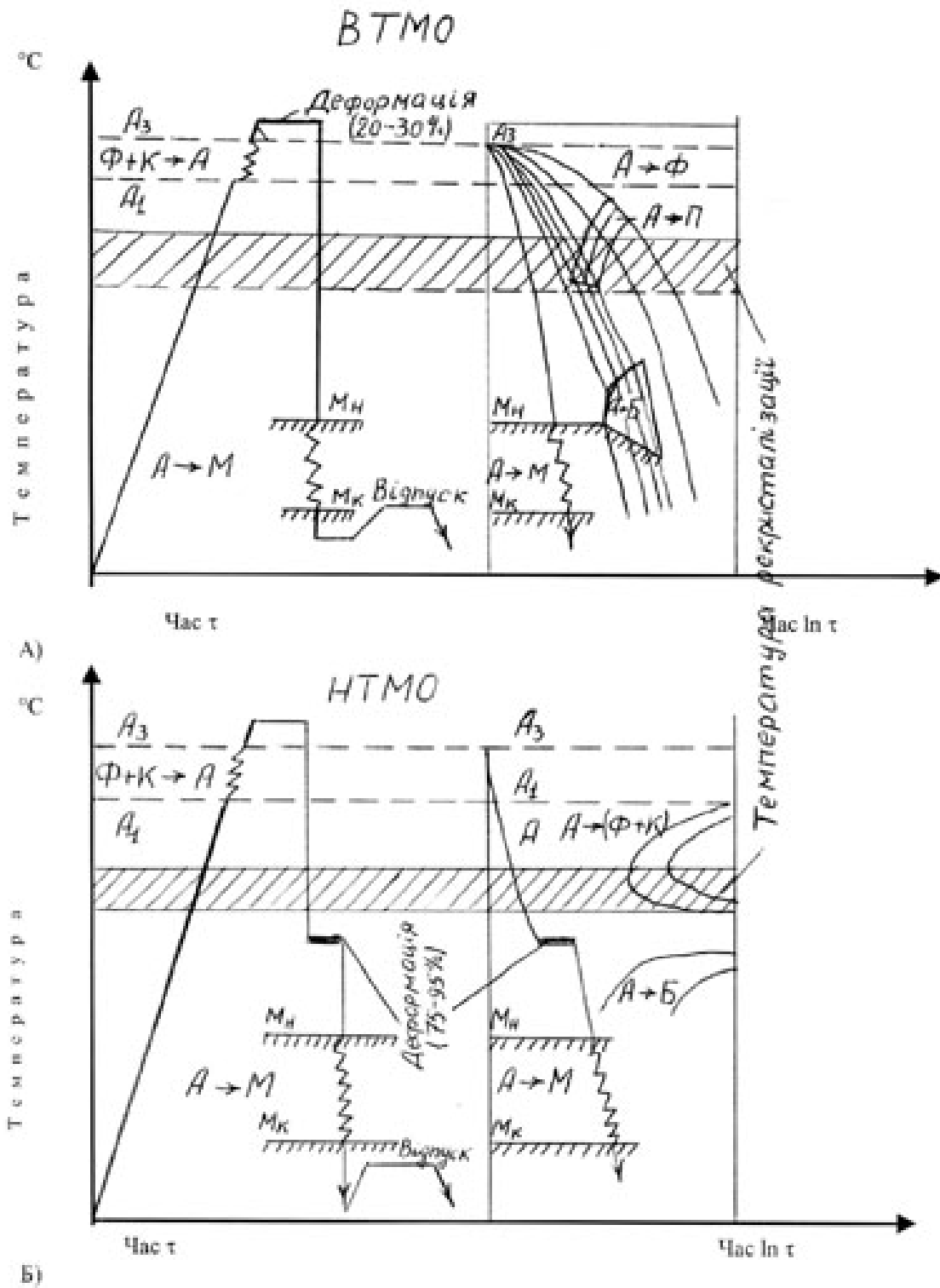


Рис. 15. Схема термомеханічної обробки сталі:  
 А) – VTMO; Б) – HTMO

Загартування при індукційному нагріві. Індукційний нагрів запропонував у 1935 році В.П. Вологдін, а в 1937 році він був застосований на Московському автомобільному заводі.

Для нагріву виріб установлюють в індуктор – один чи декілька витків трубки або шини (рис. 16). Змінний струм тече крізь індуктор, створює змінне магнітне поле. Індукційоване у виріб електромагнітне поле приводить до появи вихорового струму й виділенню джоулевої теплоти в оброблюваному виробі. Щільність індукційного змінного струму по перерізу провідника (виробу, що нагрівають) неоднакова. Струм іде в основному по поверхні провідника. Це явище зветься поверхневим ефектом.

Глибина проникнення струму збільшується з підвищенням температури і найбільш різко зростає при температурі вище точки Кюрі (770 °С), внаслідок переходу сталі з феромагнітного в парамагнітний стан. Одночасно відбувається зменшення швидкості нагріву.

Швидкість нагріву складає десятки і сотні градусів в секунду. Загальний час нагріву складає 1,5-10 сек. Чим більше частота струму, тим менше товщина загартованого шару.

Для вірного вибору температури загартування для багатьох сталей розроблені діаграми переважних режимів при нагріві ТВЧ з різною швидкістю (рис. 17).

Зона переважних режимів для сталі з 0,5 % С обмежена найбільшою твердістю HRC 50.

Чим більша швидкість нагріву, тим вища температура, що забезпечує найбільшу твердість HRC 50.

Існують такі способи загартування з індукційним нагрівом:

1. Одночасний нагрів і охолодження всієї поверхні (пальці, валики).
2. Послідовний нагрів і охолодження окремих ділянок: загартування шийок колінчастих валів, зубчастих коліс, кулачків розподільних валів та ін.

Близько 90 % тепла відділяється в шарі товщини  $y$ , який знаходиться в залежності від частоти струму  $f$  в Гц, магнітної проникності  $\mu$  в гс/ерст і електроопору  $\rho$  в Ом·см металу, що нагрівають:

$$y = 5000 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \text{ см}$$

Подача охолоджуючої рідини (вода, емульсія) звичайно здійснюється крізь душовий устрій індуктора.

3. Безперервний послідовний нагрів і охолодження (довгі вали, осі та ін.). Швидкість переміщення виробу або індуктора від 0,3 до 3,0 см/с.

Після загартування індукційним нагрівом вироби піддають низькому відпуску (160-200 °С).

Нерідко деталі піддають самовідпуску, тобто при загартуванні охолоджують не до кінця.

Частіше загартовують вуглецеві сталі (0,4-0,5 % С), рідше леговані сталі.

Загартування ТВЧ дає можливість одержувати більшу твердість.

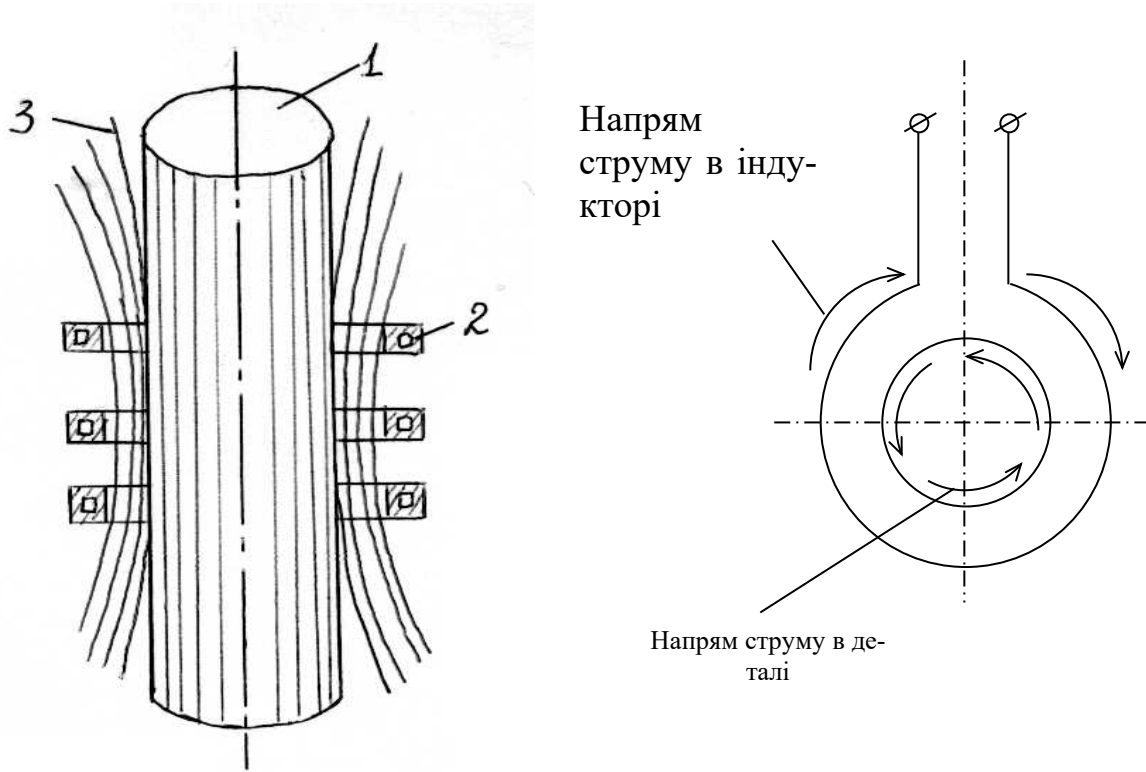
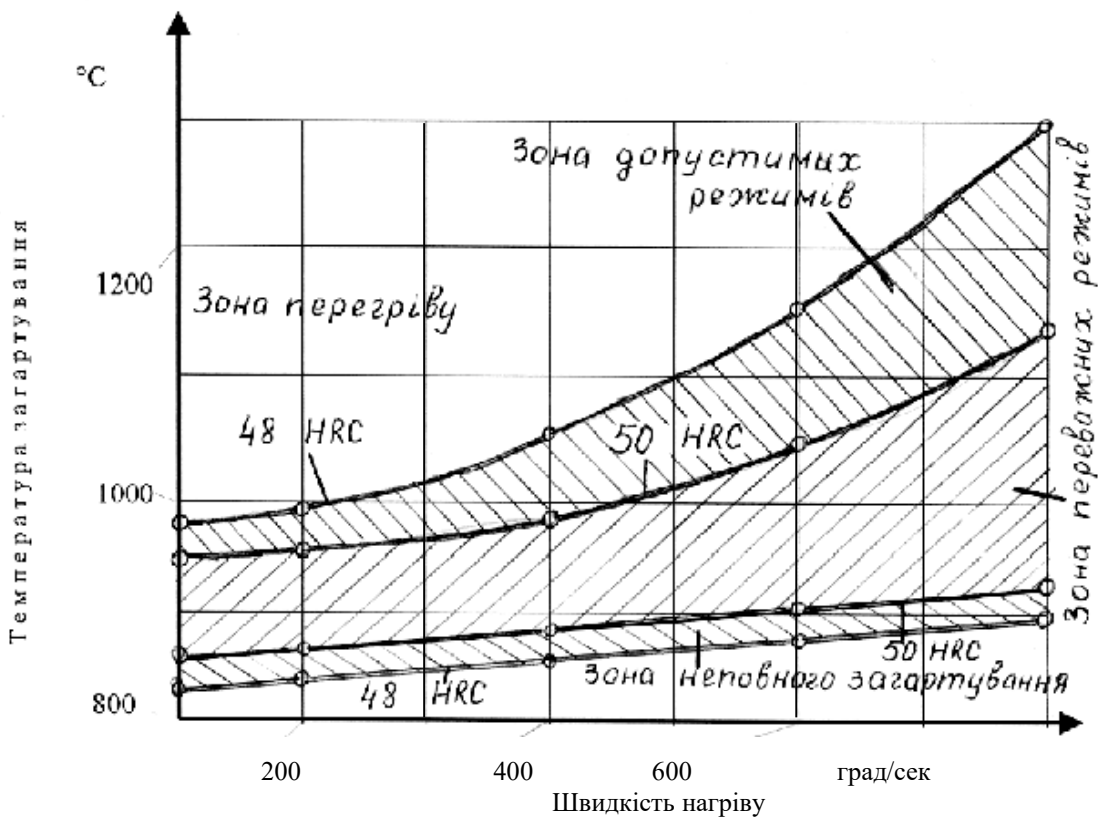


Рис. 16. Схема індукційного нагріву:  
1 – деталь; 2 – індуктор; 3 – магнітне поле

Рис. 17. Діаграма можливих (переважних) температур під час індивідуального нагріву. Сталь, яка має 0,5 % С і 1,0 % Сr (Кідін І.М.)



Недоліки: великі витрати на устрій, нерентабельність загартування окремих виробів, бо необхідно виготовляти індуктор.

Загартування з нагрівом газовим полум'ям. Цей спосіб загартування застосовується для великих виробів (прокатних валків, валів тощо). Поверхню деталі нагрівають полум'ям газу, який має високу температуру (2400-3150 °С). Поверхня виробу швидко нагрівається до температури загартування, швидке охолодження забезпечує загартування поверхневого шару.

У якості пального застосовується ацетилен, світильний і природний газ, а також гас. Для нагріву використовуються щілисті і багатополум'яні пальники. Товщина загартованого шару складає 2-4 мм, а твердість HRC 50-56.

### 1.5. Хіміко-термічна обробка сталі та сплавів.

#### 1.5.1. Фізичні основи хіміко-термічної обробки.

Хіміко-термічною обробкою називають технологічні процеси, які приводять до насичення поверхневого шару виробів тим чи іншим елементом шляхом дифузії його з зовнішнього середовища.

Мета хіміко-термічної обробки може бути різноманітною:

- підвищення зносостійкості й міцності при стомленні;
- підвищення опору електрохімічної або газової корозії.

Утворення поверхневого шару змінного хімічного складу відбувається в декілька стадій.

Перша стадія – адсорбція, тобто "прилипання" атомів, що подаються до виробів до металевої поверхні. Адсорбція пояснюється тим, що у атомів металу, які знаходяться на поверхні, вільні зв'язки направлені назовні, це збільшує поверхневу енергію. При осадженні "чужих" атомів вільні зв'язки використовуються, що зменшує поверхневу енергію. Звичайно адсорбційна здібність збільшується з підвищенням температури.

Друга стадія – розчин атомів, що адсорбовані в металі. У результаті розчину хімічний склад поверхневого шару змінюється, з'являється градієнт концентрації розчиненого компонента від поверхні до шару, що знаходиться нижче.

Третя стадія – дифузія розчиненої речовини вглиб виробу. Швидкість дифузії зростає з підвищенням температури та зі збільшенням градієнта концентрації: чим вище температура хіміко-термічної обробки, тим товщий шар зміненого хімічного складу отримується.

При заданій температурі товщина шару зростає зі збільшенням тривалості процесу за параболічним законом.

Найбільш широке практичне застосування для сталей знайшли такі процеси хіміко-термічної обробки: цементація, азотування, ціанування.

#### 1.5.2. Цементація сталі.

Цементацією називається процес насичення поверхневого шару сталі вуглецем. Розрізняють два основних види цементації: твердими вуглемісткими сумі-

шами (карбюризаторами) і газом. Головною метою цементації є отримання твердої та зносостійкої поверхні, що досягається збагаченням поверхневого шару вуглем до концентрації 0,8-1,0 % і наступним загартуванням.

Цементация твердим карбюризатором. У цьому процесі середовищем, що насичує, є твердий карбюризатор. Частіше активоване деревне вугілля (дубове чи березове) у зернах поперечником 3,5-10 мм, а також кам'яновугільний напівкокс і торф'яний кокс. Для прискорення процесу цементації до деревного вугілля (коксу) додають активізатори: вуглекислий барій ( $\text{BaCO}_3$ ) і кальційовану соду ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) в кількості 10-40 % від ваги вугілля.

Вироби, які підлягають цементації вкладають в ящики: зварні сталні або литі чавунні. На дно ящика насипають і утрамбовують шар карбюризатора товщиною 20-30 мм. На цей шар укладають перший ряд виробів із зазором 10-15 мм. Засипають і утрамбовують шар карбюризатора товщиною 10-15 мм, на нього укладають другий шар деталей і т.д. Останній шар деталей засипають шаром карбюризатора товщиною 35-40 мм, з тим щоб компенсувати можливу його усадку. Ящик накривають кришкою, краї якої обмазують вогнетривкою глиною або сумішшю глини й річного піску, розведених на воді до тістоподібного стану. Після цього ящик поміщають у піч. Температура цементації складає 910-930 °С.

Час нагріву до температури цементації звичайно приймають рівним 7-9 хв. на кожний сантиметр мінімального розміру ящика. Тривалість видержки при температурі цементації для ящика з мінімальними розміром 150 см складає 5,5-6,5 год. для товщини шару 0,7-0,9 мм і 9-11 год. для шару товщиною 1,2-1,5 мм. При великих розмірах ящика ( $\geq 250$  см) для отримання шару товщиною 0,7-0,9 мм витримка приймається рівною 7,5-8,5 год. і при товщині 1,2-1,5 мм – 11-14 год. Підвищення температури до 950-1000 °С із застосуванням менш активних карбюризаторів та спадково дрібнозернистих сталей, що не схильні до перегріву, дозволяє прискорити цементацію.

Ящики після цементації охолоджують на повітрі до температури 400-500 °С, після чого розкривають.

Газова цементация. Газова цементация здійснюється нагрівом виробу в середовищі газів, що містять вуглець.

При газовій цементації можна отримати задану концентрацію вуглецю в шарі: скорочується тривалість процесу, так як відпадає необхідність прогріву ящиків, наповнених малотеплопровідним карбюризатором; забезпечується можливість механізації та автоматизації процесу.

Кращий карбюризатор – природний газ ( $\text{CH}_4$ ). Часто для цементації застосовують рідкі вуглеводороди (керосин, синтин, спирт).

Цементацию виконують при температурі 930-950 °С. Тривалість цементації для отримання шару товщиною 0,7-1,5 мм при температурі 930 °С в муфельних печах безперервної дії складає 6-12 год., а в шахтних печах – 3-10 год.

Для прискорення процесу температуру газової цементації іноді підвищують до 1000-1050 °С за умови, що застосовані в цьому випадку сталі відносяться до спадково дрібнозернистих.

Термічна обробка сталі після цементації. Кінцеві властивості цементованих виробів досягаються в результаті термічної обробки, яка виконується після цементації. Такою обробкою необхідно виправити структуру, отримати високу твердість у цементованому шарі та добрі механічні властивості серцевини і т.д.

Після газової цементації часто застосовують загартування безпосередньо з цементаційної печі після охолодження до температури 840-860 °С.

Після цементації в твердому карбюризаторі термічна обробка іноді складається з подвійного загартування та відпуску. Перше загартування з нагрівом до температури 880-900 °С призначають для виправлення структури серцевини. Друге загартування проводиться з нагрівом до температури 760-780 °С для усунення перегріву цементованого шару та придання йому високої твердості.

Заключною операцією термічної обробки цементованих виробів у всіх випадках є низький відпуск при температурі 160-180 °С, який знімає напруження. Твердість шару для вуглецевої сталі складає HRC 60-64, а для легованої сталі HRC 58-61. Твердість серцевини складає HRC 20-35.

Додатково межа витривалості цементованих виробів може бути підвищена дробоструйним наклепом. Цементована сталь має високу зносостійкість і контактну міцність.

### 1.5.3. Азотування сталі.

Азотуванням сталі називається процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі азотом при нагріві в аміаку. Азотування підвищує твердість поверхневого шару, його зносостійкість, межу витривалості та опір корозії в таких середовищах, як атмосфера, вода, пара тощо. Твердість азотованого шару вище, ніж цементованої сталі, і зберігається при нагріві до високих температур (600-650 °С), тоді як твердість цементованого шару зберігається тільки до температури 200-225 °С.

Азотування застосовується для таких виробів, як шестерні, циліндри двигунів та ін.

Сталі для азотування. Азотуванню підлягають середньовуглецеві леговані сталі, які набувають особливо високу твердість і зносостійкість. Найбільш сильно підвищують твердість алюміній, хром, молібден і ванадій. Сталі, леговані хромом, вольфрамом, молібденом, після азотування мають твердість HV 600-800.

Якщо головними вимогами, що пред'являються до азотованого шару, є високі твердість і зносостійкість, то використовують сталь марки 38ХМЮА, яка містить 0,35-0,42 % С; 1,35-1,65 % Cr; 0,7-1,10 % Al і 0,15-0,25 % Mo. Одночасна присутність алюмінію, хрому і молібдену дозволяє підвищити твердість азотованого шару до HV 1200. Молібден, крім того, усуває відпускну крихкість, яка може виникнути при повільному охолодженні від температури азотування.

Технологія процесу азотування. Технологічний процес передбачає декілька операцій.

1. Попередню термічну обробку, яка складається з загартування і високого відпуску сталі для отримання підвищеної міцності та в'язкості в серцевині виробу.

Загартування сталей 38ХМЮА виконують з нагрівом до температури 900-950 °С та охолодженням у воді або маслі. Відпуск проводиться при високій температурі (600-675 °С), яка перевищує максимальну температуру наступного азотування та забезпечує отримання твердості, при якій сталь можна обробляти різанням.

2. Механічну обробку деталей, а також шліфування.

3. Захист ділянок, що не підлягають азотуванню, нанесенням тонкого шару (0,01-0,015 мм) олова електролітичним методом або рідкого скла.

4. Азотування.

5. Кінцеве шліфування або доводку.

Азотування тонкостінних виробів рекомендується виконувати при температурі 500-520 °С. Тривалість процесу залежить від потрібної товщини азотованого шару. Чим вища температура азотування, тим нижча твердість азотованого шару і більша товщина шару. Звичайно при азотуванні бажано мати шар товщиною 0,3-0,6 мм. Процес азотування в цьому випадку при температурі 500-520 °С є тривалим і складає 24-90 годин.

Азотування в рідких середовищах. Процес проводиться при температурі 570 °С протягом 0,5-3,0 год. в розплавлених ціаністих солях (40 % KCN +60 % NaCN), через які пропускається сухе повітря. На поверхні деталей виникає тонкий (7-15 мкм) карбонітридний шар  $Fe_3(N,C)$ , з високим опором зносу та не схильний до крихкого руйнування. Дорогий. За кордоном широко використовується для обробки деталей автомобіля.

#### 1.5.4. Ціанування та нітроцементування сталі.

Ціануванням та нітроцементуванням називають спільне насичення поверхні сталі вуглецем і азотом. Підвищує твердість і зносостійкість сталевих виробів. Частіше застосовують сталі, які містять 0,2-0,4 % С.

Ціанування. У цьому процесі вироби нагрівають до температури 820-960 °С в розплавлених солях, що містять ціаністий натрій NaCN. Для отримання шару невеликої товщини (0,15-0,35 мм) процес проводять при температурі 820-860 °С у ваннах, що містять 20-25 % NaCN, 25-50 % NaCl та 25-50 %  $Na_2CO_3$ . Тривалість процесу визначається потрібною товщиною шару і складає 30-90 хв.

Ціанування при низьких температурах дозволяє виконати загартування безпосередньо з ціанистої ванни. Після загартування йде низькотемпературний відпуск (180-200 °С). Твердість ціанованого шару після термічної обробки складає HRC 58-62. Ціанований шар у порівнянні з цементованим має більш високу зносостійкість і підвищує межу витривалості. Він вживається для дрібних деталей в автомобілебудуванні – шестерні приводу насосів для мастила, пальці ресор, черв'яки та ін.

Для отримання шару великої товщини (0,5-2,0 мм) ціанування ведуть при температурі 930-960 °С у ванні, що містить 8 % NaCN, 82 %  $BaCl_2$  та 10 % NaCl. Час витримки виробів – 1,5-6 год. Після ціанування деталі охолоджують на повітрі, а потім загартовують з підігрівом у соляній ванні та піддають низькотемпературному відпуску.

Недолік ціанування – висока ціна, отруйність солей.

Нітроцементация. При нітроцементации вироби нагрівають до температури 850-870 °С в газовій суміші, яка складається з газу, що насичує вуглецем, і аміаку. Тривалість процесу 2-10 год. для отримання шару товщиною 0,25-1,0 мм. Для нітроцементации застосовують рідкий карбюратор – триетаноламін  $(C_2H_5O)_3N$ .

Потім йде загартування, можна зразу із печі з охолодженням до температури 800-825 °С. Після загартування проводять відпуск при температурі 160-180 °С. Твердість шару HRC 60-62.

Переваги – відсутня необхідність застосування отруйних солей, можливість регулювання вмісту вуглецю й азоту в шарі, можна обробляти деталі будь-яких розмірів. Широко застосовується в машинобудуванні.

#### 1.5.5. Дифузійна металізація.

Поверхнєве насичування сталі алюмінієм, хромом, бором і другими елементами називається дифузійним насиченням металами. Виріб одержує ряд властивостей: жаростійкість, корозійну стійкість, підвищену зносостійкість та твердість.

Поверхнєве насичування сталі металами (або кремнієм) можна здійснити при температурі 900-1050 °С в порошкоподібних сумішах або насичуванням з газового середовища. Тривалість процесу 6-12 годин.

Алітування – це насичування поверхні сталі алюмінієм. Склад суміші: порошок алюмінію (25-50 %) або фероалюмінію (50-75 %), окис алюмінію (25-75 %) і хлористий амоній (~1,0 %). Процес іде при температурі 900-1050 °С упродовж 3-12 годин. Можна вести процес у ваннах з розплавленим алюмінієм.

Алітований шар – це твердий розчин алюмінію в  $\alpha$ -залізі. Концентрація алюмінію ~30 %. Алітують деталі, які працюють при високих температурах.

Хромування сталі – процес насичування поверхні сталей виробів хромом. Забезпечує окисостійкість до 800 °С, корозійну стійкість у воді, морській воді та азотній кислоті. Сталі які мають 0,3-0,4 % С з хромуванням підвищують твердість і зносостійкість.

Хромування частіше проводять у порошкоподібних сумішах (50 % ферохрому, 49 % окису алюмінію, 1 % хлористого амонію). Застосовується й газове хромування. Хромування запроваджують при температурі 1000-1050 °С, декілька годин.

Твердість шару, одержаного хромуванням заліза, складає HV 250-300, а хромуванням сталі – HV 1200-1300. Товщина шару  $\leq 0,15-0,2$  мм.

Хромують деталі паросилового обладнання, а також деталі, які працюють на знос в агресивних середовищах.

Силіціювання – насичування поверхні сталі кремнієм. Надає сталі високу корозійну стійкість у морській воді, в азотній, сірчаній і соляній кислотах, збільшує стійкість проти зносу. Проводять у сумішах (75 % феросиліцію, 20 % шамоту і 5 %  $NH_4Cl$ ) або в газовому середовищі ( $SiCl_4$ ). Процес проходить при температурі 950-1000 °С.



Силіційований шар є твердим розчином кремнію в  $\alpha$ -залізі. Шар має підвищену пористість. Товщина шару 0,3-1,0 мм. Твердість HV 200-300. Висока зносостійкість після пропитування мастилом при температурі 170-200 °С. Піддають деталі обладнання хімічної, паперової та нафтової промисловості.

Борирування – насичування поверхневого шару бором – створює дуже високу твердість (HV 1800-2000), зносостійкість і стійкість проти корозії в різних середовищах. Виконують при електролізі розплавлених солей, які вміщують бор. Виріб править за катод у ванні з розпавленою бурою ( $\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_7$ ). Температура насичення 930-950 °С, витримка 2-6 годин. Застосовують і газове борирування. Товщина шару 0,1-0,2 мм.

Борирують деталі нафтового обладнання (втулки насосів), штампи гарячого штампування. Можливо борирувати всі сталі.

### 1.6. Конструкційні сталі.

Конструкційними називають сталі, які застосовують для виготовлення деталей машин, конструкцій і споруд. Сталі, що застосовуються в конструкціях і спорудах, називаються будівельними. Чіткої межі по хімічному складу поміж будівельними і машинобудівними сталями немає.

Конструкційними сталями можуть бути як вуглецеві, так і леговані сталі. Вміст вуглецю в цій групі сталей не перевищує 0,5-0,6 %. Конструкційна сталь повинна мати високу міцність, пластичність і в'язкість у сполученні із задовільними технологічними властивостями. Сталь повинна легко оброблятися тиском (прокатка, ковка, штампування та ін.) і різанням, добре зварюватися, мати високу прогартуваність і малу схильність до деформацій і тріщиноутворення при загартуванні.

#### 1.6.1. Класифікація конструкційних сталей.

Сталі класифікують за хімічним складом, якістю, ступенем розкислення, структурою та міцністю.

За хімічним складом сталі розділяються на вуглецеві і леговані. По концентрації вуглецю вони підрозділяються на низьковуглецеві (<0,3 % C), середньовуглецеві (0,3-0,7 % C) і високовуглецеві (>0,7% C). Леговані сталі в залежності від уведених елементів поділяють на хромові, марганцеві, хромонікелеві, хромокременіймарганцеві і багато інших. По кількості уведених елементів їх розділяють на низько-, середньо- і високолеговані. В низьколегованих сталях кількість легуючих елементів не перевищує 5 %, в середньолегованих утримується від 5 до 10 %, в високолегованих – більше 10 %.

За якістю сталі класифікують на сталі звичайної якості, якісні, високоякісні і особлиовисокоякісні.

Під якістю сталі розуміють сукупність властивостей, що визначаються металургійним процесом її виробництва. Однорідність хімічного складу, будови й властивостей сталі, а також її технологічність у великій мірі залежать від вмісту газів (кисню, водню, азоту) і шкідливих домішок – сірки і фосфору (див. 1.3.3.). Гази є захованими домішками, що важко визначити чисельно, тому норми вмісту шкідливих домішок є основними показниками для визначення сталей за якістю.

Сталі звичайної якості мають до 0,055 % S і 0,045 % P, якісні – не більше 0,04 % S і 0,035 % P, високоякісні – не більше 0,025 % S і 0,025 % P, особливовисокоякісні – не більше 0,015 % S і 0,025 % P.

За ступенем розкислення і характером затвердіння сталі класифікують на спокійні, напівспокійні і киплячі.

Розкислення – процес видалення з рідкого металу кисню, який запроваджується для запобігання крихкого руйнування сталі при гарячій деформації.

Спокійні сталі розкислюють марганцем, кремнієм і алюмінієм.

Вони мають мало кисню й охолоджуються спокійно, без газовиділення. Киплячі сталі розкислюють тільки марганцем. Перед розливанням вони мають багато кисню, який при затвердінні сталі взаємодіє з вуглецем та відходить у вигляді CO. Виділення бульок CO створює враження кипіння сталі, звідкіля і її назва. Киплячі сталі дешеві, їх виробляють низьковуглецевими і практично без кремнію ( $Si \leq 0,07\%$ ), однак з підвищеною кількістю газоподібних домішок.

Напівспокійні сталі за ступенем розкислення займають проміжне положення між спокійними і киплячими.

При класифікації сталі за структурою враховують особливості її будови у відпаленому і нормалізованому станах. За структурою у відпаленому стані конструкційні сталі підрозділяють на чотири класи:

- 1) евтектоїдні, що мають у структурі надлишковий ферит;
- 2) евтектоїдні, структура яких складається з перменту;
- 3) аустенітні;
- 4) феритні.

Вуглецеві сталі можуть бути перших двох класів, леговані – всіх класів. Сталі аустенітного класу утворюються при введенні великої кількості елементів Ni, Mn; сталі феритного класу – при введенні елементів Cr, Si, V, W та ін.

За міцністю сталі оцінюються тимчасовим опором. Конструкційні сталі з деяким допущенням можливо поділити на сталі нормальної (середньої) міцності ( $\sigma_B \sim$  до 1000 МПа), підвищеної міцності ( $\sigma_B \sim$  до 1500 МПа) і високоміцні ( $\sigma_B \sim$  більше 1500 МПа).

### 1.6.2. Вуглецеві сталі.

Вуглецевих сталей 80 % від загального об'єму. Це пояснюється тим, що ці сталі дешеві і сполучають задовільні механічні властивості з добрим обробленням різанням і тиском. За цими показниками вони перевершують леговані сталі, однак вуглецеві сталі менш технологічні при термічній обробці. Через високу критичну швидкість загартування вуглецеві сталі охолоджують у воді, що викликає значні деформації й короблення деталей. Крім того, для одержання однакової міцності з легованими сталями їх необхідно піддавати відпуску при більш низькій температурі, тому вони зберігають більш високі напруження загартування, які знижують конструкційну міцність.

Головний недолік вуглецевих сталей – невелика прогартованість (до 12 мм). За статичною міцністю вони відносяться до сталей нормальної міцності. Вуглецеві конструкційні сталі випускають звичайної якості і якісні.

Вуглецеві сталі звичайної якості. Це найбільш дешеві сталі. У них допускають підвищене утримування шкідливих домішок, а також газонасиченість і забрудненість неметалічними включеннями.

Їх виробляють у вигляді прокату (балки, прутки, листи, кути, труби, швелери та ін.). У залежності від гарантії властивостей їх поставляють трьох груп: А, Б, В.

Сталі маркують сполученням літер "Ст" і цифрою (від 0 до 6), яка показує номер марки. Сталі груп Б і В мають перед маркою літеру Б чи В. Група А в позначенні марки сталі не вказується. Ступень розкислення позначається добавкою індексів: у спокійних сталях "СП", напівспокійних – "ПС", киплячих "КП" (Ст3<sub>сп</sub>, Б Ст3<sub>сп</sub>, В Ст3<sub>кп</sub> ).

Спокійні і напівспокійні сталі виробляють Ст1-Ст6, киплячими – Ст1-Ст4 всіх трьох груп. Сталь Ст0 за ступенем розкислення не підрозділяється.

Сталі групи А використовують у гарячекатаному стані для виробів, виготовлення яких не супроводжується гарячою обробкою.

Сталі групи Б застосовують для виробництва зварювальних конструкцій. Сталі цієї групи випускають марок Б Ст1-Б Ст5. Механічні властивості й хімічний склад гарантуються.

Сталі групи В використовують для виробів, що виготовляють з застосуванням гарячої обробки (ковка, зварювання, термічна обробка). Механічні властивості гарантуються.

Вуглецеві сталі звичайної якості (усіх трьох груп) призначені для виготовлення металоконструкцій, а також малонавантажених деталей машин і приладів.

Сталі групи В також застосовуються для котло-, місто- і суднобудування. Сталі Ст4 і Ст3 застосовуються у сільськогосподарському машинобудуванні. Середньовуглецеві сталі номерів 5 і 6, які мають велику міцність, призначені для рейок, залізничних коліс, валів, шківів та ін.

Вуглецеві якісні сталі. Вони мають більш низький, ніж у сталей звичайної якості, вміст шкідливих домішок і неметалічних включень. Їх випускають у вигляді прокату, поковок з гарантованим хімічним складом і механічними властивостями. Маркують двозначними числами 05, 08, 10, 15, 20, ... 85, що позначають середній вміст вуглецю в сотих частках відсотку.

Спокійні сталі маркують без індексу, напівспокійні і киплячі з індексами "ПС" і "КП". Киплячими виробляють сталі 05<sub>кп</sub>, 08<sub>кп</sub>, 10<sub>кп</sub>, 15<sub>кп</sub>, 20<sub>кп</sub>, напівспокійними – 08<sub>пс</sub>, 10<sub>пс</sub>, 15<sub>пс</sub>, 20<sub>пс</sub>. На відміну від спокійних киплячі сталі практично не мають кремнію ( $\leq 0,07\%$ ), напівспокійні (0,17%).

Якісні сталі поставляють без термічної обробки, термічно обробленими і нагартуваними.

Низьковуглецеві сталі за призначенням поділяють на дві підгрупи.

1. Сталі 05, 08, 10 – слабоміцні, слабопластичні. Їх застосовують для холодного штампування. З них виготовляють шайби, прокладки, кожушки та інші деталі, які виготовляють холодною деформацією і зварюванням.

2. Сталі 15, 20, 25 – цементуються, призначені для деталей малого розміру (кулачки, штовхачі, малонавантажени шестерні та ін.). Вони мають тверду зносостійку поверхню і в'язку серцевину. Їх застосовують також гарячекатаними і після

нормалізації. Гарно штамнуються, зварюються, застосовуються для деталей низької міцності і для котлотурбобудівництва (працює від  $-40$  до  $+425$  °С).

Середньовуглецеві сталі 30, 35, 40, 45, 50, 55 мають високу міцність, однак малу пластичність. Їх застосовують після поліпшення, нормалізації і поверхневого загартування. Виробляють шатуни, колінчасті вали низькооберткових двигунів, зубчасті колеса тощо. Розмір поперечного прорізу навантажених деталей  $\leq 12$  мм (шатуни та ін.). Вали, осі та інше до 30 мм (рис. 18).

Для більш великих деталей – сталі 40, 45, 50. Їх застосовують після нормалізації і поверхневого загартування ТВЧ (HRc 40-58) окремих ділянок (шайки колінчастих валів, зубців шестерень).

Сталі з високою концентрацією вуглецю (60, 65, 70, 75, 80, 85), а також з збільшенням вмісту марганцю (60Г, 65Г, 70Г) застосовують здебільше в якості ресорно-пружинних. З них виготовляють прокатні валки, шпинделі (після нормалізації).

### 1.6.3. Леговані сталі.

Маркування сталі.

Вуглецеві сталі, за виключенням сталей звичайної якості, маркують за вмістом вуглецю. Марка легованої сталі складається із сполучення літер і цифр, що означають її хімічний склад. За ГОСТ 4543-71 позначають:

Хром – Х	Молибден – М	Алюміній – Ю	Кобальт – К
Нікель – Н	Вольфрам – В	Мідь – Д	
Марганець – Г	Титан – Т	Ніобій – Б	
Кремній – С	Ванадій – Ф	Бор – Р	

Цифра, яка є після літери, вказує на вміст легуючого елемента в відсотках. Якщо цифра відсутня, то легуючого елемента близько одного відсотка чи менше.

У конструкційних легованих сталях дві цифри з початку марки показують вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Так, сталь 20ХН3А у середньому має 0,2 % С, 1 % Сr, 3 % Ni. Літера А у кінці марки значить, що сталь високоякісна. Особлиовисокоякісні сталі мають у кінці марки літеру Ш (30ХГС-Ш).

В інструментальних сталях одна цифра з початку марки вказує на вміст вуглецю в десятих частках відсотка. При вмісті в них 1 % С чи більше початкову цифру опускають (сталь ХВ4 має  $>1$  % С,  $\sim 1\%$  Сr, 4 % W).

Для скорочення знаків допускають також опускання ряду цифр у марках складнолегованих сталей. (Сталь 38Х2МЮА пишуть 38ХМЮА).

Деякі групи сталей мають додаткові позначення: марки шарикопідшипникових сталей починаються з літери Ш, швидкоріжучі – з літери Р, електротехнічні – з літери Е, магнітотверді – з літери Е, автоматні – з літери А.

Нестандартні леговані сталі, які випускає завод "Електросталь", маркують сполученням літер ЕД (електросталь дослідна) або ЕП (П – пробна) і порядковим номером (ЕД 415, ЕП 716 та ін.). Після промислового освоєння умовне позначення замінюють на марку, що відображає склад сталі.

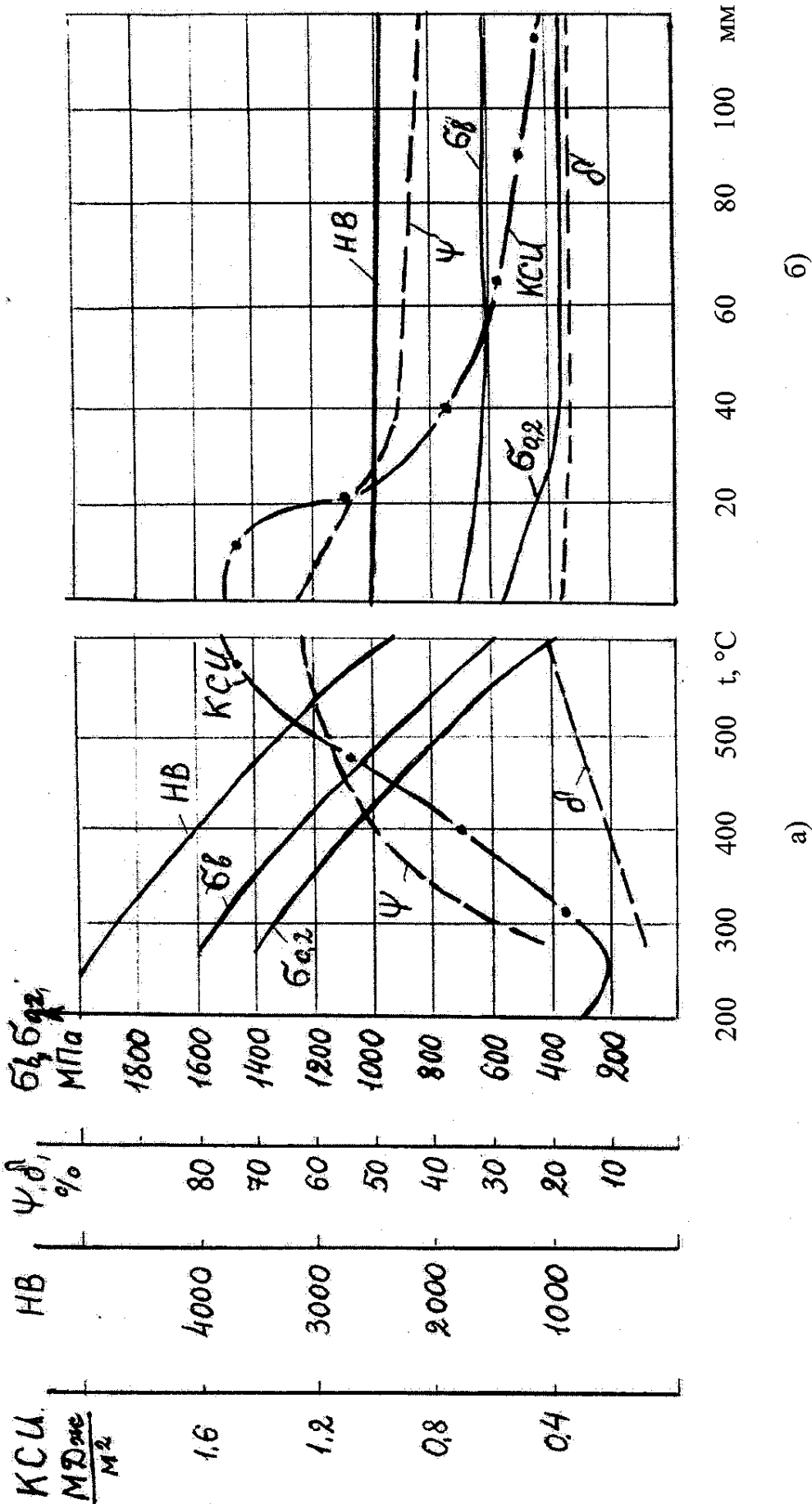


Рис. 18. Залежність механічних властивостей сталі 40 від температури відпуску (а), діаметру заготовки (б). Відпуск при 380 °С.

Вплив легуючих елементів на механічні властивості сталей. Легуючі елементи додають для підвищення конструкційної міцності сталі. Їх виробляють якісними, високоякісними і особлиовисокоякісними і застосовують після загартування та відпуску.

У конструкційних сталях ферит – основна структурна складова ( $\geq 90$  % по об'єму), яка визначає їх властивості. Легуючі елементи при розчиненні в фериті зміцнюють його. Найбільш сильно підвищують твердість – кремній, марганець, нікель, слабше впливають молібден, вольфрам і хром.

Майже всі елементи понижують ударну в'язкість, виключення – нікель. Марганець і хром при вмісті до 1 % підвищують ударну в'язкість, при більшій концентрації – знижують.

Підвищення прогартованості забезпечує введення декількох елементів: Cr + Mo, Cr + Ni, Cr + Ni + Mo та ін.

Найбільш сильно підвищує холодноламкість і збільшує опір поширенню тріщин нікель.

Хром додають у кількості до 2 %. Він розчиняється в фериті та цементиті, поліпшуючи механічні властивості сталі. Широко застосовується.

Нікель – найбільш цінний і дефіцитний 1- 5 %.

Марганець –  $\leq 1,5$  % може замінювати нікель. Підвищує межу текучості, однак сталь стає чутка до перегріву, тому разом з ним вводять карбідотвірні елементи.

Кремній – некарбідотвірний,  $\leq 2,0$  %. Підвищує (сильно) межу текучості, послаблює міцність при відпуску; знижує в'язкість і підвищує межу холодноламкості при вмісті  $> 1,0$  %.

Молібден і вольфрам – цінні і дуже дефіцитні карбідотвірні, розчиняються в цементиті. Мета введення 0,2-0,4 % Mo і 0,8-1,2 % W – зменшення схильності до відпускнуї крихкості; поліпшення властивостей (здрібнювання зерна); підвищення стійкості до відпуску, збільшення прогартованості.

Ванадій і титан – сильні карбідотвірні (0,3 % V і 0,1 % Ti) – додають сталі, яка має хром, марганець, нікель для здрібнювання зерна. Більший вміст – знижується прогартованість, з'являється здібність до крихкого руйнування.

Бор – додають у мікродозах (0,002-0,005 %) для збільшення прогартованості. Вона еквівалентна 1 % Ni, 0,5 % Cr, 0,2 % Mo.

Леговані сталі звичайної і підвищеної статичної міцності. З них широко застосовуються в машино- і приладобудуванні низьковуглецеві (цементує) і середньовуглецеві (поліпшує) сталі, які мають у сумі  $\leq 5$  % легуючих елементів.

Низьковуглецеві сталі (0,1-0,3 % C) застосовують після загартування і відпуску. Вони мають підвищені міцносні властивості, гарну пластичність, в'язкість, високу холодноламкість (табл. 3).

Їх застосовують для виготовлення зубчатих коліс, кулачків та інших деталей, які працюють в умовах тертя. Після насичування поверхні вуглецем, загартування і низької відпустки вони мають тверду поверхню (HRC 58-63), міцну і в'язку серцевину, що сприяє стійкості до дії циклічних і ударних навантажень.

Таблиця 3

Режими термічної обробки і механічні властивості  
низьковуглецевих сталей

Сталі	Температура			Механічні властивості				
	Загартування		Від- пуск	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$	$\Psi$	КСИ, МДж/м <sup>2</sup>
	I	II		МПа		%	%	
15X	880	770- 820	180	700	500	12	45	0,7
15XФ	880	760- 810	180	750	550	13	50	0,8
30XГТ	880	850	200	1500	1300	9	40	0,6
25XГМ	860	-	200	1200	1100	10	45	0,8
12ХН3А	860	760- 810	180	950	700	11	55	0,9
12Х2Н2А	860	760- 800	180	1150	950	10	50	0,9
18Х2Н4МА	950	860	200	1150	850	12	50	1,0

Середньовуглецеві (0,3-0,5 % С) леговані сталі придбають високі механічні властивості після загартування і високого відпуску (500-650 °С). Вони отримують підвищену межу текучості в сполученні з доброю пластичністю і в'язкістю, високим опором розвитку тріщин. Знижується межа холодноламкості (табл. 4).

Виготовляють вали, штоки, шатуни та ін. Хромисті сталі 40X, 45X, 50X – дешеві сталі. Вони прогартовуються на глибину 15-25 мм і тому застосовуються для деталей малого перерізу. Хромокремніймарганцеві сталі 30XГСА, 35XГСА – дешеві, гарно зварюються, ріжуться, штампуються, прогартовуються в прорізах 30-40 мм. Автомобілебудування – вали, деталі кермового управління та ін.

Хромонікелеві сталі 40ХН, 45ХН, 50ХН мають високі механічні властивості в деталях перерізом 40-50 мм. Стійкі до крихкого руйнування.

Хромонікельмолібденові сталі 40ХНМА, 38ХНЗМА, 38ХНЗМФА та ін. глибокопрогартовані сталі (деталі перерізом  $\geq 100$  мм).

Недоліки групи – висока коштовність, мала здібність до обробки різанням.

Леговані високоміцні сталі. Вони мають  $\sigma_B > 1500$  МПа. Високоміцний стан у сполученні з високим опором крихкому руйнуванню може бути отримано при використанні:

- 1) середньовуглецевих комплексно-легованих сталей після низького відпуску чи термомеханічної обробки
- 2) мартенситно-старіючих сталей
- 3) метастабільних аустенітних сталей.

Середньовуглецеві комплексно-леговані сталі. Після загартування і низького відпуску рівень міцності сталі визначається вмістом вуглецю і не залежить

від легуючих елементів. Збільшення вмісту вуглецю до 0,4 % підвищує тимчасовий опір до 2400 МПа, однак має місце крихке руйнування.

Підвищення в'язкості досягається легуванням нікелем (1,5-3,0 %). Разом з ним вводять малу кількість кремнію, молібдену, вольфраму, ванадію. Вони забезпечують здрібнювання зерна, підвищення прогартованості.

Застосовують у літакобудуванні.

Середньовуглецеві сталі, зміцнені термомеханічною обробкою.

Забезпечує високу міцність ( $\sigma_B=2000-2800$  МПа) при достатній в'язкості і пластичності.

Найбільш висока міцність ( $\sigma_B \sim 3000$  МПа) отримується сполученням ВТМО і подальшої холодної пластичної деформації.

Мартенситно-старіючі сталі.

Їх основа – безвуглецеві ( $\leq 0,03$  % С) сплави заліза з вмістом 8-25 % Ni, легувані Со, Мо, Ti, Al, Cr та ін. (табл. 5).

Ці сталі загартовують від 800-860 °С на повітрі.

Основне зміцнення досягається при старінні (480-520 °С). Найбільше зміцнення при старінні викликають Ti і Al, менше – Cu і Mo.

Ці сталі мають високу межу текучості і більш високу, ніж у пружинних сплавів, межу пружності ( $\sigma_{0,002} = 1500$  МПа), низьку межу холодноламкості. При міцності ( $\sigma_B = 2000$  МПа і >) сталі руйнуються в'язко.

Застосовуються в авіації, ракетній техніці, для пружин у приладах.

Метастабільні аустенітні сталі. Підвищена пластичність; високолеговані сталі. Після загартування від температури 1000-1100 °С вони мають високу в'язкість, однак низьку межу текучості. Для зміцнення їх піддають пластичній деформації з великими ступенями обтискання (50-80 %) при температурі 400- 600 °С. Межа текучості підвищується до 1800 МПа. Вони пластичні ( $\delta \geq 20$  %) і тріщиностійкі. Застосування: деталі авіаконструкцій, броньовий лист, дріт тросів та ін.

Взаємне розташування високоміцних сталей різних класів за міцністю і пластичністю показано на рис. 19.

Леговані сталі з підвищеною циклічною міцністю. Основою вибору сталі є межа витривалості  $\sigma_{-1}$ , а також  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0,2}$  і НВ.

У відповідності з закономірністю утомленого руйнування високої циклічної міцності сталь досягає у тому разі, якщо вона чинить високий опір зародженню тріщин утоми та їх розвитку, оскільки межа витривалості сталі залежить не тільки від її статичної міцності, але й від пластичності.

Для деталей, які працюють при циклічних навантаженнях, застосовують середньо- і низьковуглецеві сталі, піддані поверхневому зміцненню. Його виконують наступними технологічними методами:

- 1) загартуванням з індукційним нагрівом ТВЧ;
- 2) хіміко-термічною обробкою – цементуванням (нітроцементуванням), азотуванням;



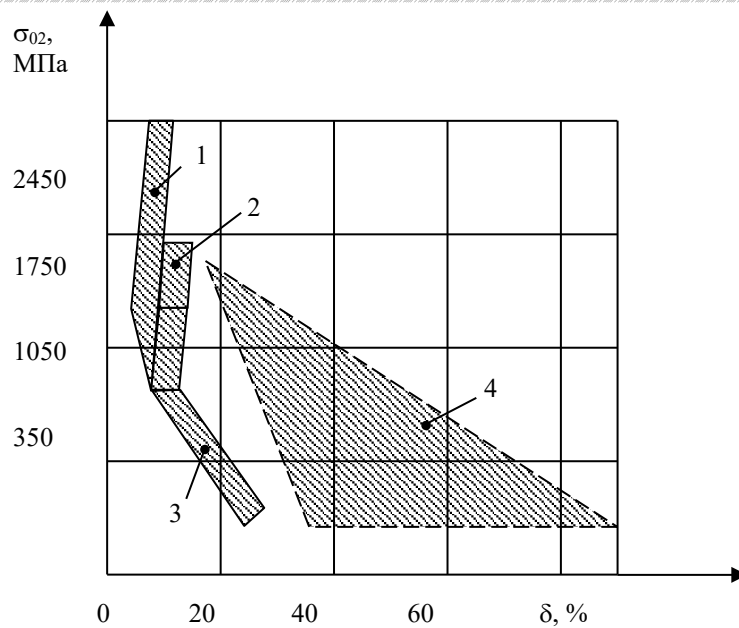


Рис. 19. Співвідношення між межею текучості і пластичністю високоміцних сталей:

- 1 – середньовуглецеві, зміцнені ТМО;      2 – мартенситно-старіючі;  
 3 – середньовуглецеві, леговані без ТМО;    4 – метастабільні аустенітні

3) поверхневим пластичним деформуванням (ППД); обкаткою роликками, обдуванням шротом і тому подібні;

4) комбінованими методами, що включають хіміко-термічну обробку і ППД.

Сприятливий вплив технологічних методів обумовлено дією двох факторів – підвищенням опору пластичної деформації поверхневого шару і створенням у ньому залишкових напружень стиснення.

Вибір методу поверхневого зміцнення деталі залежить від умов її експлуатації, форми, розмірів, марки сталі та інших факторів.

Загартування з індукційним нагрівом ТВЧ широко застосовують у масовому виробництві для підвищення довгочасності осей, пальців, валів і інших деталей циліндричної форми. На високу твердість (мартенсит HRC 50-60) обробляють шар товщиною 1-3 мм. При цьому в поверхневому шару формуються залишкові напруження стиснення, які на поверхні складають 300-600 МПа. Межа тривалості гладких валів збільшується в 1,3-1,7 рази (див. табл. 6). Однак цей метод мало ефективний для деталей складної форми, бо при місцевому загартуванні в зоні переходу через високі залишкові навантаження розтягання знижується витривалість.

Цього не спостерігається при хіміко-термічній обробці, яка забезпечує рівномірне зміцнення, більш високу витривалість і зносостійкість поверхні.

Твердість поверхневих шарів досягає HV 7000-9000 МПа (HRC 59-63) – після цементування і HV 8000-10000 МПа після азотування, а також виникають високі залишкові напруження стиснення.

Цементуванню піддають найбільш напружені деталі (зубчасті колеса, валшестерні та ін.). Для їх виготовлення застосовують низьковуглецеві сталі. Після

насичення вуглецем, загартування і низького відпуску ці сталі при високій поверхневій твердості зберігають в'язку серцевину, яка сприймає ударні навантаження.

Комбіновані зміцнення мають високу ефективність, бо ППД збільшує твердість поверхневих шарів (на 10-20 %) і формує в них високі залишкові напруження стискання. В результаті межа витривалості цементованих деталей збільшується в 1,5-2,0 рази.

Таблиця 6

Підвищення межі витривалості валів при поверхневому зміцненні

Вид поверхневої обробки	Міцність серцевини, $\sigma_s$ , МПа	Коефіцієнт зміцнення валів, $\beta_{УПР}$		
		Гладких ( $K_\sigma = 1$ )	З малою концентрацією напружень ( $K_\sigma \leq 1,5$ )	З великою концентрацією напружень ( $K_\sigma = 1,8-2,0$ )
Індукційне загартування з нагрівом ТВЧ	600-800	1,5-1,7	1,6-1,8	2,4-2,8
	800-1000	1,3-1,5	-	-
Азотування	900-1200	1,1- 1,3	1,5-1,7	1,7-2,1
Цементування	400-600	1,8-2,0	3	-
	700-800	1,4-1,5	-	-
	1000-1200	1,2-1,3	2	-
Шротоструменевий наклеп	600-1500	1,1-1,3	1,5-1,6	1,7-2,1
Накатка роликком	-	1,1-1,3	1,3-1,5	1,6-2,0

### 1.7. Інструментальні сталі.

Інструментальні сталі призначені для виготовлення інструментів чотирьох типів (табл. 7):

- 1) ріжучих;
- 2) вимірювальних;
- 3) штампів холодного деформування;
- 4) штампів гарячого деформування.

### 1.7.1. Матеріали для ріжучих інструментів.

Основні властивості, які повинен мати матеріал для ріжучих інструментів, – зносостійкість та теплостійкість.

За теплостійкістю матеріали підрозділяють на такі групи:

- 1) вуглецеві і низьколеговані сталі з теплостійкістю до 200 °С;
- 2) високолеговані швидкоріжучі сталі з теплостійкістю до 600-640 °С;
- 3) тверді сплави з теплостійкістю до 800-1000 °С;
- 4) надтверді матеріали з теплостійкістю до 1200 °С.

Вуглецеві сталі. Вуглецеві сталі виготовляють якісними У7, У8, У9, ..., У13 та високоякісними У7А, У8А, У9А, ..., У13А. Буква У в марці показує, що сталь вуглецева, а цифра – середню кількість вуглецю в десятих долях відсотка. Завдяки невисокій твердості в стані поставки (НВ 1870-2170) вуглецеві сталі добре обробляються різанням і деформуються, що дозволяє використовувати накатку, насічку та інші методи виготовлення інструментів.

Через низьку прогартованість (10-12 мм) вуглецеві сталі придатні для дрібних інструментів або для інструментів з незагартованою серцевиною (мітчики, розвертки, рашпілі та ін.) Інструмент з поперечним перерізом 15-25 мм охолоджують у воді або водних розчинах солей та лугів. Інструменти з незагартованою серцевиною меншого січення (для зменшення деформацій та небезпеки розтріскування) охолоджують у маслі або розплавах солей при 160-200 °С.

Ріжучі інструменти (дрібні мітчики, свердла, рашпілі, пили, шабери та ін.) виготовляють зі сталей У10, У11, У12, У13. Їх піддають неповному загартуванню та низькому відпуску при 150-180 °С. Вони мають підвищену зносостійкість та високу твердість (HRC 62-64) на робочих гранях. Однак твердість різко знижується при нагріві більше 200 °С.

Сталі У7, У8, У9, які забезпечують більш високу в'язкість, вживають для інструментів, що піддаються динамічному навантаженню: деревооброблювальних, слюсарних, кувальних, а також пуансонів, матриць та ін.). Після повного загартування їх відпускають при 275-325 °С (HRC 48-55) або при 400-450 °С (HRC 38-45).

Низьколеговані сталі. Вони містять до 5 % легуючих елементів (табл. 7), які вводять для збільшення загартованості, прогартованості, зменшення деформацій та при небезпеці розтріскування інструментів. Хром вводять обов'язково. Марганець (1-2 %) забезпечує мінімальне змінювання розмірів інструментів при загартуванні. Кремній (1-1,5 %) трохи підвищує опір відпуску та сприяє утворенню окалини, яка легко відділяється. Вольфрам (1-5 %) підвищує зносостійкість.

Таблиця 7

Режими термічної обробки інструментальних сталей,  
що найбільш часто використовуються

Сталь	Масова доля елементів, %							Температура, °С	
	C	Si	Cr	W	Mo	V	Ін. елементи	Загартування	Відпуску
<b>Низьколеговані сталі</b>									
XB4	1,25-1,45	-	0,4-0,7	3,5-4,3	-	0,15-0,3	-	800-820	100-140
9XC	0,85-0,95	1,2-1,6	0,95-1,25	-	-	-	-	840-860	140-180
XBG	0,9-1,05	-	0,9-1,2	1,2-1,6	-	-	0,8-1,1 Mn	830-850	140-170
XBCG	0,95-1,05	0,65-1,0	0,6-1,1	0,5-0,8	-	0,05-0,15	0,6-0,9 Mn	840-860	140-160
<b>Швидкоріжучі сталі</b>									
P18	0,7-0,8	-	3,8-4,4	17,0-18,5	≤1	1,0-1,4	-	1270-1290	550-570
P9	0,85-0,95	-	3,8-4,4	8,5-10,0	≤1	2,0-2,6	-	1220-1240	550-570
P6M5	0,8-0,88	-	3,8-4,4	5,5-6,5	5,0-5,5	1,7-2,1	-	1210-1230	540-560
<b>Сталі для штампів холодної обробки тиском</b>									
X12	2-2,2	-	11,5-13	-	-	-	-	1000-1040	150-170
X12M	1,45-1,65	-	11-12,5	-	0,4-0,6	0,15-0,3	-	1020-1040 (1115-1170)	150-170 (500-580)
X12Φ1	1,25-1,45	-	11-12,5	-	-	0,7-0,9	-	1050-1075 (1110-1140)	150-170 (500-520)
X6BΦ	1,05-1,15	-	5,5-6,5	1,1-1,5	-	0,5-0,8	-	950-970	150-170
<b>Сталі для штампів гарячої обробки тиском</b>									
5XHM	0,5-0,6	-	0,5-0,8	-	0,15-0,3	-	1,4-1,8 Ni	820-840	480-580
5XHB	0,5-0,6	-	0,5-0,8	0,4-0,7	-	-	1,4-1,8 Ni	840-860	500-560

3X2B8Ф	0,3-0,4	-	2,2-2,7	7,5-8,5	-	0,2-0,5	-	1075-1125	600-650
4X2B5MФ	0,3-0,4	-	2,2-3	4,5-5,5	0,6-0,9	0,6-0,9	-	1050-1080	600-650
4X5BФC	0,35-0,45	0,8-1,2	4,5-5,5	1,6-2,2	-	0,6-0,9	-	1030-1060	580-620

Примітки: 1. При наявності Si та Mn як постійних домішок їх концентрація не вказана.

2. У дужках наведені температури загартування та відпуску на повторну твердість.

Твердість цих сталей HRC 62-69, зносостійкість висока, але низька теплостійкість. Їх використовують для виготовлення інструментів, які працюють на малих швидкостях і не підлягають нагріву більше 200-260 °С.

Сталь ХВ4 відрізняється особливо високою твердістю і зносостійкістю, бо в ній присутні карбіди вольфраму. Твердість її висока (HRC 67-69), тому вона використовується для чистової обробки твердих матеріалів.

Сталі Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ загартовуються в маслі і відносяться до сталей глибокої прогартованості.

Сталь 9ХС використовується для виготовлення фрез, свердел, різьбонарізних та інших інструментів перерізом до 35 мм.

Сталь ХВГ характеризується малою деформацією при загартуванні та використовується для довгих інструментів (свердла, розвертки, протяжки та ін.) з поперечним перерізом до 45 мм. Складнолегована сталь ХВСГ використовується для виготовлення інструментів з поперечним перерізом до 100 мм.

Швидкоріжучі сталі. До них відносяться високолеговані сталі, призначені для виготовлення інструментів високої продуктивності. Основна властивість цих сталей – висока теплостійкість.

У результаті комплексного легування інструменти з швидкоріжучих сталей зберігають високу твердість до 560-640 °С та допускають в 2-4 рази більш продуктивні режими різання, ніж інструменти з вуглецевих та низьколегованих сталей.

Швидкоріжучі сталі позначаються літерою Р (див. табл. 7), потім вказують кількість вольфраму. Кількість ванадію ( $\leq 2\%$ ) та хрому ( $\sim 4\%$ ) в марці не позначається. Передбачено 14 марок швидкоріжучих сталей, які поділяються на дві групи: нормальної та підвищеної продуктивності.

Групу сталей нормальної продуктивності складають вольфрамові (Р18, Р12, Р9, Р9Ф5) і вольфрамомолібденові (Р6М3, Р6М5) сталі, які зберігають твердість не менше HRC 59 до температури 620 °С. Сталі Р9, Р9Ф5 погано шліфуються.

До групи сталей підвищеної продуктивності відносяться сталі, які містять кобальт і підвищену кількість ванадію: Р6М5К5, Р9М4К8, Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф5, Р18К5Ф2. Вони перевершують сталі першої групи по теплостійкості (630-640 °С), твердості (HRC  $\geq 64$ ) і зносостійкості, але уступають по міцності

та пластичності. Ними обробляють високоміцні сталі, корозійностійкі та жароміцні сталі та ін. матеріали.

Швидкоріжучі сталі мають високу ціну.

Високі експлуатаційні властивості інструменти з швидкоріжучих сталей набувають після загартування і трикратного відпуску.

Через низьку теплопровідність швидкоріжучі сталі при загартуванні нагрівають повільно з прогрівами при 450 та 850 °С у соляних ваннах для зменшення окислення і втрат вуглецю. Від температури загартування дрібні інструменти охолоджують на повітрі, великі – в маслі. Відпуск проводять при температурі 550-570 °С.

#### 1.7.2. Сталі для вимірювальних інструментів.

Основні властивості, які повинні мати сталі цього призначення – висока зносостійкість, постійність розмірів і форми. Найбільш широко використовують низьколеговані сталі Х, ХГ, ХВГ, 9ХС, які обробляють на високу твердість (HRC 60-64).

Загартування їх проводять з більш низької температури. Крім того, інструменти високої точності піддають обробці холодом при температурі -50 ÷ -80 °С. Відпуск проводять при 120-140 °С протягом 24-48 год.

Інструменти підвищеної точності підлягають неодноразовому чергуванню обробки холодом і короткочасного (2-3 год.) відпуску.

Плоскі інструменти (скоби, лінійки, шаблони та ін.) нерідко виготовляють з листових сталей 15, 20, 15Х, 20Х, 12ХН3А, які підлягають цементації, або із сталей 50 і 55, що загартовуються з поверхні з нагрівом ТВЧ.

Для інструментів складної форми та великого розміру вживають азотовану сталь 38Х2МЮА.

#### 1.7.3. Сталі для інструментів холодної обробки тиском.

Основними властивостями, якими повинні відрізнятися сталі для штампів та інших інструментів холодної обробки тиском, є висока твердість, зносостійкість, міцність, разом із задовільною в'язкістю. Необхідна також теплостійкість при великих швидкостях деформування (до 450 °С).

Використовують низьколеговані сталі Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ і вуглецеві У10, У11, У12.

Високохромисті сталі Х12, Х12М, Х12Ф1 (див. табл. 7) мають високу зносостійкість і глибоку прогартованість (150-200 мм і більше). Їх використовують для виготовлення таких інструментів: вирубних, обрізних, карбованих штампів підвищеної точності, штампів витиску, калібрувальних волочильних дощок, накатних роликів та ін.)

Хромокремністі сталі 4ХС, 5ХВ2С, 6ХВ2С утворюють групу сталей підвищеної в'язкості, які використовуються для виготовлення інструментів, які піддаються ударам (зубила, гибочні штампи, обжимні матриці та ін.).

#### 1.7.4. Сталі для інструментів гарячої обробки тиском.

Ці сталі працюють у важких умовах, відчують інтенсивне ударне навантаження, періодичний нагрів і охолодження поверхні. Від них вимагається достатня міцність, зносостійкість, в'язкість, прогартованість, а також теплостійкість, окалиностійкість і розгаростійкість. Під розгаростійкістю розуміють стійкість до виникнення поверхневих тріщин.

Відповідно до вказаних вимог для штамів гарячої обробки тиском використовують леговані сталі, які містять 0,3-0,6 % С, які після загартування піддають відпуску при 550-680 °С. Серед них виділяють такі групи.

Сталі для молотових штамів. Вони працюють з ударним навантаженням при невисокому нагріві (400-500 °С). Для виготовлення використовують низьколеговані сталі високої прогартованості з підвищеною ударною в'язкістю і розгаростійкістю (див. табл. 7).

Сталь 5ХНМ – найкраща в цій групі. Через високу прогартованість її використовують для виготовлення великих штамів складної форми. Сталь зберігає достатньо високі механічні властивості ( $\sigma_B = 900$ ;  $\sigma_{0,2} = 650$  МПа) до температури 500 °С.

Сталі 5ХГМ і 5ХНВС призначені для середніх штамів простої форми, тому що уступають у в'язкості.

Сталь 5ХНВ через меншу прогартованість використовують для виготовлення невеликих (до 200 мм) і середніх штамів.

Сталі для виготовлення горизонтально-кувальних машин і пресів. Штами гарячої висадки, протяжки і пресування зазнають при роботі великого тиску без ударних навантажень, мають невеликі розміри, але нагріваються до більш високих температур. Для цих сталей найбільш важливі теплостійкість і розгаростійкість. При важких умовах праці використовують комплексно-леговані сталі: 3Х2В8Ф, 4Х2В5МФ, 4Х5В2Фс та ін. (див. табл. 7), які за складом і термічною обробкою близькі до швидкоріжучих сталей.

Для збільшення в'язкості відпуск ведуть при температурі 600-650 °С, твердість – HRC 45-50.

Сталі 3Х2В8Ф, 4Х2В5МФ мають підвищену теплостійкість. Вони зберігають твердість HRC  $\geq 45$  та межу текучості  $\sigma_{0,2} \approx 1000$  МПа до 650-670 °С.

Сталі 4Х5МФС, 4Х5В2ФС, 4Х4ВМФС відрізняються підвищеною розгаростійкістю, завдяки більш високій в'язкості. Вони теплостійкі до 600 °С. Хром (4-5 %) надає їм добру окалиностійкість і підвищену зносостійкість при нагріві. Вони призначені для високошвидкісного штампування. Розглянуті сталі використовують також для виготовлення прес-форм лиття під тиском.

### 1.8. Сталі та сплави з особливими фізичними властивостями.

Сталі та сплави, для яких основними вимогами є забезпечення певного рівня будь-якої фізичної властивості, називаються сплавами з особливими фізичними властивостями.

Механічні властивості для цих сталей частіше мають підлегле значення.

#### 1.8.1. Магнітні сталі та сплави.

Розрізняють три групи магнітних сталей та сплавів: магнітотверді, магнітом'які та немагнітні.

Магнітотверді сталі та сплави. Їх вживають для постійних магнітів. Для цього використовують високовуглецеві сталі (частіше 1,0 % С), леговані хромом (3,0 %) ЕХЗ, вольфрамом (6,0 %) Е7В6 і одночасно хромом і кобальтом ЕХ5К5, ЕХ9К15М та ін.

Магнітна твердість високовуглецевих легованих сталей обумовлена виникненням великих внутрішніх напруг при загартуванні магніту на мартенсит.

Хромиста сталь ЕХЗ легко обробляється різанням та тиском і вживається для магнітів складної форми. Високі значення  $H_c$  (60 е) та  $B_r$  (9500 гс) сталі отримують у результаті загартування при температурі 820-860 °С і обробки холодом при температурі – 70 °С. Відпуск трохи зменшує коерцитивну силу  $H_c$ , але забезпечує незмінність магнітних властивостей під час експлуатації.

Магнітна потужність ( $B_r \times H_c$ ) для сталі складає 600000.

Сталі Е7В6 – ( $H_c$  – 62 е;  $B_r$  – 10000 гс;  $H_c B_r$  – 650000) частіше використовують у практиці.

Кобальтові сталі мають більш високу коерцитивну силу (ЕХ5К5 – 100 е, ЕХ9К15М – 170 е), а остаточна індукція нижче (8000, 8500 гс). Потужність відповідно 900000 та 1400000.

Найбільше промислове значення мають сплави Fe-Ni-Al. Сплави містять 15-35 % Ni та 8-15 % Al. Для покращання магнітних властивостей у сплави додають близько 4 % Cu, 15-20 % Co та 0,3-2 % Ti.

Сплави тверді, крихкі та не піддаються деформації, тому магніт використовують у литому вигляді.

Особливістю термічної обробки їх є охолодження від високої температури з критичною швидкістю, яка забезпечує отримання висококоерцитивного стану внаслідок великих напруг, які виникають у процесі розпаду вихідного розчину і утворення високодисперсної суміші двох твердих розчинів.

Показник магнітної енергії ( $B_r \times H_c$ ) в сплавах – 1500000-7000000 гсе.

Високу магнітну потужність має сплав ЮНДК24 (9 % Al, 24 % Co, 14 % Ni, 4 % Cu, останнє Fe).

Магнітна енергія 6150000 гсе. Магнітні властивості анізотропні.

Магнітом'які сталі. Ці матеріали використовуються для виготовлення сердечників магнітних пристроїв, працюючих у змінних полях, тобто в умовах безперервного перемагнічування. Для цього вони повинні мати низьку коерцитивну силу, високу магнітну проникливість та малі витрати при перемагнічуванні.

Як магнітом'який матеріал можна використовувати чисте залізо. Електротехнічне залізо (марки ЕА, ЕАА) має  $H_c=0,8 \div 1,2$  е і  $\mu_{\max}=3500-4500$  гс/е.

Більш широко використовуються низьковуглецеві (0,05-0,005 % С) сплави заліза з кремнієм (0,8-4,8 % Si).

За способом виготовлення електротехнічні сталі поділяють на гарячекатані і холоднокатані.

Електротехнічна листовая сталь маркується Е11, Е12, Е22, Е31, Е41, Е42. Перша цифра після літери Е показує кількість кремнію (1, 2, 3, 4 %). Друга цифра показує гарантовані електротехнічні та магнітні властивості.



Сплави з високою початковою проникливістю  $\mu_0$ . Ці сплави використовують у промисловій слабкострумівій апаратурі (електроніка, радіо та ін.). Вони повинні сильно намагнічуватися в слабких магнітних полях. Такі властивості мають залізонікелеві сплави пермалой. Сплави містять 45-80 % Ni, а деякі додатково легуються молібденом, хромом, марганцем, міддю і кремнієм, які збільшують електроопір, знижують витрати на вихрові струмені, дозволяють використовувати їх на підвищених і високих частотах. Найбільшу магнітну проникливість ( $\mu_0$  до 50000 гс/е і  $\mu_{\max}$  до 300000 гс/е) має сплав 79НМ, який містить 79 % Ni і 4,0 % Мо. Він використовується для малогабаритних і імпульсних трансформаторів, дроселів магнітних посилювачів, безконтактних реле і магнітних екранів.

Ферити (оксифери). Для високочастотної техніки використовують матеріали з високою магнітною проникливістю, яка зберігається до високих частот, і має високий електроопір. До таких матеріалів відносяться ферити (одержують спіканням порошків), які складаються з  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і окислів двовалентних металів МО ( $\text{ZnO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{MgO}$  і т.д.). Вони мають великий електроопір (від  $10^3$  до  $10^7$  Ом см). Використовують у радіотехніці.

Немагнітні сталі. Багато які деталі приладів повинні бути виготовлені з немагнітного матеріалу. Раніше використовували латунь, бронзу. В теперішній час широко використовують немагнітні аустенітні сталі Х18Н9, 55Г9Н9Х3, 45Г17Ю3.

#### 1.8.2. Сталі та сплави з високим омичним опором.

Сталі та сплави з високим омичним опором призначаються для виготовлення електроопору. Крім високого електроопору, сталі та сплави повинні мати окалинотійкість і задовільну технологічну пластичність, яка дозволяє виготовляти нагрівачі.

Сталі з високим омичним опором. Частіше вживають хромоалюмінієві малоуглецеві сталі феритного класу: Х13Ю4 (фехраль), ОХ23Ю5 (хромаль), ОХ27Ю5А, які мають високу жаростійкість та електроопір ( $\rho$ ). Чим більше в сплаві хрому та алюмінію, тим більше окалинотійкість і робоча температура елемента, що нагріває.

Місткість вуглецю не більше 0,06-0,12 %.

Сплави	Х13Ю4	ОХ23Ю5	ОХ27Ю5А
Оптимальна робоча температура в °С	900	1150	1250
Електроопір в Ом·м <sup>2</sup> /м	1,18-1,34	1,29-1,45	1,37-1,47

Нікелеві сплави з високим омичним опором. Тверді розчини на основі нікелю мають високий електроопір. Найбільш відомими сплавами опору є сплави нікелю з хромом (ніхром). Електроопір цих сплавів у 10 разів більше, ніж технічного заліза. Кращим ніхромом є сплав Х20Н80, який працює при температу-

рах 1050-1100 °С. З метою здешевлення ніхромів і покращання їхніх технологічних властивостей частину нікелю замінюють залізом. Ніхроми з залізом називають ферроніхром. Приклад: Х15Н6 (25 % Fe). Робоча температура 950-1000 °С.

Використовується в побутових приладах, електропечах, деталях високого омичного опору. Вони більш пластичні і жароміцні, ніж фехраль і хромаль, але значно дорожчі.

### 1.8.3. Сплави з заданим температурним коефіцієнтом лінійного розширення.

Вони широко вживаються в машинобудуванні і приладобудуванні. Найбільш поширені сплави Fe-Ni, у якого коефіцієнт термічного розширення  $\alpha \cdot 10^{-6}$  мм/(мм·град) при температурах від -100 до +100 °С при збільшенні нікелю до 36 % різко зменшується, а при більш високій кількості нікелю – збільшується.

При температурах 600-700 °С такого явища не спостерігається.

Інвар – 36Н ( $\leq 0,05\%C$  і 36 % Ni) – деталі геодезичних приладів, в метрології. Коефіцієнт лінійного розширення ( $\alpha = 1,5 \cdot 10^{-6}$  мм/(мм·град)).

Загартування у воді при температурі 830-870 °С і відпуск при температурі 300 °С зменшують коефіцієнт лінійного розширення.

Сплав 29НК (29 % Ni і 18 % Co) –  $\alpha \cdot 10^{-6} = 4,6 - 5,5$  мм/(мм·град) використовується для спайки зі склом. Використовують також залізохромисті сплави 18ХТФ, 18ХМТФ (35 % Мо, 0,35 % V, 18 % Cr, 0,6 % Ti). Скло –  $\alpha_1 \leq 8,7 \cdot 10^{-6}$  мм/(мм·град).

### 1.8.4. Сплави та сталі з заданими пружними властивостями.

У приладобудуванні для виготовлення пружних елементів (пружини, мембрани, сильфони, підвіси, торсіони та ін.) потребується матеріал, який має високі пружні властивості до температури 300-600 °С, пластичність, немагнітність, корозійну стійкість та ін. Для цього застосовують кольорові метали (латуні, бронзи та ін.), а також аустенітні залізохромонікелеві сплави.

Сплав 36НХТЮМ5 (35-37 % Ni, 11,5-13,5 % Cr, 4-5 % Мо, 2,7-3,2 % Ti, 0,8-1,2 % Mn, 0,9-1,2 % Al) працює при температурах до 400 °С. Після загартування при температурі 1000 °С виготовляють пружні елементи. Найбільшу міцність і пружність сплав отримує після відпуску при температурі 750 °С.

Заводні пружини годинникових механізмів, виті пружини для роботи при температурі до 400 °С, деталі хірургічних інструментів та ін. виготовляють із аустенітних кобальтохромонікелевих сплавів, скажімо, сплав 40КНХМ (39-41 % Co, 19-21 % Cr, 15-17 % Ni, 6,4-7,4 % Мо, 1,8-2,2 % Mn). Загартування при температурі 1150-1180 °С, холодна деформація з обтиском 30-90 % і наступне старіння при температурі 300-600 °С.

Пружні чутливі елементи приладів (мембрани, сильфони і т.д.) виготовляють із сплаву елінвар, який має малий температурний коефіцієнт модуля пружності (до 120-200 °С). Наприклад, 42НХТЮ (41,5-43,5 % Ni, 5,3-5,95 Cr, 2,4-3,0 % Ti, 0,5-1,0 % Al). Після загартування (950 °С) у воді сплав має наступні механічні властивості:  $\sigma_B = 700 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\delta = 50\%$ , а після старіння при 700 °С –  $\sigma_B = 1250 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\sigma_{0,2} = 800 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\delta = 20\%$ .

### 1.9. Чавун.

Сплави заліза з вуглецем (>2,14 % C) називають чавуном. Вуглець у чавуні може знаходитися у вигляді цементиту або графіту або одночасно у вигляді цементиту і графіту. Цементит надає злому світлий блиск, тому чавун, в якому весь вуглець знаходиться у вигляді цементиту, називають білим. Графіт надає злому чавуну сірий колір. У залежності від форми графіту і умов його утворення розрізняють такі групи чавунів: сірий, високоміцний з кулястим графітом та ковкий.

#### 1.9.1. Сірий і білий чавун.

Сірий чавун. Сірий чавун (технічний) являє собою сплав Fe-Si-C, який містить як неминучі домішки Mn, P і S. У структурі сірих чавунів більша частина або весь вуглець знаходиться у вигляді графіту. Графіт має форму пластинок. Найбільш широке застосування мають чавуни, які містять 2,4-3,8 % C. Чим вище кількість в чавуні вуглецю, тим більше утворюється графіту і тим нижче його механічні властивості. Згідно з цим кількість вуглецю в чавуні завжди не перевищує 3,8 %, а для забезпечення виливних властивостей його повинно бути не менше 2,4 %.

Кремнію міститься 1,2-3,5 %, він робить великий вплив на будову чавунів та їхні властивості.

Кількість Mn в чавуні не перевищує 1,25-1,4 %. Він перешкоджає процесу графітизації.

Сірка є шкідливою домішкою, яка погіршує механічні і виливні властивості чавуна. Її кількість 0,1-0,12 %.

Кількість фосфору близько 0,2 % (іноді 0,5 %).

Механічні властивості чавуну обумовлені його структурою, головним чином графітною складовою. Чавун можна розглядати як сталь, пронизану графітом, який відіграє роль надрізів, які послаблюють металеву основу структури.

Сірий чавун маркірується літерами С – сірий і Ч – чавун. Після літер ідуть цифри. Перша цифра показує середній розмір межі міцності при розтягуванні, а інші – середній розмір межі міцності при випробуванні на вигин.

Білий та відбілений чавун. Білий чавун внаслідок присутності у ньому цементиту має високу твердість, крихкість і практично не піддається обробці різанням, тому має обмежене застосування.

Відбіленим називають чавунні відливки, у яких поверхневі шари мають структуру білого (або половинчатого) чавуну, а серцевина – сірого чавуну. Між цими зонами може бути перехідний шар. Відбіл на деяку глибину (12-30 мм) є

результатом швидкого охолодження поверхні, яке виникає в результаті відливки чавуну в металеві форми (кокіль) або в пісочну форму.

Висока твердість поверхні (НВ 400-500) обумовлює добрий опір проти зносу, особливо абразивного, тому з відбіленого чавуну виготовляють прокатні валки листових станів, колеса, кулі для млинів та ін. У цьому випадку використовують чавун з пониженою кількістю кремнію, який схильний до відбілювання. Його склад: 2,8-3,6 % С, 0,5-0,8 % Si, 0,4-0,6 % Mn.

#### 1.9.2. Високоміцний чавун з кулястим графітом.

Високоміцний чавун отримують присадкою в рідкий чавун невеликих добавок деяких лужних або лужноземельних металів. Частіше для цієї мети використовують магній у кількості 0,03-0,07 %.

Під впливом магнію графіт у процесі кристалізації приймає не пластинчасту, а кулясту форму. Чавуни з кулястим графітом мають більш високі металеві властивості, які не поступаються виливній вуглецевій сталі, та зберігає при цьому добрі виливні властивості, високу зносостійкість і здатність оброблятися різанням, гасити вібрації та ін. Звичайний склад чавуна: 2,7-3,6 % С, 1,6-2,7 % Si, 0,5-0,6 % Mn;  $\leq 0,01\%$  S та  $\leq 0,10\%$  P.

Маркують високоміцний чавун літерами ВЧ, потім йдуть цифри. Перша цифра марки показує середнє значення межі міцності при розтягуванні, а інші – відносне видовження.

Відливки з високоміцного чавуну широко використовуються в різних галузях: у автобудуванні та дизелебудуванні для колінчатих валів, кришок циліндрів інших деталей; у важкому машинобудуванні – для деталей прокатних станів; у кувально-пресовому устаткуванні, наприклад, для шабот-молотів, траверс-пресів, прокатних валків; у хімічній та нафтовій промисловості – для корпусів насосів, вентилів та ін.

#### 1.9.3. Ковкий чавун.

Ковкий чавун одержують тривалим нагрівом при високих температурах (відпал) відливок з білого чавуну. У результаті відпалу утворюється графіт у формі пластівців. Такий графіт менше знижує міцність і пластичність металеві основи структури чавуна.

Хімічний склад білого чавуна, що відпалюється на ковкий чавун, вибирають у межах: 2,5-3,0 % С, 0,7-1,5 % Si, 0,3-1,0 % Mn;  $\leq 0,12\%$  S та  $\leq 0,18\%$  P.

Ковкий чавун маркується КЧ і цифрами. Перші дві цифри вказують на межу міцності при розтяжці, а інші – відносне видовження. Відливки з ковкого чавуна використовують для деталей, що працюють при ударних і вібраційних навантаженнях.

#### 1.9.4. Термічна і хіміко-термічна обробка чавунів.

Термічну обробку чавуну проводять для зняття виливного напруження і стабілізації розмірів зниження твердості й покращання здатності оброблятися, збільшення механічних властивостей і зносостійкості.

Низькотемпературний відпал для зняття напруження. Цей вид відпалу застосовується для зняття виливного напруження. Відпал частіше проводять при таких температурах, °С:

Сірий чавун . . . . . 500-570

Високоміцний чавун . . . . . 550-650

Низьколегований чавун . . . . . 570-600

Високолегований чавун . . . . . 600-650

У залежності від форми та розмірів відливки витримка при температурі відпалу складає 3-10 год. Охолодження після відпалу повільне, разом з піччю. Після такої обробки механічні властивості змінюються мало, а внутрішнє напруження знижується на 80-90 %. Раніше для зняття напруження в чавунних відливках застосовували природне старіння чавуну – видержка його на складі 6-10 місяців. Така видержка знижує напруження на 40-50 %.

Графітуючий (пом'якшуючий) відпал.

Використовується для зниження твердості та покращання здатності оброблятися різанням. Частіше використовують низькотемпературний відпал при 680-750 °С. При такій температурі відбувається графітація і часткова сфероїдація евтектоїдного цементиту, що знижує твердість та міцність, покращує обробку різанням та стабілізує розміри відливки.

Високотемпературний відпал проводять при 900-960 °С для графітації первинних карбідів у відбіленому або половинчатому чавунах для отримання перлітної структури та оптимальної міцності й твердості. Потім проводять повільне охолодження до температури 300 °С.

Сфероїдація. Для отримання високої міцності та пластичності нерідко відливки з перлітного високоміцного ковкого чавуну підвергають відпалу для отримання зернистого перліту. Відпал застосовують для відливок з підвищеною кількістю марганцю і хрому (0,8-1,5 % Mn, 0,15-0,25 % Cr), які виключають при відпалі процес графітації. Відпал проводять при температурі 720-740 °С з наступним охолодженням на повітрі.

Нормалізація. Цей вид обробки застосовують для підвищення механічних властивостей і зносостійкості чавуну шляхом виправлення структури чавуну та отримання перлітної металевої основи. Частіше нормалізація використовується для відливок зі структурою ферит, ферит і перліт або ледебурит і перліт. Процес ведуть при температурі 850-950 °С.

При нормалізації феритного (перлітно-феритного) чавуну збільшується кількість зв'язаного вуглецю, у результаті розчинення частини графіту в аустеніті. Після охолодження на повітрі (звичайно до 500 °С) відливка отримує структуру – перліт. Для зниження напруги нижче температури 500 °С відливки охолоджуються повільно разом з піччю (приблизно 40 град/год.). При нормалізації відбіленого чавуну, як і при високотемпературному відпалі, протікає процес графітації первинних карбідів.

Загартування та відпуск. Сірі, високоміцні й ковкі чавуни для підвищення міцності, твердості і зносостійкості підлягають загартуванню на мартенсит з температури 880-930 °С в маслі та відпуску. Відпуск для деталей, що працюють на знос, відбувається при температурі 250-300 °С, для останніх при 400-600 °С.

Ізотермічне загартування чавунів з кулястим графітом забезпечує високу зносостійкість, міцність і в'язкість.

Хіміко-термічна обробка чавуну. Частіше застосовується процес азотування. Для отримання високої твердості шару (HV 1000) азотують чавун легований Cr, Mo, Al, V, Ti. Добрі результати отримані при азотуванні високоміцного магнієвого чавуну. При азотуванні високоміцного магнієвого чавуну твердість шару складає HV 700-1000 при товщині шару 0,3-0,8 мм. Азотування ведуть при температурі 560 °С.

Азотуванню підлягають колінчасті вали, втулки циліндрів дизелів тепловозів, відлиті з високоміцного чавуну з кулястим графітом.

#### 1.10. Титан і сплави на його основі.

Титан – метал сріблясто-білого кольору. Атомна вага 47,9. Температура плавлення титану  $1665 \pm 5$  °С. Титан має дві модифікації: до 882 °С –  $\alpha$ -титан, який кристалізується в ГПУ грати; а при більш високій температурі –  $\beta$ -титан, який має ОЦК грати (при 900 °С). Щільність  $\alpha$ -титану складає  $4,505 \text{ г/см}^3$  і  $\beta$ -титану при температурі 900 °С –  $4,32 \text{ г/см}^3$ . Коефіцієнт лінійного розширення титану (20-100)  $8,3 \cdot 10^{-6} \text{ мм/(мм} \cdot \text{град)}$  і теплопровідність при температурі 50 °С складає  $0,0369 \text{ кал/(см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град)}$ . Технічний титан виготовляють чистотою ВТ-1-00 (99,53 % Ti), ВТ-1-0 (99,48 % Ti) і ВТ-1-1 (99,44 % Ti).

Шкідливі домішки для титану – азот, вуглець, кисень і водень, які утворюють з ним твердий розчин впровадження. Ці домішки підвищують міцність, але різко знижують пластичність, погіршують здатність оброблятися різанням, зварюванням і підвищують чутливість титану і його сплавів до надрізу.

Чистий титан має такі механічні характеристики:  $\sigma_B = 300 - 550 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$  і  $\delta = 20 - 30\%$ . Чим більше домішок, тим вище міцність і нижче пластичність.

На поверхні титану утворюється стійка оксидна плівка, внаслідок чого титан протистоїть корозії в прісній та морській воді і в деяких кислотах, стійкий проти кавітаційної корозії та під напругою. Гранична температура використання титану і його сплавів не вище 550-600 °С. При температурах вище 550 °С титан і його сплави легко окислюються і поглинають водень. Технічний титан добре обробляється під тиском, зварюється, але обробка різанням важка. Поступає титан у вигляді листів, труб, прутків, проволони та інших напівфабрикатів.

#### Сплави на основі титану.

Для отримання сплавів титан легують Al, Mo, V, Mn, Cr, Sn, Fe, Zn, Nb, а також у невеликих кількостях Si. Легування титану відбувається для покращання механічних властивостей, рідше для підвищення корозійної стійкості. Титанові сплави мають високу питому міцність (відношення  $\frac{\sigma_B}{\gamma}$ ), значно більшу, ніж леговані сталі. У результаті заміни сталі титановими сплавами можна при рівній міцності отримати економію ваги до 40 %. Легуючі елементи чинять великий вплив на температури поліморфного перетворення. Згідно із структурою сплаву їх поділяють на три групи:

1. Сплави з  $\alpha$ -структурою (твердий розчин легуючого елементу в  $\alpha$ -титані). Основний легуючий елемент у цих сплавах алюміній. Крім того, сплави можуть містити нейтральні елементи (Sn, Zr) і невелику кількість  $\beta$ -стабілізаторів (Mo, V, Mn, Cr, Fe). Ці сплави мають задовільні механічні властивості, добрий опір повзучості і легко зварюються. Недолік сплавів – понижена технологічна пластичність, особливо у сплавів, які містять велику кількість алюмінію, що потребує підігріву матеріалу і інструменту при штампуванні. Сплави не зміцнюються при термічній обробці.

2. Двофазні  $\alpha + \beta$  сплави, які містять більше 2-3 %  $\beta$ -стабілізаторів. Ці сплави мають більш високі механічні властивості при нормальній і підвищеній температурах, ніж сплави. Сплави можуть зміцнюватися загартуванням з подальшим старінням, після відпалу або загартування сплави пластичні, однак зварюються гірше, ніж  $\alpha$ -сплави.

3. Сплави з  $\beta$ -структурою (твердий розчин легуючого елементу в  $\beta$ -титані) містять велику кількість  $\beta$ -стабілізаторів. Сплави пластичні, добре зварюються, можуть бути зміцнені термічною обробкою, але легко окислюються і поглинають водень.

Частіше використовуються  $\alpha$  і  $\alpha + \beta$  сплави. Склад і механічні властивості деяких титанових сплавів наведені в табл. 8.

Зміцнення титанових сплавів досягається нагартуванням або термічною обробкою.

Промислові титанові сплави для загартування нагрівають до температури 800-950 °С, після чого йде охолодження у воді або на повітрі. Відпуск частіше проводять при температурі 450-600 °С.

Для зниження твердості, підвищення пластичності та зрівняння структури і властивостей по перерізу використовують відпал.

Таблиця 8  
Хімічний склад і механічні властивості деяких титанових сплавів

Марка сплаву	Нормальний хімічний склад в %	Механічні властивості		Вид напівфабрикату
		$\sigma_B, \frac{H}{mm^2}$	$\delta, \%$	
Сплави з $\alpha$ – структурою				
BT 5	5Al	790 – 950	10	Виливання, поковки
BT 5-1	5Al, 2,5Sn	750 – 950	10	Листи
BT 4*	4Al, 1,5Mn	700 – 900	12	-"
Сплави з $\beta$ -структурою				
BT 3-1	5,5Al; 2Cr; 2Mo; 1Fe; 0,25Si	1000 – 1200		Поковки
BT 6	6Al; 4V	950 – 1100	8	-"
BT 8**	6,5Al; 3,5Mo; 0,20Si	1050 – 1250	9	-"

\* Псевдо  $\alpha$ -сплав (кількість  $\beta$ -стабілізаторів менше 2 %).

\*\* Жароміцний сплав для роботи при температурі до 500 °С, механічні властивості сплаву при 550 °С:  $\sigma_B = 680 - 700 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ ,  $\sigma_{0,2} = 140 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$  і  $\sigma_{100} = 450 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ .

Температура відпалу сплавів для прутків, поковок, профілів і труб складає 750-800 °С. Для прискорення процесу охолодження після відпалу ведуть на повітрі або проводять ізотермічний відпал з видержкою при температурі 650 °С.

Для зняття внутрішнього напруження, що виникає при механічній обробці, листовому штампуванні, зварюванні та інших видах обробки, деталі підлягають відпалу при температурі 550-620 °С. Для зняття наклепу напівфабрикатами з листів проходять рекристалізаційний відпал при температурі 650-750 °С. Нагрів титанових сплавів проводять в електропечах із захисною атмосферою.

Титан широко використовується в авіаційній, ракетній і космічній техніці, де головну роль відіграють мала щільність разом з високими механічними властивостями та добрий опір корозії. У двигунах титан використовують для виготовлення деталей забірників повітря, корпусу, лопаток і дисків компресора низького тиску та ін. Внаслідок високої корозійної стійкості титан знайшов використання в хімічній та харчовій промисловості, а також у суднобудуванні.

### 1.11. Алюміній і магній.

#### 1.11.1. Алюміній та сплави на його основі.

Алюміній. Атомна вага 26,98, температура плавлення 660 °С. Алюміній має кристалічні ГЦК грати. Щільність  $2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ , висока електропровідність ( $2,6548 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ). Теплопровідність  $0,57 \text{ кал}/(\text{см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град})$ .

Технічний алюміній виготовляється у вигляді листів, профілів, прутків, проволони та ін. і маркірується АД0 і АД1. Як домішки в алюмінії присутні Fe, Si, Cu, Mn, Zn. Алюміній має високу корозійну стійкість внаслідок утворення на його поверхні тонкої міцної плівки  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Алюміній легко обробляється тиском, але обробка різанням важка, зварюється усіма видами зварювання. Технічний алюміній використовують для виготовлення елементів конструкцій і деталей, які не несуть навантаження, коли потрібна висока пластичність. У нього добра здатність до зварювання, опір корозії і високі тепло- і електропровідність. Алюміній високої чистоти призначається для фольги, струмопровідних і кабельних виробів. Більш широко використовуються сплави з алюмінію.

Класифікація алюмінієвих сплавів.

Найбільше поширення знайшли сплави Al-Cu, Al-Si, Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Si, Al-Mg-Si, а також Al-Zn-Mg-Cu.

Усі сплави алюмінію можна розділити на три групи:



- 1) для деформування, призначені для отримання напівфабрикатів (листів, плит, прутків, профілів труб та ін.), а також поковок і штампувань шляхом прокатки, пресування, кування і штампування (табл. 9, 10);
- 2) виливні, призначені для фасонного виливу (табл. 11);
- 3) такі, що отримують методом порошкової металургії (САП – спечені алюмінієві порошки, САС – спечені алюмінієві сплави).

Сплави для деформування за здібністю зміцнюватися термічною обробкою поділяють на сплави, що не зміцнюються термічною обробкою, та сплави, що зміцнюються термічною обробкою.

Дюралюмінії. Дюралюмініями називають сплави Al-Cu-Mg (див. табл. 11), в які додатково вводять марганець. Марганець підвищує стійкість дюралюмінію проти корозії. Як домішки в дюралюмінії присутні залізо і кремній. Залізо знижує міцність і пластичність дюралюмінію.

Дюралюмінії добре деформуються в гарячому і холодному стані.

Для підвищення корозійної стійкості дюралюміній підлягає електрохімічному оксидуванню (анодуванню). Дюралюміній задовільно обробляється різанням у загартованому і зістареному станах і погано – у відпаленому стані, добре зварюється точковим зварюванням. Із сплаву Д16 виготовляють обшивки, шпангоути, стрингери і лонжерони літаків, силові каркаси, будівельні конструкції, кузови вантажних автомобілів та ін.

Сплави авіаль (АВ). Ці сплави поступаються дюралюмініям у міцності, але мають кращу пластичність у холодному та гарячому станах (табл. 9). Авіаль задовільно обробляється різанням і зварюється контактним і аргонодуговим зварюванням. Сплав має високий загальний опір корозії.

Таблиця 9

Хімічний склад (ГОСТ 4784-74) і типові механічні властивості\* деяких алюмінієвих сплавів для деформування після загартування і старіння

Марка сплаву**	Кількість елементів, %					Механічні властивості		
	Cu	Mg	Mn	Si	інші елементи	$\sigma_{0,2}$ Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %
Дюралюміній								
Д1	3,8-4,8	0,4-0,8	0,4-0,8	-	-	320	490	14
Д16	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	-	-	400	540	11
Сплав авіаль								
АВ***	0,1-0,5	0,45-0,9	0,15-0,3	0,5-1,2	-	200	260	15
В95	1,4-2,0	1,8-2,8	0,2-0,6	-	5-7 Zn, 0,1-0,25 Cr	530-550	560-600	8
В96	2,2-2,8	2,5-3,2	0,2-0,5	-	7,6-8,6 Zn, 0,1-0,25 Cr	630	670	7
Кувальні алюмінієві сплави								
АК6	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	0,7-1,2	-	300	420	12

АК8	3,9-4,8	0,4-1,0	0,4-1,0	0,6-1,2	-	380	480	10
Жароміцні алюмінієві сплави								
АК4-1	1,9-2,5	1,4-1,8	-	0,35	0,8-1,4 Fe, 0,8-1,4 Ni, 0,02-0,1Ti	280	430	13
Д20	6-7	-	0,4-0,8	-	0,1-0,2 Ti, ≤0,2 Zn	250	400	12

\* Механічні властивості надані для пресованих прутків і профілів після загартування і старіння. Листи мають більш низькі механічні властивості.

\*\* Літера Д позначає сплав типу дюралюміній. А – на початку марки: технічний алюміній (АД, АД1); АК – алюмінієвий кувальний сплав. В – високоміцний. Після умовного номера часто йдуть позначення, які характеризують стан сплаву: М – м'який (відпалений), Т – термічно оброблений (загартування і природне старіння), Н – нагартований, П – напівнагартований та ін. Наприклад, Д16М – дюралюміній відпалений, Д16Н – дюралюміній загартований, природно зістарений та додатково нагартований.

\*\*\* Механічні властивості після загартування та природного старіння.

Таблиця 10

Хімічний склад і типові механічні властивості сплавів алюмінію,  
які не зміцнюються термічною обробкою

Марка сплаву*	Кількість елементів, %		Механічні властивості**		
	Mn	Mg	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %
АМ <sub>ц</sub>	1,0-1,6	-	130 (170)	50 (130)	23 (10)
АМ <sub>Г2</sub>	0,2-0,6	1,8-2,8	200 (250)	100 (200)	23 (10)
АМ <sub>Г3</sub>	0,3-0,6	3,2-3,8	220	110	20
АМ <sub>Г5</sub>	0,3-0,6	4,8-5,8	300	150	20
АМ <sub>Г6</sub>	0,5-0,8	5,8-6,8	340 (400)	170 (300)	18 (10)

\* Сплав АМ<sub>Г3</sub> містить 0,5-0,8 % Si, який покращує здатність до зварювання, сплави АМ<sub>Г5</sub>, АМ<sub>Г6</sub> нерідко легують 0,02-0,1 % Ti і 0,0002-0,005 % Be, які зменшують схильність до корозії під напруженням.

\*\* Без дужок – властивості сплавів у відпаленому стані, у дужках – в напівнагартованому стані.

Із сплаву АВ виготовляють різні напівфабрикати (листи, труби та ін.), крім того, лопасті гвинтів гелікоптерів, кувальні деталі двигунів, рами, двері та ін. для яких потрібна висока пластичність у холодному і гарячому стані.

Сплави Al-Si. Ці сплави отримали назву сілуміни, відрізняються високими виливними властивостями, а відливки – великою міцністю.

Найбільш поширений сплав, який містить 10-13 % Si (АЛ2), він має високу корозійну стійкість.

Сплави Al-Si порівняно легко обробляються різанням. Заварювання дефектів можна робити газовим і аргонодуговим зварюванням.

### 1.11.2. Магній та сплави на його основі.

Магній – метал світло-сірого кольору. Температура плавлення 650 °С. Кристалічна структура – гексагональна. Щільність  $1,73 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . Коефіцієнт лінійного розширення  $26 \cdot 10^{-6} \text{ мм}/(\text{мм} \cdot \text{град})$ . Технічний магній поступає під маркою Мг1 і містить 99,92 % Mg. Основні домішки Fe, Si, Ni, Na, Al, Mn, Cu.

### Таблиця 11

Хімічний склад (ГОСТ 2685-75) і типові механічні властивості деяких виливних алюмінієвих сплавів

Марка сплаву	Кількість елементів, %					Вид термічної обробки	Механічні властивості		
	Mg	Si	Mn	Cu	інші елементи		$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %
Сплави Al-Si (сілуміни)									
АЛ2	-	10-13	-	-	-	T2	180	90	5
АЛ4	0,17-0,3	8-10,5	0,25-0,5	-	$\leq 0,15 \text{ Ti}$ $\leq 0,1 \text{ Be}$	T1	180	140	2
						T6	260	200	4
АЛ9	0,2-0,4	6-8	-	-	$\leq 0,15 \text{ Ti}$ $\leq 0,1 \text{ Be}$	T4	200	140	5
						T5	220	160	3
Сплави Al-Cu									
АЛ7	-	-	-	4-5	$\leq 0,2 \text{ Ti}$	T4	240	160	7
						T5	260	200	3
АЛ19	-	-	0,6-1,0	4,5-5,3	0,15-0,35 Ti	T4	320	180	9
						T5	360	250	5
Сплави Al-Mg									
АЛ8	9,5-11,5	-	-	-	$\leq 0,07 \text{ Ti}$ $\leq 0,07 \text{ Be}$ $\leq 0,2 \text{ Zr}$	T5	350	170	10
АЛ27	9,5-11,5	-	-	-	0,05-0,15 Ti 0,05-0,22 Zr 0,05-0,15 Be	T4	360	180	18
Жароміцні сплави									
АЛ1	1,25-1,75	-	-	3,75-4,5	1,75-2,25Ni 0,15-0,25Cr	T5	260	200	0,6
						T7	220	180	1,2
АЛ21	0,8-1,3	-	0,15-0,25	4,6-6	0,1-0,25Cr 2,6-3,6 Ni	T2	210	-	1,2
						T7	220	200	1,5

Механічні властивості деформованого і відпаленого магнію (листи):  $\sigma_B = 190 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\sigma_{0,2} = 90 \text{ Н/мм}^2$  і  $\delta = 11\%$ , HB 40,  $E = 45000 \text{ Н/мм}^2$ . На повітрі магній легко спалахує і горить з виділенням великої кількості тепла та засліплююче-білого світла. Магній використовується в піротехніці, хімічній промисловості як висушувач і для синтезу органічних препаратів та ін.

#### Сплави на основі магнію.

До їх складу частіше вводять алюміній, цинк, марганець, цирконій, рідкоземельні елементи та ін. Алюміній і цинк утворюють з магнієм тверді розчини і сполучення  $\text{Al}_3\text{Mg}_4$  і  $\text{MgZn}_2$ . У кількості до 5-7% вони підвищують механічні властивості магнію. При більш високій кількості Al і Zn механічні властивості, особливо пластичність, знижуються. Марганець покращує корозійну стійкість магнію.

Високі механічні властивості мають сплави Mg-Zn-Zr. Цирконій дрібнить зерно і підвищує міцність і пластичність. Рідкоземельні метали, торій і кальцій збільшують жароміцність магнієвих сплавів. Виливні сплави завжди містять берилій (до 0,002%), який сприяє утворенню в рідкому металі оксидної плівки, знижує здібність сплавів до самозаймання в розплавленому стані. Присадка близько 0,2% церію значно збільшує пластичність сплавів. Шкідливі домішки Ni, Fe, Si, Cu знижують корозійну стійкість.

Магнієві сплави поділяють на дві групи: сплави для деформації, які поступають у вигляді листів, смуг, профілів, прутків і поковок (позначаються МА), та виливні сплави, призначені для виготовлення деталей методом фасонного виливу (позначаються МЛ).

Магнієві сплави, як і алюмінієві, можуть бути зміцнені загартуванням і старінням.

Ефект зміцнення при термічній обробці у виливних сплавів вище, ніж у деформованих. Підвищення межі міцності у деформованих сплавів складає 10-30%, а у виливних 30-60%. Пластичність сплавів після загартування і старіння зменшується.

Сплави для деформування. Склад магнієвих сплавів, що найбільш часто використовуються наведено в табл. 12. Малолегований сплав МА1, який має високу технологічну пластичність, добру здатність до зварювання і корозійну стійкість, використовується для зварювальних резервуарів, бензо- і маслобаків, деталей арматури баків, трубопроводів та ін.

Сплави МА8 і МА9 мають достатню технологічну пластичність, задовільну зварюваність і корозійну стійкість та призначаються для середньонавантажених деталей. Високоміцні сплави МА5 і ВМ-65-1 краще від інших сплавів зміцнюються термічною обробкою, оброблюються пресуванням і штампуванням, мають задовільну корозійну стійкість, але схильні до корозії під напруженням (крім ВМ 65-1). Сплав ВМ 65-1 не зварюється.

Сплави використовують для виготовлення деталей вантажопідіймальних машин, причепів вантажних автомобілів, у літакобудуванні та ін. Жароміцні сплави порівняно легко деформуються і зварюються аргонодуговим зварюванням. Сплави придатні для тривалої роботи при температурі 250-350 °С.

**Виливні сплави.** Дані щодо деяких магнієвих сплавів для фасонного виливу наведені в табл. 13.

Магнієвий сплав середньої міцності (МЛЗ) використовується для виливу деталей простої форми, які потребують підвищеної герметичності, а також знаходяться під ударним навантаженням. Для виливу в землю, в кокіль та під тиском важконавантажених великогабаритних відливок (картери двигунів, коробки передач, деталі коліс та ін.) використовують високоміцний сплав МЛ5, який має добрі виливні властивості.

Сплави МЛ10 і ВМЛ-1 відносять до жароміцних. Сплав МЛ10 призначається для відливки деталей, які працюють при температурах до 250 °С, сплав ВМЛ-1 – для важконавантажених відливок, які тривалий час працюють при температурі 300 °С та короткочасно при температурі 400-450 °С. Ці сплави мають підвищену корозійну стійкість. Сплави добре обробляються різанням.

Таблиця 12

Склад і типові механічні властивості магнієвих сплавів, що деформують

Марка сплаву	Хімічний склад, %				Механічні властивості*		
	Al	Zn	Mn	інші елементи	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %
Сплави невисокої міцності							
МА 1	-	-	1,3-2,5	До 0,02 Be	210	120	8
Сплави середньої міцності							
МА 8	-	-	1,3-2,2	0,15-0,35 Ce**	260	150	7
МА 9	0,4-0,8	-	1,0-1,8	0,08-0,3 Ca	270	240	10
Високоміцні сплави							
МА 2-1	3,8-5,0	0,8-1,5	-	-	280	180	12
МА 5	7,8-9,2	0,2-0,8	0,4-0,8 0,15-0,5	-	320	220	14
ВМ 65-1	-	5-6	-	0,3-0,9 Zr	335	280	9
Жароміцні сплави							
МА 11	-	-	1,5-2,5	2,5-4,0 Nd 0,1-0,25 Ni	280	140	10
ВМД-1	-	-	1,2-2,0	2,5-3,5 Th	300	250	5

- Механічні властивості для прутків

\*\* Церієвий мішметал для введення рідкоземельних металів.

Таблиця 13

Склад і типові механічні властивості деяких виливних магнієвих сплавів

Марка сплаву	Хімічний склад, %				Механічні властивості		
	Al	Zn	Zr	інші елементи	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %
МЛ 3	2,5-3,5	0,5-1,5	-	0,15-0,5 Mn	180	55	8
МЛ 5 (Т6)	7,5-9,0	0,2-0,8	-	0,15-0,5 Mn	240	120	3
МЛ 10 (Т6)	-	0,1-0,7	0,4-1,0	2,2-2,8 Nd	240	120	5
ВМЛ-1	-	-	0,5-1,0	0,5-4,0 Th	200	95	6

Недоліками сплавів у порівнянні з алюмінієвими є низький модуль пружності ( $E = 43000 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ ) і знижена стійкість проти корозії.

Для підвищення корозійної стійкості магнієві сплави підлягають оксидуванню. На оксидовану поверхню наносять лакофарбові покриття.

Внаслідок високої питомої міцності магнієві сплави знайшли широке використання в літако- і ракетобудуванні, в автобудуванні, в електротехніці та радіотехніці, у текстильній, поліграфічній та інших галузях промисловості.

#### 1.12. Сплави на мідній основі.

Розрізняють дві основні групи мідних сплавів:

- 1) латуні – сплави міді з цинком;
- 2) бронзи – сплави міді з іншими елементами, у числі яких, але тільки разом з іншими, може бути й цинк. Мідні сплави мають високі механічні та технологічні властивості, добрий опір зносу і корозії. Сплави позначають початковою літерою: Л – латунь, Бр – бронза.

Після них ідуть перші літери основних елементів, які утворюють сплав. Наприклад, О – олово, Ц – цинк, Мц – марганець, Ж – залізо, Ф – фосфор, Б – берилій, Х – хром та ін. Цифри, які йдуть за літерами, вказують кількість легуючого елемента.

Наприклад, ЛЖМц 59-1-1 – латунь, яка містить 59 % Cu, 1 % Fe і 1 % Mn та останнє цинк, або БрОФ 6,5-1,5 – Бр – бронза, яка містить 6,5 % Sn, 0,1 5 % P і решта – мідь.

Латуні. Латунями називають подвійні або багатокомпонентні сплави на основі міді, у яких основним легуючим елементом є цинк.

Технічні латуні містять до 40-45 % Zn. У залежності від кількості цинку розрізняють  $\alpha$ -латуні і  $\alpha+\beta$ -латуні,  $\alpha$ -латуні добре деформуються в гарячому і холодному стані. Двохфазні  $\alpha+\beta'$ -латуні малопластичні в холодному стані. Ці латуні завжди підлягають гарячій обробці тиском.  $\alpha+\beta'$ -латуні в порівнянні з  $\alpha$ -латунню мають більшу міцність та зносостійкість, але меншу пластичність.

Подвійні латуні нерідко легують Al, Fe, Ni, Sn, Mn, Pb та іншими елементами. Такі латуні називають спеціальними або багатокомпонентними.

Свинець полегшує здатність до обробки різанням та покращує антифрикційні властивості.

Нікель збільшує розчинність цинку в міді, що сприяє переходу латуні з двофазної до однофазної ( $\alpha$ -латунь).

Опір корозії підвищують Al, Zn, Si, Mn і Ni.

Усі латуні за технологічною ознакою поділяються на дві групи: деформовані, з яких виготовляють листи, стрічки, труби, проволочку та інше і виливні – для фасонного виліву (табл. 14).

Виливні латуні мають добру текучість, антифрикційні властивості.

Таблиця 14

Типові властивості латуней для деформування

Марка сталі	$\sigma_B, \text{H}/\text{мм}^2$		$\delta, \%$		Марка латуні	$\sigma_B, \text{H}/\text{мм}^2$		$\delta, \%$	
	Після наклепу	Після відпалу	Після наклепу	Після відпалу		Після наклепу	Після відпалу	Після наклепу	Після відпалу
Л 96	450	240	2	50	Л 70	660	320	5	55
Л 90	480	260	4	45	Л 63	700	420	3	45
Л 80	640	320	3	52	Л 60	700	380	3	45

Примітка: У марці цифра позначає кількість міді, решта цинк. Відпал при 600 °С.

У табл. 15 наведені механічні властивості і призначення деяких латуней. Латуні для деформування ЛАЖ 60-1-1 та ЛЖМц 59-1-1 мають високі корозійні властивості в атмосферних умовах, прісній та морській воді й застосовують для деталей у суднобудуванні.

Більш високу стійкість у морській воді мають латуні, леговані оловом, наприклад ЛО 70-1 і ЛО 62-1, які отримали назву морських латуней. Латунь ЛС 59-1 (автоматна латунь) поставляється в прутках і призначається для виробів, що виготовляються різанням на верстатах-автоматах.

Для зменшення твердості перед обробкою тиском і отримання в напівфабрикатах необхідних властивостей, їх піддають рекристалізаційному відпалу, частіше при 600-700 °С з охолодженням на повітрі або у воді (для відділення окалини).

Олов'яні бронзи. У практиці використовують тільки сплави з кількістю до 10-12 % Sn. Сплави більш багаті оловом дуже крихкі. Олов'яні бронзи мають більший інтервал температур кристалізації і тому схильні до ліквіації (утворення розсіяної пористості).

Зі збільшенням кількості олова зростає межа міцності, однак при високій концентрації олова, внаслідок присутності в структурі крихкого сполучення  $Cu_{31}Sn_8$ , межа міцності різко знижується.

Олов'яні бронзи завжди легують Zn, Fe, Pb, Ni. Цинк покращує технологічні властивості бронзи і здешевлює її.

Фосфор покращує виливні властивості, підвищує твердість, міцність, пружні та антифрикційні властивості.

Нікель підвищує механічні властивості, корозійну стійкість і щільність відливок і зменшує ліквідацію.

Залізо здрибнює зерно, але погіршує технологічні властивості бронз і опір корозії.

Легування свинцем знижує механічні властивості бронзи, але підвищує щільність відливок, а головне – полегшує обробку різанням та покращує антифрикційні властивості.

Таблиця 15

Типові механічні властивості і призначення деяких спеціальних латуней

Марка латуні	$\sigma_v, \frac{H}{mm^2}$	$\delta, \%$	Галузь використання
$\alpha+\beta'$ -латуні* для деформування			
ЛАЖ 60-1-1	450/750	45/8	Труби і прутки
ЛЖМц 59-1-1	450/700	50/7	Смуги, прутки, труби, дроти
ЛС 59-1	400/650	45/5	Листи, смуги, прутки, труби, дроти
Виливні латуні **			
ЛК 80-3Л	250/300	10/15	Арматура, деталі приладів у суднобудуванні та в загальному машинобудуванні
ЛАЖМц 66-6-3-2	600/650	7/7	Гайки натискних гвинтів, які працюють у важких умовах, черв'ячні гвинти
ЛКС 80-3-3	250/300	7/15	Підшипники, втулки, вкладиші
ЛМцЖ 52-4-1	-/500	-/15	Арматура, деталі відповідального призначення, підшипники

\* Чисельник – механічні властивості м'якої латуні, знаменник – твердої латуні. У твердому стані (після наклепу) ступінь деформації 50 %, в м'якому – після відпалу при 600 °С.

\*\* Чисельник – механічні властивості при виливі в піщану форму, знаменник – при виливі в кокіль.

Розрізняють олов'яні бронзи для деформування та виливні (табл. 16).



Наведені в таблиці 16 бронзи мають невисоку рідинотекучість, малу лінійну усадку, високу корозійну стійкість і антифрикційні властивості.

Безолов'яні бронзи. Безолов'яні бронзи являють собою сплави міді з Al, Ni, Si, Fe, Be, Cr, Pb та іншими елементами (табл. 17)

Алюмінієві бронзи. Найбільш часто використовуються алюмінієві бронзи подвійні (БрА 5 і БрА7) і додатково леговані Ni, Mn, Fe та ін. Ці бронзи використовують для різноманітних втулок, направляючих сідел, фланців, шестерень та інших невеликих відповідальних деталей.

При кількості Al > 10-12 % зменшується міцність сплавів. Залізо подрібнює зерно й підвищує механічні та антифрикційні властивості алюмінієвих бронз. Нікель покращує механічні властивості й зносостійкість як при низьких, так і високих температурах (500-600 °C).

Таблиця 16

Типові механічні властивості та призначення олов'яних бронз для деформування й виливних

Марка бронзи	Механічні властивості*		Галузь використання
	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	
<b>Бронзи для деформування</b>			
БрОФ 6,5-015	400 (750)	65 (10)	Пружини, барометричні коробки, мембрани, антифрикційні деталі
БрОЦ 4-3	330 (550)	40 (4)	Плоскі та круглі пружини
БрОЦС 4-4-2,5	350 (650)	35 (2)	Антифрикційні деталі
<b>Виливні бронзи</b>			
Бр ОЦСН 3-7-5-1	180 (210)	8 (5)	Арматура, яка працює в умовах морської та прісної води, а також пари під тиском до 250 Н/мм <sup>2</sup>
БрОЦС 3-12-5	180	8	Арматура, яка працює в умовах прісної води, а також пари під тиском до 250 Н/мм <sup>2</sup>
БрОЦС 5-5-5	150 (180)	6 (4)	Антифрикційні деталі та арматура
БрОЦС 4-4-17	150 (200)	6 (4)	Антифрикційні деталі (втулки, підшипники, вкладиші, черв'ячні пари та ін.)

\* В дужках – властивості після наклепу або після відливки в кокіль.

Алюмінієві бронзи добре протистоять корозії і мають високі механічні й технологічні властивості; бронзи легко обробляються тиском у гарячому стані, а

при кількості до 7-8 % Al – і в холодному. Внаслідок добрих виливних властивостей з них можна виготовляти різноманітні відливки. Однак у них спостерігається значна усадка і газопоглинання.

Бронзи, які містять приблизно 9-11 % Al, а також нікель, марганець і залізо можуть бути зміцнені термічною обробкою.

Кременисті бронзи. Під час легування міді кремнієм (до 3,5 %) підвищується міцність, а також пластичність. Нікель і марганець покращує механічні й корозійні властивості кременистих бронз. Ці бронзи легко обробляються тиском, різанням і зварюються, мають високі механічні властивості, пружність і корозійну стійкість. Їх використовують для виготовлення пружин і деталей приладів, що амортизують, радіобладнання, яке працює при підвищених температурах (до 250 °С), в агресивних середовищах (прісна, морська вода).

Берилієві бронзи відносяться до числа сплавів, які зміцнюються термічною обробкою.

Таблиця 17

Типові механічні властивості та призначення бронз для деформування й безолов'яних

Марка бронзи	Механічні властивості			Галузь використання
	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	Твердість НВ	
<b>Алюмінієві бронзи</b>				
БрАЖ 9-4	600 (850)	40 (5)	110 (180)	Для обробки тиском (прутки, поковки)
БрАЖ 9-4Л	550	10	130	Фасонний вилив
БрАЖН 10-4-4**	650 (800)	35 (9)	150 (225)	Для обробки тиском (прутки, труби, поковки)
БрАЖН 10-4-4Л	650	5	190	Фасонний вилив
<b>Кремениста бронза</b>				
БрКМц 3-1	380 (700)	55 (7)	80 (180)	Дріт, прутки, смуги для виготовлення пружин, сіток, прості фасонні відливки
<b>Берилієва бронза</b>				
БрБ 2*	500 (950)	45 (1-2)	100 (250)	Смуги, прутки, стрічки, дроти для пружин, мембран, деталі, які працюють на знос
<b>Свинцева бронза</b>				
БрС 30	60-80	4-6	40	Для заливки сталевих вкладишів підшипників важконавантажених дизельних двигунів

\* У дужках подані властивості в нагартованому стані (твердий стан).

\*\* Підлягають термічній обробці.

Після загартування бронза має малою міцністю ( $\sigma_b = 550 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ ), високою пластичністю ( $\delta = 25\%$ ) і здібністю зміцнюватися при відпуску як безпосередньо після загартування, так і після пластичної деформації в загартованому стані. Відпуск проводять при 300-350 °С.

Попередньо наклепана бронза при відпуску зміцнюється сильніше та швидше.

Разом з високою межею міцності, текучості та пружності берилієві бронзи добре протистоять корозії, зварюються та обробляються різанням.

Свинцеві бронзи. Свинець повністю не розчиняється в рідкій міді, тому сплави після затвердіння складаються з кристалів міді й включень свинцю. Останні розташовуються по межах зерен або заповнюють міждендритні простори.

Така структура бронзи забезпечує високі антифрикційні властивості. Це знаходить широке застосування бронзи БрС 30 для виготовлення вкладишів підшипників ковзання, які працюють з великими швидкостями і при підвищеному тиску. У порівнянні з олов'яними підшипниковими бронзами теплопровідність бронзи БрС 30 у 4 рази більше, тому вона добре відводить теплоту, яка виникає при терті.

Завдяки невисоким механічним властивостям ( $\sigma_b = 60 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ ,  $\delta = 4,0\%$ ) бронзу БрС 30 наплавляють тонким шаром на сталеві стрічки (труби). Такі біметалеві підшипники прості у виготовленні і легко замінюються при зносі. Свинцеві бронзи з оловом і нікелем, які мають високі механічні властивості ( $\sigma_b = 150 - 200 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ ,  $\delta = 3-8\%$ ), використовують для виготовлення втулок і вкладишів підшипників без сталеві основи.

### 1.13. Антифрикційні матеріали.

Антифрикційні матеріали призначені для виготовлення підшипників ковзання, їх широко використовують у машинах і приладах через їх стійкість до вібрації, безшумність роботи, невеликі габарити.

Основні властивості підшипникового матеріалу – антифрикційність і опір втомі.

Антифрикційність – здібність матеріалу забезпечувати низький коефіцієнт тертя ковзання та тим самим низькі втрати на тертя та малу швидкість зносу сполученої деталі – сталюого або чавунного валу.

Антифрикційність забезпечують наступні властивості підшипникового матеріалу:

- високу теплопровідність;
- добру здатність до змочування мастильним матеріалом;
- здібність утворювати на поверхні захисні плівки м'якого металу;

– добру здатність до припрацювання.

Критеріями для оцінки підшипникового матеріалу слугують коефіцієнт тертя і допустимі вантаже-швидкісні характеристики:

- тиск  $p$ , яке діє на опорі;
- швидкість ковзання  $v$ ;
- параметр  $p_v$ , який визначає питому потужність тертя.

Параметр  $p_v$  залежить від здібності матеріалу знижувати температуру нагріву, навантаженість контакту і зберігати граничну змазку.

Для підшипників ковзання використовують металеві матеріали, неметали, комбіновані матеріали та мінерали (напів- та дорогоцінне каміння). Вибір матеріалу залежить від режиму змазування і умов роботи опор ковзання.

Металеві матеріали. Вони призначені для роботи в режимі рідинного тертя. Через перегрів можливе порушення граничної мастильної плівки. Поведінка матеріалу в цей період роботи залежить від його опорі до прихвачування. Воно найбільш високе у сплавах, які мають у структурі м'яку складову.

Металеві матеріали за своєю структурою поділяються на два типи сплавів:

- сплави з м'якою матрицею і твердими включеннями;
- сплави з твердою матрицею і м'якими включеннями.

До сплавів першого типу належать бабіти і сплави на основі міді-бронзи та латуні. М'яка матриця в них забезпечує не тільки захисну реакцію на посилення тертя і добру здатність до припрацювання, але й особливий мікрорельєф поверхні, який покращує забезпечення мастильним матеріалом ділянок тертя і тепловідведення з них. Тверді включення, на які опирається вал, забезпечують високу зносостійкість.

Бабіти – м'які (HV 300) антифрикційні сплави на олов'яній або свинцевій основі. Згідно з ГОСТ 1320-74 до сплавів на олов'яній основі відносяться бабіти Б83 (83 % Sn, 11 % Sb і 5 % Cu) і Б 88, на свинцевій основі Б 16 (16 % Sn, 16 % Sb і 2 % Cu) БС6, БН. Особливу групу утворюють більш дешеві свинцево-кальцієві бабіти: БКА і БК2 (ГОСТ 1209-78).

Щодо антифрикційних властивостей бабіти перевершують усі останні сплави, але значно поступаються їм в опорі до втоми. У зв'язку з цим бабіти використовують тільки для тонкого (менше 1 мм) покриття робочої поверхні опори ковзання. Найкращі властивості мають олов'яні бабіти, у яких  $p_v = (500-700) \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot \text{м/с}$ . Через високу кількість дорогого олова їх використовують для підшипників відповідального призначення (дизелів, парових турбін та ін.), які працюють при великих швидкостях та навантаженнях (табл. 18). Структура цих сплавів складається із твердого розчину сурми в олові (м'яка фаза) і твердих включень  $\beta'$  (Sn Sb) і  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ .

Бронзи відносяться до кращих антифрикційних матеріалів. Особливе місце серед них займають олов'яні та олов'яно-цинково-свинцеві бронзи. До перших відносяться бронзи БрО10Ф1, БрО10Ц2, до других – БрО5Ц5С5, БрО6Ц6С6 та інші (ГОСТ 613-79). Бронзи використовують для монолітних підшипників ковзання турбін, електродвигунів, компресорів, які працюють при значному тиску і середніх швидкостях ковзання (табл. 18)

В останній час бронзи широко використовують як компоненти порошкових антифрикційних матеріалів або тонкостінних пористих покриттів, просочених твердими мастильними матеріалами.

Латуні використовують як замінювачі бронз для опор тертя. Однак за антифрикційними властивостями вони поступаються бронзам. Двофазні латуні ЛЦ16К4, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ40Мц3А та інші (ГОСТ 17711-80) використовують при малих швидкостях ковзання (менше 2 м/с) і невисоких навантаженнях. Їх часто використовують для опор тертя приладів.

До сплавів другого типу відносяться свинцевиста бронза БрС30 з 30 % Рв (ГОСТ 493-79) і алюмінієві сплави з оловом (ГОСТ 14113-78), наприклад сплав А09-2 (9 % Sn і 2 % Cu). Функцію м'якої складової в цих сплавах виконують включення свинцю або олова.

Таблиця 18

## Характеристики антифрикційних матеріалів

Матеріал	НВ	Коефіцієнт тертя щодо сталі		Допустимий режим роботи		
		без мастильного матеріалу	з мастильним матеріалом	$p \cdot 10^{-5}$ , Па	$v$ , м/с	$p \cdot v \cdot 10^{-5}$ Па м/с
Бабіти:						
Б83	300	0,07-0,12	0,004- 0,006	150	50	750
Б16	300			100	30	30
БК2	320			150	15	60
Бронзи:						
БрО10Ф1	1000	0,1-0,2	0,004- 0,009	150	10	150
БрО5Ц5С5	600			80	3	120
БрС30	250			250	12	300
Латуні:						
ЛЦ16К4	1000	0,15-0,24	0,09- 0,016	120	2	100
ЛЦ38Мц2С2	800			106	1	100
Алюмінієвий сплав А09-2	310	0,1-0,15	0,008	250	20	1000
Антифрикційні ча- вуни:						
АЧС-1	2200	0,12-0,23	0,008 0,016	25	5	100
АЧС-3	1600			60	0,75	45
Пластмаси:						
капрон	100	0,15-0,21	-	120	5	200
текстоліт	350	0,15-0,25	-	150	8	250
<b>Комбіновані матеріали:</b>						
залізо-графіт	800	0,08-0,12	-	80	1	-
	560	0,04-0,1	-	60	1	-

бронза-графіт металофтороплас- това стрічка (МФПл)	-	0,03-0,1	-	-	-	1500
---	---	----------	---	---	---	------

При граничному терті на поверхню валу переноситься тонка плівка цих м'яких легкоплавких металів, яка захищає шийку сталюого валу від пошкодження.

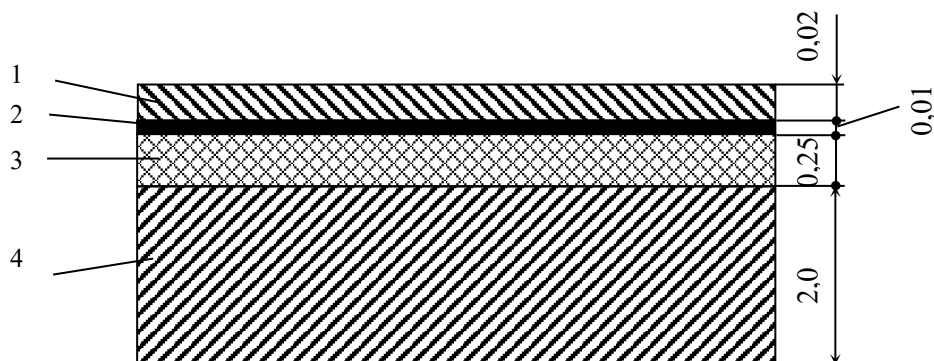
Антифрикційні властивості сплавів достатньо високі, особливо у алюмінієвих сплавах.

Алюмінієвий сплав АО9-2 використовують для відливки монометалевих вкладишів, бронзу – для наплавки на сталюу стрічку.

До сплавів другого типу відносяться також сірі чавуни, роль м'якої складової в яких виконують включення графіту. Для роботи при значному тиску і малих швидкостях ковзання (табл. 18) використовують сірі чавуни СЧ 15, СЧ 20 і леговані антифрикційні чавуни: сірі АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3; високоміцні АЧВ-1, АЧВ-2; ковкі АЧК-1, АЧК-2 (ГОСТ 1585-79). Для зменшення зносу сполученої деталі марку чавуну вибирають так, щоб його твердість була нижче твердості сталюї цапфи. Перевага чавунів – невисока ціна; недолік – погана приробка, чутливість до недоліків мастильного матеріалу та знижена стійкість до дії ударного навантаження.

У теперішній час найбільше поширення отримали багатошарові підшипники, до складу яких входять сплави, з тих, що були розглянуті вище. Сплави або чисті метали в них складені шарами, кожний з яких має відповідне призначення.

Як приклад розберемо склад чотирьохкульового підшипника (рис. 20), який використовується в сучасному автомобільному двигуні. Він складається зі сталюї основи, на якому знаходиться шар (250 мкм) свинцевистої бронзи (БрС 30). Цей шар покритий тонким шаром (~10 мкм) нікелю або латуні. На нього нанесено шар сплаву Pb-Sn товщиною 20 мкм. Сталюна основа забезпечує міцність і жорсткість підшипника; верхній м'який шар покращує приробку. Коли він спрацюється, робочим шаром становиться свинцевиста бронза. Шар бронзи, який має невисоку твердість, також забезпечує добре прилягання шийки валу, високу теплопровідність і опір до втоми. Шар нікелю служить бар'єром, який не допускає дифузю



олова із верхнього шару до свинцю бронзи.

Рис. 20. Схема будови чотирьохкульового металевго підшипника ковзання:

1 – сплав свинцю і олова; 2 – нікель; 3 – свинцевиста бронза; 4 – сталь

Неметалеві матеріали. Для виготовлення підшипників ковзання використовують пластмаси – терморезактивні і термопластичні (полімери) більше 10 видів. Із терморезактивних пластмас використовують текстоліт. З нього виготовляють підшипники прокатних станів, гідравлічних машин, гребних гвинтів. Такі підшипники допускають важкі режими роботи, змочують водою, яка добре охолоджує і розм'якшує їхній поверхневий шар.

Із полімерів найбільш широко використовують поліаміди: ПС10, анід, капрон (ГОСТ 10589-73) та особливо фторопласт (Ф4, Ф40). Переваги полімерів – низький коефіцієнт тертя, висока зносостійкість і корозійна стійкість.

Виключно високими антифрикційними властивостями має фторопласт, коефіцієнт тертя якого без мастильного матеріалу складає 0,04-0,06. Однак фторопласт "тече" під навантаженням і, як усі полімери, погано відводить теплоту. Він може використовуватися лише при обмежених навантаженнях та швидкостях. Високі антифрикційні властивості фторопласта реалізують в комбінації з іншими матеріалами, використовуючи його у вигляді тонких плівок або як наповнювач.

Комбіновані матеріали. Такі матеріали складаються з деяких металів і неметалів, які мають сприятливі для роботи підшипника властивості. Роздивимося підшипники двох типів:

1. Підшипники, які самі намащуються, отримують методом порошкової металургії із матеріалів різних комбінацій: залізо-графіт, залізо-мідь (2-3 %) – графіт або бронза-графіт. Графіт уводять у кількості 1-4 %. Після спікання в матеріалі зберігають 15-35 % пор, які потім заповнюють маслом. Масло і графіт змащують поверхні, які труться. При збільшенні тертя під впливом нагріву пори розчиняються повніше і мастильний матеріал поступає в більшій кількості. Такі підшипники працюють при невеликих швидкостях ковзання (до 3 м/с), відсутності ударних навантажень і встановлюються у важкодоступних для змащування місцях.

2. Металофторопластові підшипники виготовляють із метало-фторопластової стрічки (МФПл) у вигляді втулок, що згорнуті методом точного штампування. Стрічка складається з 4-х шарів. Перший шар (припрацьовочний) виготовлений з фторопласту, наповненого дисульфідом молібдену (25 % по масі). Товщина шару 0,01-0,05 мм. У тих випадках, коли допустима величина лінійного зносу достатньо велика, перший шар потовщують до 0,1-0,2 мм. Другий шар (~ 0,3 мм) – бронзофторопластовий. Він являє собою шар пористої бронзи БрО10Ц2, отриманий спіканням частин порошку кулястої форми. Пори в цьому випадку заповнені сумішшю фторопласта з 20 % Рb (або фторопласта і дисульфиду молібдену). Третій шар (0,1 мм) виготовлений з міді. Його призначення – забезпечувати міцне зціплення бронзового пористого шару з четвертим шаром – сталлюю основою, яку виготовляють із сталі 08КП. Її товщина складає 1-4 мм.

При роботі такого підшипника пористий каркас другого шару відводить теплоту і сприймає навантаження, а поверхневий шар і фторопластова "губка", що його живить, виконують роль мастильного матеріалу, зменшуючи тертя. Якщо перший шар в окремих місцях з якоїсь причини зношується, то починається тертя сталі з бронзою, що супроводжується підвищенням коефіцієнту тертя і температури.

При цьому фторопласт, який має більш високий температурний коефіцієнт лінійного розширення, ніж бронза, видавлюється з пор, знову створюючи мастильну плівку.

При важких режимах тертя, коли температура нагріву перевищує 327 °С, виникає плавлення свинцю. Рідка фаза, яка утворюється, знижує коефіцієнт тертя і тепловиділення.

Металофторопластові підшипники мають високі антифрикційні властивості (у діапазоні температур 200-280 °С;  $f = 0,03-0,1$ ;  $p_v = 1500 \cdot 10^5$  Па · м/с). Їх використовують у вузлах тертя, які працюють без мастильного матеріалу, хоч його введення робить сприятливу дію. Вони можуть працювати у вакуумі, рідких середовищах, які не мають мастильної дії, а також за наявності абразивних частинок, які легко "топляться" в м'якій складовій матеріалу. Такі підшипники використовують у машинобудуванні, авіаційній та інших галузях промисловості.

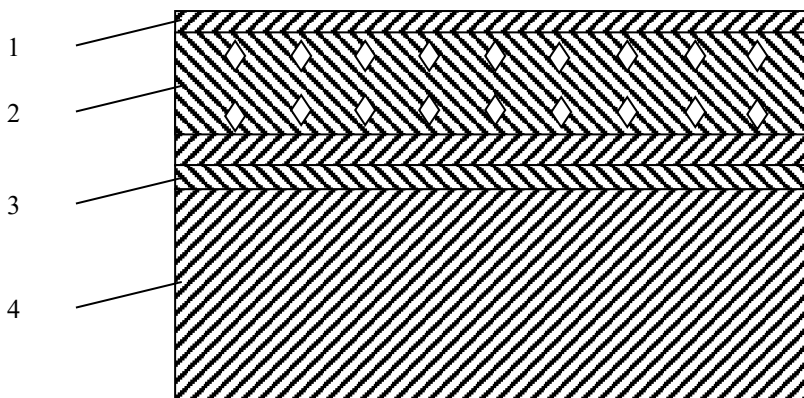


Рис. 21. Схема будови металофторопластової стрічки:

- 1 – фторопласт з дисульфідом молібдену; 2 – бронза в шарі фторопласта;  
3 – мідь; 4 – сталь

Мінерали. Природні (агат), штучні (рубін, корунд) мінерали або їх замінювачі – сітали (склянокристалеві матеріали) використовують для мініатюрних підшипників ковзання – кам'яних опор. Кам'яні опори використовують в прецизійних приладах – годинниках, гіроскопах, тахометрах та ін. Головне достоїнство таких опор – низький і стабільний момент тертя. Низьке тертя досягається малими розмірами опор, що зменшує плече дії сили тертя, а також низьким коефіцієнтом тертя внаслідок слабої адгезії мінералів до металу цапфи. Постійність моменту тертя обумовлена високою зносостійкістю мінералів, здатних через високу твердість витримувати великий контактний тиск.



#### 1.14. Фрикційні матеріали.

Фрикційні матеріали використовують у пристроях гальмування і механізмах, які передають обертальний момент. Вони працюють у важких умовах зносу – при високому тиску (до 6 МПа), швидкостях ковзання (до 40 м/с) і температурі, яка миттєво зростає до 1000 °С. Для виконання своїх функцій фрикційні матеріали повинні мати високий і стабільний в широкому інтервалі температур коефіцієнт тертя, мінімальний знос, високі теплопровідність і теплостійкість, добру припрацьовуваність і достатню міцність. Цим вимогам задовольняють багатокомпонентні неметалеві та металеві спечені матеріали. Їх виробляють у вигляді пластин або накладок, які приєднують до сталевих деталей, наприклад, диском тертя. Вибір матеріалу роблять по граничній поверхневій температурі нагріву і максимальному тиску, який він витримує. Неметалеві матеріали використовують при легких ( $t_{\text{пред}} \leq 200^\circ\text{C}$ ,  $p_{\text{max}} \leq 0,8\text{МПа}$ ) та середніх ( $t_{\text{пред}} \leq 200^\circ\text{C}$ ,  $p_{\text{max}} = 1,5\text{МПа}$ ) режимах тертя. З них переважно використовують азбофрикційні матеріали, які складаються з матеріалу для зв'язки (смоли, каучуку), наповнювача і спеціальних добавок. Основним наповнювачем є азбест, який надає матеріалу теплостійкість, підвищує коефіцієнт тертя та опір схопленню. До нього додають метали (Cu, Al, Pb, латунь) у вигляді стружки або дроту для утруднення схоплення (цьому ж сприяє свинець, який розтоплюється та служить як би рідким мастильним матеріалом); оксиди або солі металів (оксид цинку, барит  $\text{BaSO}_4$  та ін.) – для збільшення коефіцієнту тертя.

Із азбофрикційних матеріалів найбільшу працездатність має ретинакс (ФК-24А і ФК-16Л), який містить 25 % фенолформальдегідної смоли, 40 % азбесту, 35 % бариту, рублену латунь і пластифікатор). У парі зі сталлю ретинакс забезпечує коефіцієнт тертя 0,37-0,40. Його використовують у механізмах гальмування літаків, автомобілів та інших машин.

Недоліком неметалевих матеріалів є невисока теплопровідність, через що можливий перегрів та руйнування матеріалу.

Металеві спечені матеріали використовують при важких режимах тертя ( $t_{\text{пред}} \leq 1200^\circ\text{C}$ ,  $p_{\text{max}} \leq 6\text{МПа}$ ). Їх виробляють на основі заліза (ФМК-8 і ФМК-11) і міді (МК-5). Крім основи і металевих компонентів (Si, Pb, Ni та ін.), які забезпечують міцність, добру теплопровідність та зносостійкість, ці матеріали містять оксид кремнію, барит. Вони виконують ті ж функції, що і в азбофрикційних матеріалах.

Матеріали на основі заліза через високу теплостійкість використовують у вузлах тертя без мастильного матеріалу, а на основі міді – при змазуванні маслом.

У багатодисковій системі гальмування літаків використовують берилій через його високу теплоємність, теплопровідність і малу щільність.

#### 1.15. Припаї.

Припаї використовують при паянні металів. На відміну від зварювання, коли розплавляють кромки з'єднаних виробів, при паянні метали нагрівають до температури плавлення припаю, а самі метали, які припаюють, при цьому не пла-

вляться, а розчинюються у припаї. Міцність припайки залежить від глибини взаємного проникнення контактуючих матеріалів. Для забезпечення процесів дифузії припай повинен добре змочувати поверхню металів, що сплавлюють, і добре затікати в зазор, який утворюється кромками виробів.

Припаї (м'які і тверді) розрізняються за температурою плавлення.

М'які припаї. До м'яких припаїв належать сплави олова і свинцю з температурою плавлення до 350 °С. М'які припаї відрізняються доброю змочуваністю і рідкотекучістю. З них найбільше поширені ПОС-90 (89-90 % Sn, 0,1-0,15 % Sb, останнє Pb), з температурою плавлення 222 °С. М'які припаї використовують для паяння побутового посуду, тари для консервів та медичної апаратури. Припай ПОС-40 (39-40 % Sn, 1,5-2 % Sb, останнє Pb) з температурою плавлення  $T_{\text{пл}}=235$  °С використовують для паяння мідних, залізних і латунних виробів, а також для електроапаратури. Припай ПОС-30 (23-30 % Sn, 1,5-2,0 % Sb, останнє Pb,  $T_{\text{пл}}=256$  °С) використовують для паяння латуні, міді, цинку, оцинкованої жести, білої жерсті, радіоапаратури. Припай ПОС-18 (17-18 % Sn, 2-2,5 % Sb, останнє Pb,  $T_{\text{пл}}=277$  °С) використовують для паяння предметів широкого використання, луження заліза, паяння свинцю, латуні, міді.

При зростанні кількості свинцю в припаях знижується міцність припайки більшості матеріалів. Для низькотемпературного паяння використовують і олов'яноцинкові припаї, які маркуються як ПОЦ. Припай ПОЦ-90 (90 % Sn, 10 % Zn) має найнижчу температуру плавлення, яка складає 200 °С. Припаї цієї серії (ПОЦ-60, ПОЦ-70, ПОЦ-90) використовують для паяння алюмінію та його сплавів.

Перед паянням поверхні очищують наждачним папером, потім обробляють флюсом, в якості якого часто використовують хлористий цинк. Для паяння цинку і цинкових сплавів замість флюсу використовують 10 % розчин соляної кислоти, а при паянні міді – каніфоль. При паянні м'якими припаями для полегшення дифузії і отримання міцних сполучень потрібний попередній нагрів.

Тверді припаї. До твердих припаїв належать мідноцинкові, міднофосфористі і мідносеребряноцинкові. Твердими припаями припаюють сталь, чавун, мідь, бронзи. Одним з них є ПМЦ-36 (36-30 % Cu, останнє Zn;  $T_{\text{пл}}=833$  °С). До мідноцинкових припаїв належать також ПМЦ-48 і ПМЦ-54. У першому з них міститься 46-50 % Cu, а в другому – 52-56 % Cu. Температура їх плавлення 850 і 870 °С відповідно.

Міднофосфористі припаї, наприклад ПМФ-7 (7 % P, останнє Cu), дозволяють припаювати мідь без застосування флюсу, що робить простішим та прискорює процес. Срібні припаї, основні з яких ПСр-12 (36 % Cu, 52 % Zn, 12 % Ag;  $T_{\text{пл}}=785$  °С), ПСр-25 (40 % Cu, 35 % Zn, 25 % Ag;  $T_{\text{пл}}=765$  °С), ПСр-45 (30 % Cu, 25 % Zn, 45 % Ag;  $T_{\text{пл}}=720$  °С), використовують у вигляді прутків, стрічки, зерна.

Для паяння сталевих деталей рекомендується використовувати припаї з меншою кількістю цинку, для паяння ж мідних сплавів – навпаки, з більш високою кількістю цинку. Срібні припаї мають не тільки добру рідкотекучість і корозійну стійкість, але й дають міцні сполучення, які витримують значні ударні і вібраційні навантаження.

При паянні твердими припаями поверхні, які припаюються, також необхідно ретельно очистити. Як флюс використовують буру, борну кислоту та їхні суміші. При паянні алюмінію та його сплавів у якості флюсу використовують 30 %-ний спиртовий розчин суміші, яка містить 90 %  $ZnCl_2$ , 2 %  $NaCl$  і 8 %  $AlCl_3$ .

При виготовленні сталевих виробів часто використовують паяння міддю в спеціальних електричних печах із захисною атмосферою. У цьому випадку деталі вузлів, що припаюються збирають разом і на місця швів кладуть мідний дріт або стрічку. Нагріта до 1150-1200 °С мідь затікає в місця швів. Іноді паяння проводять в нафтових або газових печах. У цьому випадку доцільно використовувати флюси для очищення від сажі. При проведенні паяння в соляних печах-ваннах розплавлені солі захищають метал від окислення, тому паяння можна вести без засипання швів флюсом.

## НАДТВЕРДІ ТА ТУГОПЛАВКІ МАТЕРІАЛИ

За відносно короткий термін, з початку синтезу алмазу в промислових масштабах ( $\approx 40$  років), у нашій країні і за кордоном створена наукова та виробнича база, яка забезпечує високий рівень досліджень у галузі одержання та застосування надтвердих матеріалів, а також їх випуск у значних обсягах при досить широкій номенклатурі.

Застосування синтетичних алмазів та полікристалів на їх основі є важливим напрямком науково-технічного прогресу в різних галузях промисловості, у т.ч. і для розвідувального буріння свердловин. Роботи щодо створення нових матеріалів не тільки не втратили актуальності, а продовжують розвиватися внаслідок збільшення вимог до надтвердих матеріалів.

### Класифікація надтвердих матеріалів.

Значна кількість природних різновидів алмазів, синтетичні алмази, кубічний та в'юрцитоподібний нітрид бору, а також полікристалічні композиції на їхній основі створили таку широку різноманітність надтвердих матеріалів, що виникла необхідність їх класифікації.

Були прийняті спроби класифікації надтвердих матеріалів як єдиного класу матеріалів які відзначаються або за всіма фізико-механічними властивостями, або тільки за твердістю, з віднесенням до цих матеріалів усього, що твердіше  $50000\text{Н/мм}^2$  (за шкалою Віккерса).

Якщо покласти в основу класифікації надтвердих матеріалів їх твердість і віднести до них усе, що твердіше одно- та двокарбідних твердих сплавів, можливо виділити п'ять підкласів надтвердих матеріалів:

- 1 – природні алмази (мікротвердість за Віккерсом понад  $100000\text{ Н/мм}^2$ );
- 2 – синтетичні алмази (мікротвердість за Віккерсом  $90000\text{-}100000\text{ Н/мм}^2$ );
- 3 – кубічний нітрид бору (мікротвердість за Віккерсом  $70000\text{-}80000\text{ Н/мм}^2$ );
- 4 – в'юрцитоподібний нітрид бору (мікротвердість за Віккерсом  $50000\text{-}80000\text{ Н/мм}^2$ );

5 – композиційні надтверді матеріали з використанням в якості основи карбідів, нітридів, боридів IV-VI груп періодичної системи (мікротвердість за Віккерсом 30000-50000 Н/мм<sup>2</sup>)

Схематичне зображення класифікації приведене на рис. 22.

Усередині кожного підкласу можливо визначити декілька груп та підгруп, виділяючи у першу чергу монокристали та полікристали, композиції на основі алмазу, кубічного нітриду бору та ін. у відповідності до схеми, показаної на рис. 22. Спочатку вказані групи та підгрупи матеріалів зі значною твердістю та великим ступенем досконалості кристалічних ґрат, а потім – решта, зі зменшенням твердості, за аналогією з переліченими групами.

#### **Алмаз. Фізико-механічні та теплові властивості алмазів.**

Класифікація природних алмазів як високотвердого технічного каміння наведена вперше в технічних умовах 4086-52 Міністерства фінансів СРСР ті міністерства кольорової металургії СРСР.

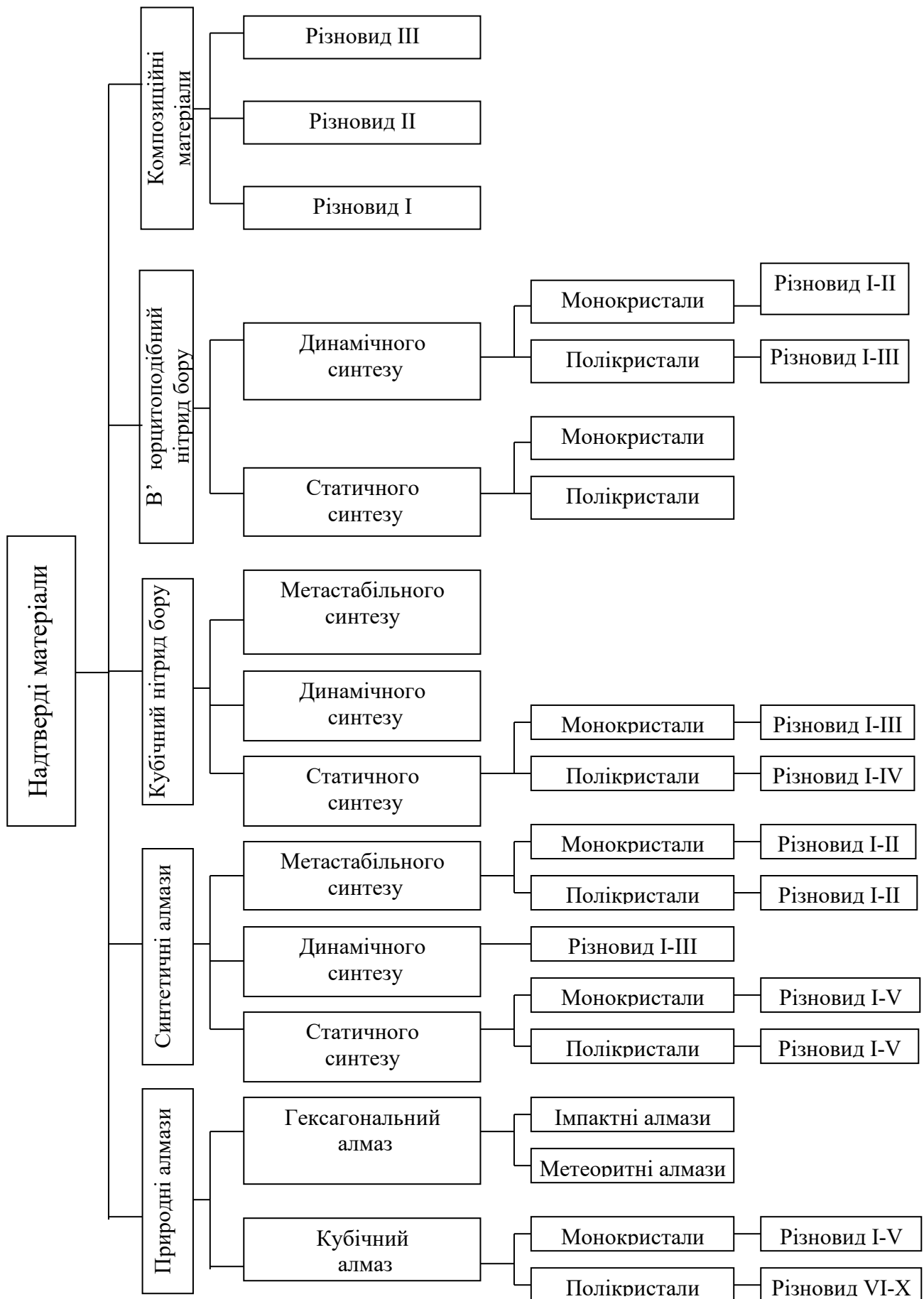


Рис. 22. Класифікація надтвердих матеріалів

Теоретична щільність алмазу дорівнює  $3,511 \text{ г/см}^3$ , фактична щільність у залежності від характеру та кількості домішок і включень, наявності порожнин та мікропор, коливається від  $3,485$  до  $3,58 \text{ г/см}^3$ . У більшості випадків щільність синтетичних алмазів є  $3,511$ - $3,549 \text{ г/см}^3$ , природних –  $3,513$ - $3,520 \text{ г/см}^3$ . Більш висока щільність кристалів синтетичних алмазів пояснюється присутністю в них металічних домішок.

Твердість – важлива властивість алмазу як матеріалу для інструментів, тому що від твердості залежить значення коефіцієнта тертя та стійкість до зношення інструменту, ріжучі властивості і здатність заглиблюватися в поверхню оброблюваного матеріалу (гірської породи).

Твердість алмазу в 3 рази більша твердості карбіду кремнію, в 3,3 разу – карбіду титану, в 5,7 разу – карбіду вольфраму. Алмаз більше ніж у 6 разів твердіший сплаву ВК-8 і приблизно в 7,5 разу – загартованої швидкоріжучої сталі. Значна перевага твердості алмазу в порівнянні з твердістю будь-якого абразивного матеріалу виявляється при низькій та високій температурах. З підвищенням температури твердість алмазів різко зменшується (рис. 23), однак залишається вищою, ніж у інших абразивних матеріалів.

Завдяки високій твердості алмаз має дуже низький коефіцієнт тертя з металами та сплавами:  $0,05$ - $0,9$ , що в  $1,3$ - $1,5$  разу менше, ніж для електрокорунду та карбіду кремнію.

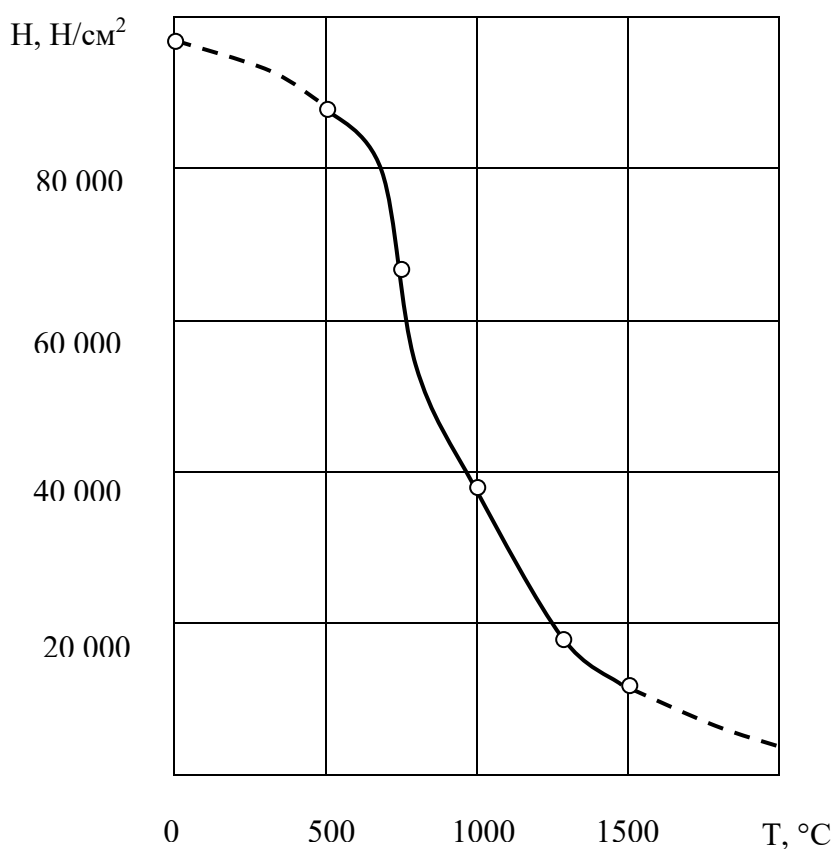


Рис. 23. Залежність твердості алмазу від температури

Механічна міцність – одна з основних характеристик алмазів.

Алмазні зерна значно перевищують за міцністю всі основні матеріали (карбід бору, карбід кремнію), а також міцність кубічного нітриду бору. Теоретична міцність алмазу на розрив є  $774000 \text{ Н/мм}^2$ , фактична – залежить від багатьох факторів. Міцність синтетичних алмазів залежить від марки та зернистості.

Синтетичні алмази мають дуже великий діапазон властивостей щодо міцності та крихкості, що дозволяє вибрати оптимальну марку алмазу, яка найбільш повно відповідає конкретним умовам.

Міцність алмазів значною мірою залежить від температури. Підвищення температури до  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  не змінює міцнісних властивостей алмазів АСО, однак знижує міцність порошків АСР приблизно на 6 % і АСВ на 30 %.

Висока жорсткість – найбільш важлива властивість алмазів після твердості. Вона є одним з основних факторів, які визначають високі різальні властивості алмазу. Модуль пружності алмазу, рівний  $883000 \text{ Н/мм}^2$ , перевищує модуль пружності всіх відомих у природі твердих тіл, в 2,5-3 рази більший, ніж у карбіду бору та карбіду кремнію і значно більший, ніж у твердих сплавів ( $441000\text{-}586000 \text{ Н/мм}^2$ ) та інших інструментальних матеріалів.

Так, модуль пружності алмазу приблизно у 1,7 разу більший, ніж у сталі Р18.

Коефіцієнт стиску алмазу надзвичайно низький –  $(17,7\text{-}22,6) \cdot 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$ . Він у декілька разів менший коефіцієнту стиску всіх відомих у природі речовин.

За міцністю на вигин і стиск алмаз перевищує абразивні матеріали значно менше, що з'ясовується наявністю у нього плоскостей спайності.

У порівнянні з іншими абразивними матеріалами алмази мають найвищу крихку міцність.

Теплові властивості алмазів залежать від температури їх нагріву, типу, марки та зернистості. Алмаз відрізняється високою теплопровідністю, яка вища теплопровідності всіх інструментальних матеріалів.

Теплопровідність синтетичного алмазу  $\lambda=146 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ , що більше теплопровідності карбіду кремнію – в 9,5 разу, електрокорунду – в 1,5 разу, сплаву ВК-6 – в 2,6 разу, сталі Р18 – в 7 разів, твердого сплаву Т15К6 – в 5,4 разу, мінерало-кераміки – майже в 40 разів.

З підвищенням температури теплопровідність алмазу зменшується, причому теплопровідність монокристалів синтетичних алмазів нижче, ніж природних алмазів.

Зниженню температурного режиму на різучій поверхні зернини алмазу сприяє також низька теплоємність алмазу. Питома теплоємність алмазу є  $502 \text{ Дж/кг К}$ , що вище питомої теплоємності сплаву ВК-8 в 3 рази, сталі Р18 – майже у 1,5 разу, твердого сплаву Т15К6 – в 2 рази, трохи нижче, ніж у карбіду кремнію, і в 7,4 разу нижче, ніж електрокорунду.

Коефіцієнт лінійного теплового розширення алмазу  $\alpha=(1,0\text{-}1,5) \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , що в 5-6 разів менше, ніж сплаву ВК-8 і приблизно у 7 разів нижче, ніж у сталі Р18.

При збільшенні температури з  $78$  до  $780 \text{ }^\circ\text{C}$  коефіцієнт лінійного розширення алмазу збільшується від  $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$  до  $4,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , тобто в 3,7 разу.

## Властивості нітридів бору.

### 2.3.1. Властивості кубічного нітриду бору.

Кубічний нітрид бору поступається алмазу за твердістю, однак є надтвердим матеріалом, який застосовується не менше, ніж алмаз.

Відмінною особливістю кубічного нітриду бору є його висока термостійкість. Сильне окислення, яке супроводжується графітизацією, не дає можливості нагрівати алмаз до температури вище 800 °С, у той час як кубічний нітрид бору не міняє своїх властивостей до температури 1300 °С.

Кубічний нітрид бору відрізняється високою стійкістю до циклічного діяння високих температур, що визначає його високу працездатність в абразивному інструменті.

Одержання кубічного нітриду бору під товарними назвами "боразон", "ельбор" чи "кубоніт" зв'язано з використанням графітоподібного нітриду бору з металічними добавками каталізаторів. Найкращі результати були одержані при застосуванні в якості каталізаторів лужних та лужноземельних металів, їх нітридів та боридів, а також сурми, основи свинцю.

Кубічний нітрид бору випускається промисловістю у вигляді монокристалів і компактних полікристалічних агрегатів, які мають блочну чи мозаїчну будову.

Різновид I. До нього відносять октаедри (розміром 0,3-0,5 мм), які мають мозаїчну будову кристалів. Щільність їх 3,48 г/см<sup>3</sup>. Решта фізико-технічних властивостей та ж, що у різновиду II.

Різновид II. До нього відносять порошки янтарного нітриду бору АВН-300, боразону-II, ельбору марки ЛР, кубоніту марки КР, які відрізняються великою кількістю чітко огранених кристалів чи їх зростків у розрахунку на 1 карат сировини. Форма монокристалів – тетраедри та гексаедри. Колір їх від янтарного до темно-коричневого і чорного. Розмір кристалів 0,1-0,3 мм.

Монокристали ельбору та кубоніту мають щільність 3,45-3,47 г/см<sup>3</sup>; мікротвердість за Віккерсом 90000 Н/мм<sup>2</sup>; модуль пружності 72000 Н/мм<sup>2</sup>; коефіцієнт теплопровідності 42,87 Вт/м·К; питому теплоємність 0,16 кал/г·°С; коефіцієнт лінійного розширення 2,5 1/К·10<sup>-6</sup>; температурну межу стійкості 1400 °С. За абразивною здатністю кристали цього різновиду знаходяться між алмазами марки АСВ та АСК.

Різновид III. До третього різновиду монокристалів кубічного нітриду бору відносять зерна кубічного нітриду бору (боразону, ельбору, кубоніту), які отримані при більш високих тисках і температурах, ніж кристали перших двох різновидів, розміром до 0,2 мм, зцементованих побічними продуктами синтезу (до 30 %). Кубічний нітрид бору в такому спеціалізованому блоці супроводжують продукти реакції – нітрид, диборід і гексаборід магнію (чи другого лужного металу), бор елементарний. Дуже рідко зустрічаються сліди металу, що не прореагував.

Фізико-механічні властивості кристалів цього різновиду в основному збігаються зі значеннями, які приведені для різновиду II, однак мають меншу щільність (3,37-3,47 г/см<sup>3</sup>), мікротвердість (80000-90000 Н/мм<sup>2</sup>), абразивну здатність та більш низьку межу температурної стійкості.

Продукти полікристалів.



Різновид I. До цього різновиду полікристалів кубічного нітриду бору відносять полікристали, які складаються із спечених дрібних частин кубічного нітриду бору, з'єднаних тонкими прошарками металічного зв'язку. Типовим представником цього різновиду є полікристали типу "Компакс", отримані за способом Р.Вентора і Б.Рокко. Це зносостійкий компакт, міцно зв'язаний з підкладкою із твердого сплаву, який дозволяє значно підвищити швидкість різання та стійкість інструменту у режимі роботи без удару в порівнянні з інструментами із твердого сплаву.

Різновид II. Зразком полікристалів цього різновиду може бути надтвердий матеріал ПКНВ, синтезований вперше Л.Ф.Верещагініним. З 1971 року він виготовляється промисловістю під торговою маркою "Ельбор-Р". Цей надтвердий матеріал є дрібнокристалічний безладно орієнтований агрегат з напруженою структурою. Фізико-механічні властивості матеріалу залежать від складу початкової шихти та термодинамічних параметрів процесу. Основні фізико-механічні властивості: щільність 3,31-3,39 г/см<sup>3</sup>; модуль пружності 885000-665000 Н/мм<sup>2</sup>; мікротвердість 70000-80000 Н/мм<sup>2</sup>; межа міцності на стиск 1900-2100 Н/мм<sup>2</sup>; теплопровідність (0,3-0,6)·10<sup>2</sup> Вт/м·К; теплостійкість на повітрі 1100-1200 °С.

Різновид III. До цього різновиду відносять полікристали кубічного нітриду бору, які отримані прямим синтезом з графітоподібного нітриду бору без внесення каталізаторів. Надтвердий матеріал, отриманий цим способом, має назву "белбор". Твердість белбору – 60000-90000 Н/мм<sup>2</sup>; межа міцності на стиск 4000-6500 Н/мм<sup>2</sup>; теплостійкість на повітрі 1000-1100 °С. Відсутність каталітичних добавок забезпечує високі фізико-механічні властивості продукту, які не знижуються при його зберіганні.

Різновид IV. До цього різновиду відносять полікристали кубічного нітриду бору, які містять в якості основного матеріалу порошок кубічного нітриду бору з розміром частинок 3 і 6 мкм, а в якості сполучного – в'юрцитоподібний нітрид бору. Зразком такого матеріалу є полікристали твердого нітриду бору (ПТНБ). Мікротвердість полікристалів ПТНБ знаходиться на рівні 70000-80000 Н/мм<sup>2</sup>, міцність на стиск – 4000-5000 Н/мм<sup>2</sup>; міцність на вигин – 600-1000 Н/мм<sup>2</sup>; теплостійкість – 300 термоциклів. Розмір полікристалів – близько 3 мм.

Різновид V. До цього різновиду полікристалів кубічного нітриду бору віднесені композитні надтверді матеріали, виготовлені спіканням в умовах високого тиску порошку кубічного нітриду бору (в суміші з алмазом, окисом, карбідом) та інших тугоплавких сполук. Матеріал має полікристалічну структуру, яка утворюється щільно зцементованими взаємопророщеними кристалами кубічного нітриду бору розміром 10<sup>-3</sup>-10<sup>-4</sup> см. Регулюючи кількість та фазовий склад добавок тугоплавких сполук, можна отримати надтверді матеріали з різними фізико-технічними властивостями.

Різновид VI. До цього різновиду відносять композиційні матеріали, які отримані синтезом з графітоподібного нітриду бору з додаванням кубічного нітриду бору; алмазів; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; B<sub>4</sub>; SiO<sub>2</sub>; тугоплавких металів (Т, Zr, Hf, Nb, Cr, Mo, W та ін.) з наступним взаємним пророщуванням часток додатків з синтезованими кристалами кубічного нітриду бору. Наприклад, додаток алмазу (70-40 мас. %) або Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (20-25 мас. %) збільшує міцність композиційного матеріалу, підвищує однорідність

структури і зменшує розмір кристалів кубічного нітриду бору. Матеріали цього різновиду можуть успішно застосовуватися як у лезовому виробництві, так і в абразивних інструментах.

Друга група. Кубічний нітрид бору метастабільного синтезу.

Вперше синтез кубічного нітриду бору в метастабільних умовах здійснив Віккерс. Пропонований ним спосіб зводиться до заміни фосфору азотом в фосфориді бору, який має алмазоподібну структуру.

Можливість осаджування плівок кубічного нітриду бору на чужорідних підкладках може бути корисна при нанесенні покриття на твердий сплав.

### 2.3.2. Властивості в'юрцитоподібного нітриду бору.

За хімічними та фізичними властивостями в'юрцитоподібний нітрид бору близький до кубічного нітриду бору, однак має значні відмінності, що дозволяє виділяти його, а також матеріали, створені на його основі, у самостійний підклас.

Перша група: в'юрцитоподібний нітрид бору, отриманий при високому статичному тиску.

Різновид I. До цього різновиду вибухового в'юрцитоподібного нітриду бору можливо віднести монокристалічний матеріал, який отримують з графітоподібного нітриду бору без яких-небудь додатків.

Розмір частинок 0,05-5 мкм. Розмір основної фракції 0,30 мкм. Пікнометрична щільність 3,10-3,40 г/см<sup>3</sup>, температура зворотного переходу 600 °С.

Різновид II. До цього різновиду вибухового в'юрцитоподібного нітриду бору можливо віднести монокристалічний матеріал, який отримують з графітоподібного нітриду бору з використанням як рідких, так і твердих додатків. В якості рідких використовують воду та спирт, в якості твердих – різні метали (мідь та ін.).

Розмір частинок 0,1-15 мкм. Розмір основної фракції 0,70 мкм. Найбільша кількість домішок не перевищує 1 %. Пікнометрична щільність 3,10-3,33 г/см<sup>3</sup>. Температура зворотного переходу 700 °С.

Підгрупа полікристалів. До цієї підгрупи відносять усі полікристалічні композиційні надтверді матеріали, створені на основі вибухового в'юрцитоподібного нітриду бору без повного переведення його в сфалеритну структуру. Остання обставина дозволяє зберегти дрібнодисперсний характер основній складовій надтвердого матеріалу та забезпечити йому високі ріжучі та протиударні властивості без помітного росту зернини кубічного нітриду бору.

У цій підгрупі виділяють три різновиди.

Різновид I. До нього відносять надтвердий матеріал з нітриду бору, який складається з двох, а іноді з трьох модифікацій нітриду бору, без використання будь-яких додатків. Типовим представником цього різновиду є надтвердий матеріал "Гексаніт-Р", який має високі ріжучі властивості і відрізняється високою стійкістю до сильних ударних навантажень. Мікротвердість "Гексаніту-Р" – 50000-80000 Н/мм<sup>2</sup> за Віккерсом; міцність на стиск – 3000-5000 Н/мм<sup>2</sup>; міцність на вигин – 1200-1500 Н/мм<sup>2</sup>; щільність 3,33-3,38 г/см<sup>3</sup>; теплопровідність 60-80 Вт/м·К; температура зворотного переходу у вакуумі 1100-1200 °С.

Різновид II. До цього різновиду відносять композиційні матеріали на основі в'юрцитоподібного нітриду бору, які зберігають структуру останнього в кінцевому

продукті, а також армовані ниткоподібними кристалами  $Al_2O_3$ , нітриду кремнію та інших абразивних волокнистих матеріалів.

Прикладом є керамічний матеріал, який подібний монокристалом "Гексаніту-Р", однак відрізняється більш високою стійкістю до ударних навантажень і має в своєму складі волокна  $Al_2O_3$  в кількості до 30 %.

Різновид III. До нього відносять матеріали, які мають у своїй структурі різні добавки у вигляді алмазів, карбідів, нітридів, боридів тугоплавких металів.

### **Композиційні надтверді матеріали на основі карбідів, нітридів, боридів і оксидів.**

Властивості карбідів, нітридів, боридів і оксидів. Ряд карбідів і нітридів являє собою фази упровадження малих атомів неметалів у порожнини (міжатомні проміжки) металічних ґрат.

Таке упровадження зміцнює ґрати, утруднює їх пластичне деформування та одночасно різко підвищує крихкість.

Карбіди. Незважаючи на високу температуру плавлення і добру теплопровідність, карбіди мають невисоку термостійкість, що пов'язано з жорсткістю їх кристалічної структури і порівняно невисоким коефіцієнтом термічного розширення. Температура плавлення, характеристична температура і коефіцієнти розширення монокарбіду вольфраму значно менші, ніж у карбідів титану і ніобію, а теплопровідність більша.

З підвищенням температури величини відносного розширення  $W_2C$  і  $WC$  практично не відрізняються, однак у  $TiC$  і  $NbC$  ці показники значно вищі.

Теплопровідність карбіду  $WC$  з ростом температури збільшується більш різко, ніж у полукарбіду  $W_2C$  (табл. 19).

Питома теплоємність і ентальпія в інтервалі температур 0-3500 °C знижується у карбідів  $WC$ ,  $W_2C$ ,  $TiC$ ,  $NbC$ .

Таблиця 19

#### Теплофізичні властивості карбідів

Властивість	Температура, °C			
	20	730	20	730
	WC		W <sub>2</sub> C	
Мольна теплоємність, Дж/моль·К	41,21	58,73	76,49	98,98
Питома масова теплоємність, Дж/моль·К	210,42	299,87	201,52	260,83

Висока твердість і крихкість – найбільш характерні властивості карбідів тугоплавких металів, у тому числі карбідів вольфраму.

З підвищенням мікротвердості й макротвердості карбіди можна розмістити в ряд (табл. 20):  $WC \rightarrow W_2C \rightarrow NbC \rightarrow TiC$ .

У багатьох технічних книгах зустрічаються наступні значення мікротвердості  $WC$ : 24000 Н/мм<sup>2</sup>; 24700 Н/мм<sup>2</sup> (P=25 г.); 25000 Н/мм<sup>2</sup> (P=20 г.).

Таблиця 20

## Твердість карбідів

Карбід	Твердість за Роквелом	Твердість за Віккерсом	Мікротвердість, Н/мм <sup>2</sup> (Р = 30 г.)
TiC	92,5-93,5	32000	30000
NbC	88	–	19000–2000
WC	81	16200, 22000	17000–18000
W <sub>2</sub> C	80	–	19900

Найбільш важлива властивість карбідів – міцність (табл. 21). Вона залежить від методу одержання, складу, зернистості та пористості досліджуваних зразків карбідів, а також ступеню подрібнення початкових порошків.

Дослідження міцності при вигині карбідів WC, MoC, TiC, NbC у залежності від температури показало, що з підвищенням температури до 0,4-0,5 T<sub>пл</sub> міцність змінюється незначною мірою.

При вивченні температурної залежності коефіцієнта тертя (f) однойменних зразків з карбиду вольфраму у вакуумі виявлено, що мінімум на кривій спостерігається при температурі від 30 до 850 °C, а значення f складає 0,45. При цьому відзначається висока зносостійкість карбиду вольфраму.

Таблиця 21

## Міцність карбідів.

Карбід	Межа міцності (Н/мм <sup>2</sup> ) при температурі (°C)			
	20	730	20	730
	Розтяг		Стиск	
TiC	560	350	1350	900
WC	340	–	2700	2000
W <sub>2</sub> C	50	–	2000	–

Вивчення процесу подрібнювання карбідів WC, TiC, NbC в умовах зовнішнього тертя у вакуумі 16<sup>-6</sup> мм рт. ст. при кімнатній температурі дало можливість встановити, що максимальну зносостійкість має карбід вольфраму, на поверхні якого виявлені досить просторі області згладженого матеріалу без шарів глибокого руйнування. Останнє обумовлено здатністю карбиду вольфраму витримувати значні знакоперемінні навантаження без викришування поверхневих шарів, бо в карбіді вольфраму висока твердість сполучається з достатньою міцністю, що є перевагою при утомленому виді зносу. В той же час карбід вольфраму малочувливий до змін температури.

Карбід титану має максимальну твердість поміж карбідів перехідних металів, а також високу зносостійкість. Для карбіду ніобію характерні менші крихкість і твердість, що призводить до зменшення його зносостійкості.

У карбіду вольфраму при невисокій твердості різко зростають його пластичні властивості, внаслідок чого зразки з карбіду вольфраму як би “пливуть” по абразивних зернах і менш зношуються.

Неметалічні сполуки вуглецю.

Карбід бору.

Він має високу твердість, яка складає близько  $50000 \text{ Н/мм}^2$ , поступаючись у цьому відношенні тільки алмазу, боразону і сплавам системи бор-вуглець-кремній, твердість яких досягає  $90000 \text{ Н/мм}^2$ . Висока твердість також викликає високу зносостійкість карбіду бору, яка значно перевищує зносостійкість як металоподобних карбідів, так і твердих сплавів на їх основі. Порошок карбіду бору має винятково високі абразивні властивості та здатність до шліфування. Здатність до шліфування складає 60-70 % від здібності до шліфування алмазу і в півтора рази перевищує абразивну здатність карборунду та в 2-3 рази абразивну здатність корунду і т.п. Відносно низький коефіцієнт термічного розширення карбіду бору обумовлює задовільну термостійкість сплавів на його основі.

Негативною властивістю є висока крихкість.

Карбід кремнію.

Він має високу твердість, зносостійкість і абразивну здатність, а також високу стійкість до дії теплових ударів.

Нітриди.

Основними властивостями нітридів, які забезпечують їх застосування в техніці, є висока температура плавлення і висока твердість деяких нітридів (табл. 22).

Високу твердість мають сплави TiN-TiC. Карбонітриди титану мають високу температуру плавлення.

Великі перспективи у боридів, які мають високу твердість і зносостійкість в порівнянні з карбідами.

Нанесення шарів боридів на сталеві, молібденові, вольфрамові елементи бурових коронок дозволяють різко підвищити їх твердість і зносостійкість без істотного підвищення міцності.

Оксиди.

Чистий оксид алюмінію ( $99,5 \text{ Al}_2\text{O}_3$ ) дуже міцне сполучення і досить стійке проти зносу при високих температурах.

Деякі властивості оксиду  $\text{Al}_2\text{O}_3$  приведені в табл. 23.

Таблиця 22

Властивості нітридів титану і цирконію

Властивості	Нітрид	
	TiN	ZnN
Щільність, $\text{г/см}^3$	5,44	7,349

Мікротвердість, Н/мм <sup>2</sup> : ПМТ –30 (30 г)	21600±290	19830±180
За Кнуппом (100 г)	17700	15100
Температура плавлення, °С	2950	2980
Теплоємність (298 К), Дж/моль·К	49783,8	46398
Теплопровідність, Вт/м·К	При 100 °С 2,93	При 200 °С 1,38
	При 600 °С 0,79	При 490 °С 0,75
	При 950 °С 0,59	При 890 °С 0,54
Модуль пружності, Н/мм <sup>2</sup>	256 000	-
Межа міцності при стисканні, Н/мм <sup>2</sup>	1290	1000

Таблиця 23

Властивості Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Властивості	Окис Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Щільність, ρ·10 <sup>-3</sup> , кг/м <sup>3</sup>	390
Температура плавлення, °С	2020
Коефіцієнт термічного розширення, 1/К	9,0 (0-1000 °С)
Теплопровідність, λ, Вт/м·К	2,92
Питома теплоємність, С, Дж/кг·К	870 (100 °С)
Межа міцності при стиску, Н/мм <sup>2</sup>	2980
Межа міцності при розтягуванні, Н/мм <sup>2</sup>	230
Межа міцності при вигині, Н/мм <sup>2</sup>	300-400
Модуль пружності, Н/мм <sup>2</sup>	29200

## 2.4.1. Властивості композиційних матеріалів на основі карбідів, боридів і оксидів.

Абразивні матеріали з мікротвердістю 20000-50000 Н/мм<sup>2</sup> уже давно використовуються як початкові матеріали для створення ріжучого інструменту на основі мінералокераміки. Найбільшу відомість має мінералокераміка на основі Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Однак порівняно низька мікротвердість цього матеріалу (20000 Н/мм<sup>2</sup>) не дозволяє відносити його до надтвердих матеріалів, які значно перевищують тверді одно- і двокарбідні сплави (ВК-8, Т30К4 та ін.).

В останні роки нові види керамік (В-3, ВОК-60, "фельдмюлле" й ін.) значно підвищили свою мікротвердість.

Існуючі види матеріалів цього підкласу можна розбити на наступні різновиди.

Різновид І. До цього різновиду надтвердих мінералокерамічних матеріалів відносять матеріали з найбільшою мікротвердістю.

Один з таких матеріалів це керамічний матеріал на основі карбіду бору. Мікротвердість цього матеріалу складає  $46000 \pm 1000$  Н/мм<sup>2</sup>, міцність на стиск 800-1200 Н/мм<sup>2</sup>, міцність на згин 3000-5000 Н/мм<sup>2</sup>, термостійкість 1500 °С.

Різновид ІІ. До цього різновиду відносять мінералокераміку на основі  $Al_2O_3$  з доданням карбідів тугоплавких металів. Прикладом такого матеріалу може бути В-3 чи ВОК-60. Мікротвердість мінералокераміки В-3, яка має додаток карбіду титану, складає 30000-33000 Н/мм<sup>2</sup>; міцність на стиск 1000-1800 Н/мм<sup>2</sup>, міцність на згин 300-500 Н/мм<sup>2</sup>, термостійкість 1500 °С.

Ця мінералокераміка щодо різальної здібності наближається до такого надтвердого матеріалу, як ельбор.

Різновид ІІІ. До цього різновиду відносять матеріали на основі нітриду кремнію. Прикладом цього різновиду є "Сілініт-Р", понад 97 % якого складає нітрид кремнію, а в якості додатків використовуються окиси алюмінію і магнію. Основні фізико-механічні властивості "Сілініту-Р": мікротвердість за Віккерсом – 32000 Н/мм<sup>2</sup>; міцність на стиск – 2500 Н/мм<sup>2</sup>; міцність на згин – 500-700 Н/мм<sup>2</sup>; термостійкість – 1500 °С.

### **Нові надтверді матеріали за кордоном.**

Основними напрямками досліджень за кордоном щодо створення надтвердих матеріалів та інструменту з них є отримання великих монокристалів алмазу ювелірної якості, збільшення величини монокристалів КНБ, підвищення міцності та термостійкості надтвердих матеріалів, збільшення розмірів полікристалів алмазу і КНБ, розроблення полікристалічних надтвердих матеріалів спеціального призначення.

Головними виробниками надтвердих матеріалів за кордоном продовжують залишатися США, Японія, Великобританія. У цих країнах створена велика кількість надтвердих матеріалів, які відрізняються за хімічним складом та фізико-механічними властивостями і мають різні галузі застосування.

#### **2.5.1. Надтверді матеріали, які виробляють у США.**

Головною фірмою, яка створює і здійснює випуск надтвердих матеріалів, є "Дженерал електрик". Найбільш значні досягнення фірми за останні роки – це розробки по металізації алмазів, створення синтетичних матеріалів, що мають високу міцність і різні удосконалення зв'язок усіх видів.

Останнім часом фірма створила нові різновиди боразону. У доповнення до раніш створених марок І, ІІ, 500 і 510, створені ще три – боразон 550, 560, 570. Вони відрізняються від попередніх підвищеною крихкістю, внаслідок чого в роботу запроваджуються все нові і нові ріжучі краї. Шліфувальні круги з цих матеріалів, які мають малий знос, забезпечують високу продуктивність, яка зберігається при нагріві до 1200 °С. Полікристалічний боразон, на відміну від монокристалічного, може застосовуватися не тільки для обробки твердих матеріалів, що важко шліфуються, а й порівняно м'яких.

Фірма "Дженерал електрик" розробила також полікристалічні матеріали на основі синтетичних алмазів – геосет, формсет, новий компакт.

Геосет (Geoset Drill Diamond) має високу термічну стійкість і не зменшує ріжучих властивостей при нагріві до 1200 °С. Кожне зерно складається з великої кількості кристалів, з'єднаних без компонентів, що зв'язують по типу "алмаз до алмазу". Їх гострі кромки здібні до самозагострювання в процесі роботи.

Виробляють геосет у вигляді плоских трикутників. Застосовується при бурінні м'яких і твердих піщаників, вапняку та граніту.

Формсет (Formset Dresser Diamond) складається з хаотично орієнтованих монокристалів, завдяки чому виявляються його анізотропні властивості. Формсет виробляють у вигляді циліндрів, призм, трикутників масою від 0,5 до 0,9 г. Застосовується для правки, профілювання шліфувальних кругів зі звичайних абразивів.

Новий компакт (New Comrax) – термостійкий надтвердий матеріал, отриманий у результаті спечення мікропорошків синтетичних алмазів. Однорідність розмірів мікрочасток у вузькому діапазоні зернистості забезпечує тонкозернисту мікроструктуру цього матеріалу, що визначає його високу твердість і зносостійкість. З нового компаксу виготовляють волокни для виробництва сталюого, вольфрамового, мідного, молібденового, алюмінієвого дроту малого діаметру з високою якістю поверхні.

#### 2.5.2. Надтверді матеріали, які виробляють у Великобританії.

Найбільшим виробником і постачальником технічних алмазів на світовому ринку є компанія "Де Бірс", яка має більше 20 філій у різних країнах. Компанія розробила ряд нових надтвердих матеріалів.

ABN-600 – кубічний нітрид бору, який складається з великих, сформованих у дуже міцні блоки зернин чорного кольору. З нього виготовляють інструмент, який застосовується для різки чорних металів.

ABN-615 – аналогічний матеріал із спеціальним покриттям. Призначений для виготовлення інструменту на склокерамічній зв'язці.

ABN-660 – порошок кубічного нітриду бору, металізований нікелем (60 мас. %), підвищеної міцності. З нього виготовляють абразивний інструмент на органічному зв'язку, який має значні переваги при роботі у важких умовах, обробці з подаванням поштовхом, маятниковим та глибинним шліфуванням.

Синдакс 3 (Syndax 3) – представник нової групи термостійких полікристалічних синтетичних алмазів – дуже щільний, без пор, з інтенсивним зрощенням зернин матеріал. Його особливістю є те, що фаза, яка зв'язує, залишається складовою частиною готового продукту, а не вилучається при обробці кислотою. Завдяки цьому Синдакс 3 має значно більшу стійкість до ударних та імпульсних навантажень, ніж інші композиційні матеріали на основі алмазу. Він термостійкий до 1200 °С, виготовляється у вигляді вставок кубічної та трикутної форми. Висока щільність матеріалу перешкоджає його окисленню при довготривалому і високому тепловому навантаженні, забезпечує мінімум графітизації. Синдакс 3 ефективний при важких режимах: при глибинному свердлінні, бурінні різних порід від м'яких піщаників до твердого граніту.



### 2.5.3. Надтверді матеріали, які виробляють в Японії.

Фірма "Сева Денко КК" виготовляє в основному надтверді матеріали на основі кубічного нітриду бору.

SBN – порошок практично без домішок (99 % BN) і щільністю 3,48 г/см<sup>3</sup>, твердість за Кнуппом 47 ГПа. Усі його різновиди SBN-F, SBN-S, SBN-T, SBN-SN&TN мають високу міцність, термостійкість, гарні ріжучі властивості.

У 1980 році фірма "Ніппон Фетс енд ойлз" за технологією, розробленою спеціалістами Токійського технологічного інституту, синтезувала новий надтвердий матеріал в'юрцин – (Wurzlin – WBN). В'юрцин отримали шляхом сполучення технології статичного і ударного надвисокого тиску. Спочатку вибуховим засобом синтезують порошок в'юрцитного нітриду бору з розміром зернин 20-100 нм. Потім його спікають при високому тиску. Твердість в'юрцину – 45000 Н/мм<sup>2</sup>, щільність 3,48 г/см<sup>3</sup>. В'юрцин застосовується при обробці сталі, чавуну, корозійностійких і термостійких сплавів з високою швидкістю, великою глибиною різання і подачею.

## 3. НЕМЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ

### 3.1. Полімери.

Класифікація полімерів.

До полімерів відносять складні, як правило, органічні сполуки, які складаються з окремих елементарних ланок – мономерів. Поміж макромолекулами в полімерах зв'язок відносно слабкий. Макромолекули, що складають полімери, мають різну будову. Наприклад:

Блоксополімери –  $\overset{\cdot}{A} - A - A - B - B - B$

Прищеплені сополімери –  $\overset{\cdot}{A} - A - A - A - A - A$   
 $\quad \quad \quad \quad \quad | \quad \quad \quad \quad |$   
 $\quad \quad \quad \quad \quad B \quad \quad \quad \quad B$   
 $\quad \quad \quad \quad \quad | \quad \quad \quad \quad |$   
 $\quad \quad \quad \quad \quad B \quad \quad \quad \quad B$

де А та Б – мономер.

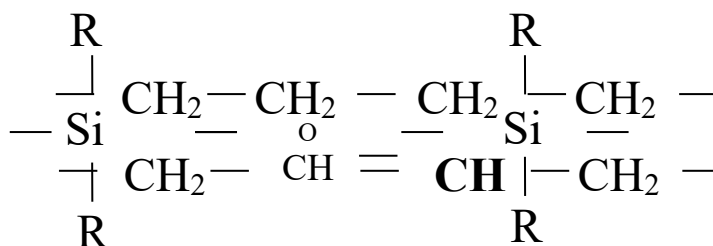
Полімери можуть бути синтетичні та природні.

Синтетичні полімери одержують штучно – хімічним синтезом з низькомолекулярних сполук. Наприклад, поліетилен з етилену. Сировиною є продукти перероблення нафти та кам'яне вугілля.

До природних полімерів відносять природний каучук, смолу дерев, білки, целюлозу, крохмаль, азбест, природний графіт та ін. Ці полімери виділяють переробкою відповідної природної сировини.

Для вивчення властивостей полімерів їх класифікують за структурою та формою макромолекул, фазовим станом, полярністю, теплостійкістю.

За структурою відрізняють:



Карболанцюгові полімери, у яких каркас полімера утворений тільки з атомів вуглецю:

а) насичені

б) ненасичені

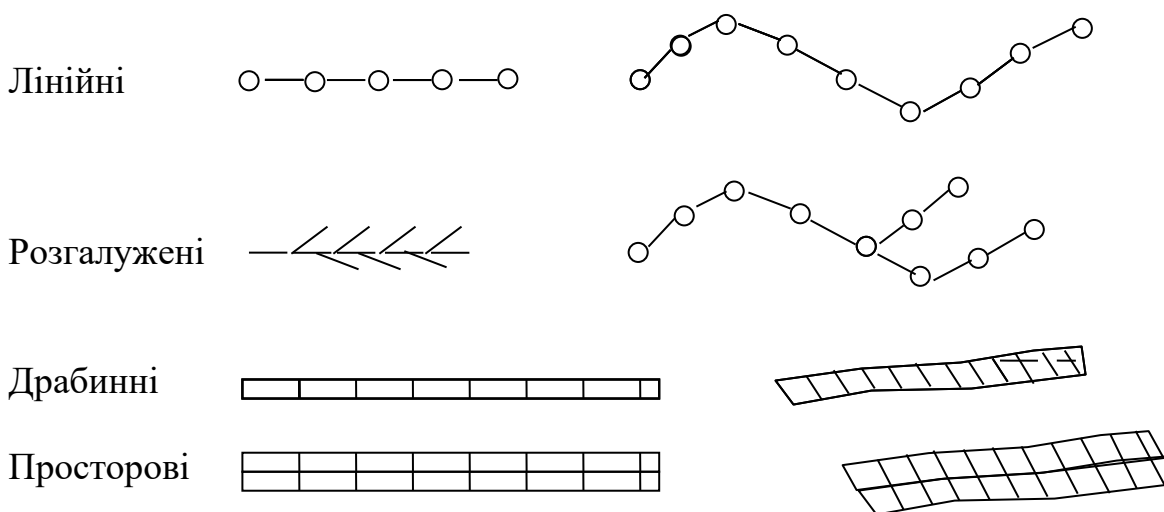
Гетероланцюгові полімери, коли в основному вуглецевому ланцюгові розташовані інші атоми. Наприклад: кисень, фосфор, хлор, кремній істотно змінюють властивості полімерів.

Елементоорганічні сполуки – полімери, у яких основний ланцюг не має атомів вуглецю, вони складаються з кремнію, магнію, титану, алюмінію та інших металів, однак поєднуються з органічними радикалами (метил, етил та ін.). Представниками цієї групи полімерів є кремнійорганічні сполуки з такою структурою:

де R – органічний радикал.

Наявність металів в основному ланцюзі підвищує міцність та теплостійкість полімерів, а наявність органічних радикалів забезпечує пластичність.

За формою макромолекул полімери можуть розділятися на лінійні, розгалужені, драбинні, просторові, паркетні.

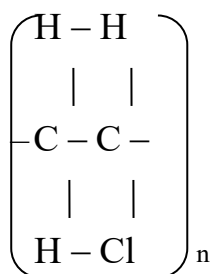


Лінійна форма забезпечує пластичність (поліетилен, поліаміди) та краще іде на волокна та плівки. Драбинна форма дає більшу міцність, жорсткість та теплостійкість.

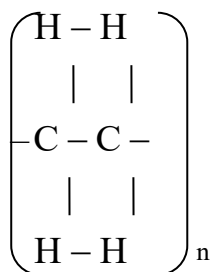
За полярністю полімери ділять на полярні та неполярні. Полярні полімери мають несиметричні молекули і характеризуються наявністю дипольного моменту

$$(\mu = g \cdot l)$$

Наприклад, полівінілхлорид



Неполярні полімери мають або симетричні молекули, або зрівноважені дипольні моменти, коли їх сума дорівнює нулю. Наприклад, поліетилен (формула симетрична):



### 3.2. Пластмаси.

Пластмаси – це неметалічні матеріали із складних органічних речовин, які при повній температурі та тиску можуть переходити в пластичний стан, легко деформуватися з утворенням виробу бажаної форми та розміру, чи за рахунок зміни структури полімерів та хімічних реакцій при формуванні, чи при охолодженні до певної температури разом з формуючим інструментом.

Основою для отримання пластмас є синтетичні полімери, які є складними високомолекулярними сполуками, що складаються з велетенських молекул. Ці макромолекули також складають з елементарних повторюваних ланок – ланцюгів однакового хімічного складу та будови. Молекулярна вага макромолекул, які є основою полімерів, досягає розміру  $10^4$ - $10^6$ .

Найбільше значення для отримання пластмас мають синтетичні органічні полімери: поліетилен, полістирол, різні смоли, у яких основу кожного ланцюга створюють атоми вуглецю. За структурою молекули (крім звичайних полімерів) можуть бути сополімерами, прищепленими полімерами, блоксополімерами та ін.

#### Склад пластмас.

Для отримання тих чи інших видів пластмас з необхідними властивостями до полімерів додають різні речовини:

1. Пластифікатори – для більшої пластичності.
2. Стабілізатори – речовини, поліпшуючі стабільність властивостей.
3. Наповнювачі – з метою ощадливості основи полімерів. Їх кількість досягає 50 відсотків ваги. Крім того, вводять спеціальні наповнювачі, які впливають

на міцність, пластичність, термо- і зносостійкість та ін. властивості пластмас. Наповнювачі можуть бути листові (паперові, бавовняні чи інші тканини та склотканини, шпон), волокнисті (деревне борошно, сажа або порошок, слюда мелена, кварц, гіпс, каолін, регенерат). Наповнювачі позитивно впливають на стабільність розміру виробів, що дозволяє виготовляти армовані металічними деталями складні вузли машин, агрегатів та приладів.

Пігменти чи барвники – для одержання бажаного кольору, малюнка, світлопрозорості виробів.

Роль пігментів інколи виконують наповнювачі, які надають певний колір пластмасовому виробу, наприклад, сажо-чорний, борошно-коричневий та тому подібні.

У деякі пластмаси додають спеціальні добавки, наприклад, затверджувач, каталізатори, мастильні речовини.

#### Класифікація пластмас.

У залежності від поведінки при підвищенні температури пластмаси підрозділяють на термореактивні та термопластичні.

Термореактивні пластмаси мають здібність розм'якшуватися при низьких температурах, приймати різні форми та розміри, але втрачають свою пластичність при температурах пресування та вальцювання внаслідок зміни структури полімера та хімічних реакцій. Виріб стає термостабільним, неплавким при подальшому нагріві, нерозчинним в органічних кислотах. Такі пластмаси використовують одноразово. Термореактивні пластмаси виготовляють на основі термореактивних полімерів, наприклад, фенолформальдегідних смол.

Термопластичні пластмаси розм'якшуються з кожним повторним нагрівом та можуть формуватися, вальцюватися, пресуватися у виробі. Вироби з термопластичних пластмас можуть бути перероблені удруге в інші вироби без зміни фізико-механічних властивостей. До цих пластмас відносять такі, які виготовлені на основі поліетилену, нейлону, капрону, поліамідних смол та ін.

За застосуванням розрізняють пластмаси:

Конструкційні, з яких виготовляють деталі та вузли машин, приладдя хімічного, криогенного та іншого обладнання, наприклад, укладки підшипників, шестерні, втулки, запірну арматуру, корпуси приладів та ін. З цією метою використовують шарові, волокнисті та порошкові термореактивні пластмаси.

Світлопрозорі, котрі використовують для виготовлення приладів та їх деталей, для скління в машинах (літаки, тролейбуси), як замінювачі силікатного скла для приладів, годинникових механізмів, а також для виготовлення трубопроводів для різних рідин, за рухом яких потрібно наглядати. Термопластичні пластмаси типу плексигласу, поліетилену використовують для різних плівок, які застосовують у сільгоспвиробництві, а також для упакування товарів, машин, приладів.

Електроізоляційні, з яких виготовляють ізолятори, побутову електроарматуру, речі побуту та їх деталі. З цією метою застосовують спеціальні, а також типові термореактивні порошкові та термопластичні пластмаси.

Прокладні та ущільнювальні для виготовлення масло-, водо-, газо- та термоущільнювальних виробів (прокладки, ущільнювачі та ін.). Застосовують термопластичні пластмаси спеціального призначення.

Фрикційні та антифрикційні, з яких виготовляють підшипники ковзання, шестерні, гальмові прокладки до машин. Застосовують термореактивні пластмаси з шаровим та волокнистим наповнювачем.

Кислото-упорні та хімічно стійкі, з них виготовляють обладнання, побутові прилади, резервуари та труби різного призначення в хімічній промисловості. Застосовують термореактивні пластмаси з волокнистими наповнювачами та ін.

Облицювально-декоративні, з яких виготовляють м'які покриваючі та оздоблювальні матеріали стін, долівок та стелі. Для цього застосовують пігментовані на різні кольори термореактивні та термопластичні пластмаси.

Теплоізоляційні, що застосовуються в криогенній техніці. Пористі термопластмаси, а також шарові термо-, азбо- та склопластмаси застосовують для термоізоляції гарячих труб і обладнання.

Основні переваги пластмас:

1. Мала питома вага (1,4-2,2 та 0,02-0,05 г/см<sup>3</sup>).
2. Технологічність: легко пресуються, вальцюються, зварюються та ін.
3. Висока корозійна стійкість.
4. Мала теплопровідність.
5. Високі електроізоляційні властивості.
6. Високі механічні властивості.
7. Невелика коштовність, економічність та ін.

### 3.2.1. Загальна характеристика деяких типів пластмас.

#### 3.2.1.1. Термореактивні пластмаси.

Вони широко застосовуються як конструкційні матеріали з різними наповнювачами: шаровими, волокнистими, порошковими.

Шарові термореактивні пластмаси. До цієї групи відносять склотекстоліт, текстоліт, гетинакс, азботекстоліт та ін.

Склотекстоліт – шаровий термопластик. Він стійкий до води, гасу, бензину, мастил, кислот, термостійкий до 350 °С, має високі електроізоляційні властивості. Технологічний: гарно оброблюються різанням, клепаанням та з допомогою клею.

Склотекстоліти випускають в вигляді листів різних розмірів.

Текстоліт – шаровий термопластик на основі бавовняних тканин. Виготовляють у вигляді листів, труб, стержнів різних розмірів. Він стійкий до води, нафтопродуктів. Технологічний. Виготовляють деталі машин, приладів та ін.

Гетинакс – шаровий термопластик із слоїв паперу, насичених фенольними смолами. Гарні електроізоляційні властивості. Виготовляють у вигляді листів, труб.

Азботекстоліт – шаровий термопластик із азбестової тканини. Стійкий до води, нафтопродуктів, термостійкий. Технологічний.

Волокнисті та порошкові термореактивні пластмаси застосовують у різних галузях промисловості – в машино- та приладобудуванні, електротехніці, радіотехніці. До них відносять фаоліт, склволокніти, карболіти.

Фаоліт – наповнювач азбест. Інколи додають графіт чи кварцовий пісок. З фаоліту виготовляють листи, труби, ним футерують резервуари та труби. Стійкий до кислот.

Склволокніти – наповнювачі із склволокна, а в якості полімерів застосовують фенолформальдегідні епоксидні, полісілоксанові та інші смоли. Мають високу міцність та термостійкість, хімічностійкі, гарні електроізолятори. Виготовляють обладнання, труби, резервуари та ін.

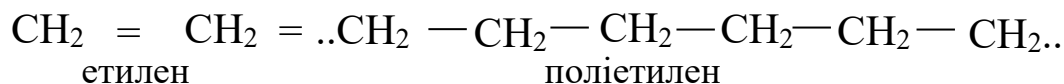
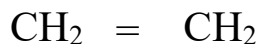
Карболіти – порошковий наповнювач. Основні полімери – формальдегідні смоли. Порошки – дерев'яне борошно, сажа та ін. Вироби міцні, тверді, малопластичні, гарні ізолятори. Вироби застосовують у машинобудуванні та приладобудуванні, електротехніці, радіотехніці та в інших галузях.

### 3.2.1.2. Термопластичні пластмаси.

До них відносять пластмаси, одержані з поліетилену, поліпропілену, поліізобутилену, поліхлорвінілу, поліфторидів та інших смол.

Вони легкі, малотермостійкі, термопластичні, водостійкі, хімічно стійкі, технологічні. Мають високі електроізоляційні властивості.

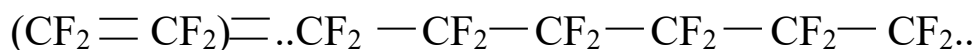
Поліетилен – продукт полімеризації етилену.



З поліетилену виготовляють листи, плівки, різні вироби для роботи в агресивних середовищах.

Вініпласт – продукт термохімічної взаємодії перхлорвінілової смоли (ПХВ), стабілізатора та пігменту. Міцний, хімічно стійкий, малопластичний. Виготовляють листи, труби, прутки. Технологічний. Застосовують у хімічній промисловості. Гарний електроізолятор.

Фторопласт – одержують полімеризацією політетрафторетилену та інших галоїдних похідних етилену:



тетрафторетилен

фторопласт

Антикорозійний матеріал. Стійкий у кислоті та лузі.

Поліаміди – продукти поліконденсації складних органічних кислот.

З поліамідів одержують нейлон, капрон, енаїт та інші пластмаси.

Виготовляють деталі машин та приладів, а також тканини, трикотаж, стрічки, шнури, линви тощо.

Органічне скло – (плексиглас). Відносять до термопластичних матеріалів. Технологічне. Застосовують у літакобудуванні та інших галузях.

Триплекс-скло. Виготовляють з двох листів органічного скла з прозорою плівкою. Застосовують у автомобілях, літаках.

Пористі пластмаси. До них відносять газонаповнені пластмаси, поропласти та пінопласти.

Газонаповнені пластмаси легкі, з малою теплопровідністю.

Поропласти – пори сполучаються поміж собою та з атмосферою.

Пінопласти – звуко- та теплоізоляційні матеріали.

### 3.3. Гума та вироби з неї.

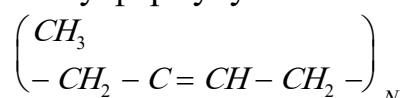
Гумо-технічні вироби виготовляють з сирієї гуми, яка є сумішшю каучуку з сіркою та іншими добавками. Пресовані вироби з сирієї гуми піддають вулканізації. Такі вироби знаходять широке застосування, яке обумовлене її властивостями. Вони еластичні, пружні, газо- та водонепроникні. Вони мають високі електроізоляційні властивості, зносостійкі, стійкі в агресивному середовищі. Однак вони горючі, старіють. Деякі властивості каучукової гуми наведені в табл. 24.

#### Склад гуми.

Сира гума складається з каучуку природного чи синтетичного або з їх суміші, добавок, що вулканізують, наповнювачів, пластифікаторів, пігментів та інших речовин.

Основою природного каучуку є сік (латекс), каучуконосних рослин, наприклад, чорної гевеї.

Природний каучук має хімічну формулу:



де N – рівне декільком тисячам.

Основою синтетичних каучуків є складні органічні сполуки. Уперше синтетичний каучук був одержаний з етилового спирту С.В.Лебедевим, потім з ацетилену, нафти.

Добавками, що вулканізують є сірка, сірчані сполуки та інші речовини.

Активними наповнювачами є сажа, магнезія, окис кремнію, окис цинку, каолін.

Пластифікаторами є парафін, стеаринова кислота, каніфоль, вазелін, дибутилфталат, трикрезилфосфат, масло.

Речовини, котрі запобігають старінню – віск, парафін, альдол, неозонд.

Пігменти-барвники – порошки охри, ультрамарину, п'ятисірчаної сурьми, сірчані барвники, озофарба та інші фарбувальні речовини.

Спеціальні добавки змінюють властивості гуми – збільшують зносостійкість, масло- і бензостійкість, морозостійкість, міцність та ін.

Таблиця 24

Деякі фізико-механічні властивості вітчизняних каучуків  
і застосування виготовленої з них гуми

Група призначення	Тип каучуку	Назва каучуку	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Межа міцності, Н/мм <sup>2</sup>	Відносне подовження, %	Робоча температура, °С	Застосування
Загального призначення	НК	Натуральні,	0,91-0,92	24-34	600-700	80-130	Шини, паси, транспортні стрічки, рукави, ізоляція кабелів і дротів, товарів морського уживання та ін.
	СКВ	Бутадієнові, сантехнічні,	0,9-0,92	13-16	500-600	80-150	
	СКС	Бутадієнстирольні синтетичні	0,92-0,94	19-32	500-830	80-130	
	СКИ	Ізопренові синтетичні	0,91-0,92	215	710-800	130	
Бензомаслостійкі	СКН	Бутадієн-нітрильні синтетичні	0,94-0,97	22-23	450-700	100-177	Паси, транспортні стрічки, рукави, маслощільнювальні прокладки, сальники, манжети, шланги і дюрити
Теплостійкі	СКТ	Кремній-органічні поліоксанові синтетичні	1,7-2,0	3,5-8,0	360	250-316	Вироби, які працюють при температурі від -100 до +300 °С
Хімічно стійкі	Бутил-каучук	Ізобутилізопренові синтетичні	0,91	16-24	680-500	-	Шини, апаратура, яка працює в контакті з кислотами та лугами
Теплохімічно стійкі	СКФ	Фторвмісні синтетичні	1,8-1,9	7-20	200-400	250-316	Вироби, які працюють при підвищених температурах, масло- і бензостійкі світлоозоностійкі та ін.



### 3.4. Деревинні матеріали.

Багаті лісові масиви України визначають використання деревини як конструктивного матеріалу в різних галузях господарювання. Достоїнства деревини: низька вартість, висока міцність, вібростійкість, стійкість до солі, кислот та лугів, масел та газів, низька теплопровідність, технологічність. Недоліком деревини є набрякання у вологому середовищі, гниття, вогнебезпечність.

Для поліпшення властивостей деревини застосовують прочистку, фарбування, хімічну обробку, пресування та раціональні засоби конструювання, урахувавши анізотропію.

Деревина складається з органічних речовин. Вона має 43-54 % целюлози ( $C_6H_{10}O_5$ ), 19-29 % лігніну, решта низькомолекулярні вуглеводи та інші речовини.

З деревини виробляють:

1. Круглий лісоматеріал 1, 2, 3, 4 груп. До першої групи відносять колоди та кряжі для розпилювання на дошки різної товщини, бруски та інші гатунки пиломатеріалів.

До другої групи відносять кряжі для вироблення шпону, який використовується для виготовлення фанери. Для фанери використовують бук, дуб, березу та інші цінні породи деревини.

До третьої групи відносять спеціальну деревину для вироблення целюлози, яка використовується для виготовлення паперу, пороку, пластмас та ін. Папір виготовляють з хвойної деревини – ялини.

До четвертої групи відносять будівельні колоди. Цю групу називають будівельним лісом.

2. Пиломатеріали: дошки обрізні та необрізні, бруски, шпали.

3. Синтетична деревина, у тому числі фанера, дельта-деревина, деревинно-стружкова та деревинноволокниста плита.

### 3.5. Силікатні матеріали.

До силікатних матеріалів відносять скло, кераміку, цемент, цеглу, в тому числі вогнетривку та ін.

#### 3.5.1. Скло.

Силікатним склом називають матеріал, який одержують плавленням гірських порід з добавками. Розплав після охолодження має аморфну будову і прозорий. Скло одержують одночасним плавленням кварцового піску, кальцинованої соди, глинозему, крейди, борної кислоти та ін.

Плавлення проводиться в скловарних печах при 1500 °С, а кварцове скло плавлять при 1700-2000 °С. З розплаву виробляють одержують видуванням, формуванням, прокатуванням. Для зняття напруги формовані вироби піддають відпалу при 300-500 °С з повільним охолодженням.

Класифікація скла.

Промислове скло складне за складом. У залежності від хімічної природи речовини, що утворюють скло, підрозділяють на силікатні (основа  $\text{SiO}_2$ ), алюмосилікатні (основа  $\text{SiO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), алюмоборосилікатні (основа  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$   $\text{SiO}_2$ ) та алюмофосфатні (основа  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

За вмістом модифікаторів скло підрозділяють на лужне, безлужне та кварцове.

За призначенням скло розділяють на технічне та ходове. В свою чергу технічне підрозділяють на оптичне, світлотехнічне та спеціальне.

Оптичне скло має бути високої чистоти, однорідним по складу, міцним.

Світлотехнічне скло має бути високої чистоти та однорідним, мати певні властивості.

До спеціальних різновидів скла відносять кварцове, безосколкове, піноскло, плівочне, ситал та ін.

До ходового скла відносять віконне, дзеркальне, вітринне, армоване, тарне, лампове та ін.

У промисловості та будівництві застосовують інші вироби зі скла, такі, як скловолокно, склотканини та ін.

### 3.5.2. Технічна кераміка.

До кераміки відносять матеріали та вироби, одержані формуванням суміші гірських порід у пластичному стані з подальшим сушенням та відпалом. До них відносять фарфор, фаянс та спеціальну технічну кераміку.

Фарфор виготовляють із суміші порошків каоліну, кварцу, польового шпату з водою.

Фаянс технічний за складом та технологією виготовлення близький до фарфору.

Спеціальна кераміка виготовляється з окисів металів та їх безкисневих сполук. Кераміка в своєму складі має кристалеву фазу, складувну фазу, газову фазу.

У виробництві спеціальної технічної кераміки використовуються окиси  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{BeO}$  та безокисні сполуки металів – карбіди, нітриди, бориди.

### 3.6. Клеючі матеріали.

Клеями зветься складні речовини з органічною основою, за допомогою яких сточують деталі без порушення якості поверхні та геометрії виробів. Клейка заміняє паяння, зварювання, клепання, а також є самостійною незамінною операцією.

Переваги склеювання: можливість з'єднання різних матеріалів між собою в різних сполученнях: корозійно- та термостійкі клеючі шви; герметичні шви, можливість з'єднання тонких матеріалів та ін.

Вади склеювання: низька теплостійкість шва, мала еластичність, низька міцність на відрив.

Основні компоненти клеїв: полімери, розчинники, пластифікатори, наповнювачі, прискорювачі та спеціальні добавки.

Класифікація та види клеїв.

Клеї класифікують за рядом ознак: за піноутворювальною речовиною – на смоляні та гумові; за адгезійними властивостями – на універсальні (БФ) та конкретного застосування (білкові, гумові); за відношенням до нагріву – на термопластичні та термостійкі; за умовами отвердіння – холодного та гарячого склеювання; за зовнішнім виглядом – рідкі пастообразні; за призначенням – конструкційні силові та несилові. Частіше клеї класифікують за плівкоутворювальною речовиною. Деякі марки клеїв, їх характеристики і призначення наведені в табл. 25.

Таблиця 25

## Деякі марки клеїв та їх характеристика і призначення

Основа клею	Марка	Температура склеювання °С	Допустима робоча температура °С	Водостійкість	Застосовують для склеювання
Фенольно-формальдегідна	КБ – 3, ВИАМ – Б3, ВИАМ – Ф9	50-60	60	Добра	Деревини, пластмас
Фенольно-каучукова	ВК – 3 ВК – 4 ВК 32-200	150-200	200-300	Висока	Металів, склопластиків, у силових конструкціях
Фенольно-полівінілацеталева	БФ – 2 БФ – 4 БФ – 6	20-50 180	200-350 200-350	Добра Добра	Металів, пластмас, деревини, тканини, шкіри і склеювання їх з металом
Поліепоксидна	ЕД – 5 ЕД – 6	20	20	Задовільна	Металів і неметалічних матеріалів у несилових конструкціях
Кремній-органічна	ВК – 1 ВК 32-34 К – 153 ФЛС – 43	120-180	60-350	Задовільна	Те ж у силових конструкціях
	ВК – 2 ВК – 8 ВК – 10 ВК – 15	200-300	700-1200	Задовільна	Леговані сталі, титанові сплави, склоазбопластмаси, графіт та ін.
Каучукова	Не вулканізована	20	50	Висока	Монтажні, ремонтні роботи, гумові вироби
	З вулканізацією, наприклад 88 Н	20-50	-60 + 120	Висока	Гуми, гуми з металом

### 3.7. Мастильні матеріали.

Мастильні матеріали використовуються у всіх діючих машинах і механізмах. Вони зменшують знос поверхонь, які труться, підвищують строк служби виробу, знижують витрати на роботу тертя і, отже, підвищують ККД машин і механізмів, охолоджують поверхні, які труться, сприяють виключенню продуктів зносу із зони тертя, запобігають корозії, дозволяють ущільняти рухливі частини деталей машин через спеціальні вузли – сальники.

Матеріали для змащування підрозділяють на масла і мастила. До масел мінеральних дистильатних або синтетичних відносять такі мастильні матеріали, які мають рідку консистенцію при 20 °С. До мастил відносять консистентні матеріали, які складаються з мінеральних або синтетичних масел, загущених милами жирних кислот до напівтвердого стану при 20 °С.

Мінеральні масла. Мінеральні масла отримують з мазуту перегонкою при температурі 450 °С. Отримане перегонкою дистильатне масло очищують сіркокислим способом, селективними розчинниками і землями, що відбілюють від шкідливих домішок: від асфальтно-смолистих речовин, сірчаних сполучень, нафтенних кислот та інших. В очищене дистильатне масло для покращання експлуатаційних властивостей вводять різні присадки, які можна розділити на дві групи: функціональні та багатофункціональні.

#### Присадки функціонального призначення.

До них відносять:

1. В'язкісні присадки – які змінюють в'язкість масел. Наприклад, поліізобутилен, паратон, суперол, ізол та ін.

2. Депресантні, які служать для зниження температури застигання масел. До цих присадок можна віднести: АЗНІІ, сантатур, парафлаз та ін.

3. Антиокислювальні, які збільшують строк служби масел. До них відносяться трибутилфосфат, трифенолфосфат, а також сполучення, які містять фосфор і сірку.

4. Антикоровісні присадки. Додаються до масла, коли в якості вкладишів підшипників використана бронза, свинець, деталі, покриті свинцем, ніобієм, кадмієм або цинком. До таких присадок належать: АЗНІІ-4, НАКС, ЦИАТИМ-336, ЦИАТИМ-330, ЦИАТИМ-331, НІГСМ-4.

5. Миючі присадки сприяють змиву з поверхонь деталей машин продуктів окислення і тим самим попереджують утворення лакової плівки. До цього роду присадок можна віднести ЦИАТИМ-330, солі цинку та ін.

6. Маслянисті присадки підвищують міцність масляної плівки і тим самим зменшують знос поверхонь, які труться. До таких присадок відносяться олеїнова і стеаринова кислоти, ефіри кислот та ін.

#### Присадки багатофункціональні.

Такі присадки змінюють одночасно декілька властивостей масел. До них відносяться:

1. Депресатор АЗНІІ. Він одночасно знижує температуру застигання масла і покращує його текучість при низьких температурах.

2. Присадки АЗНІІ-3, АЗНІІ-4 і ЦИАТИМ-331 мають одночасно миючі та антикоровісні властивості.

3. Присадка Паранокс-56а одночасно покращує антикорозійні, антиокислювальні та миючі властивості масел.

Таким чином, мастильні масла є складними, спеціально розробленими речовинами, які відіграють виключно велику роль у роботі машин і механізмів.

#### Деякі фізико-хімічні властивості масел.

Основними фізико-хімічними властивостями, які визначають якість і призначення масел, є:

- в'язкість – міжмолекулярне тертя рідини;
- зольність – твердий залишок після спалювання масла;
- здатність до коксування – властивість утворювати тверді відкладення (кокс) при повному випаренні масла;
- маслянистість – властивість масла утримуватися на поверхні деталей, що змащують;
- кислотне число – наявність нафтових кислот у маслі, які викликають хімічні реакції на поверхні деталей;
- температура спалаху – гранична найменша температура масла, пари якого в суміші з повітрям спалахують від відкритого вогню;
- температура застигання, при якій масло втрачає рухливість;
- механічні домішки (чистота масла), металевий пилок, пісок, кокс та інші сторонні частинки, які забруднюють фільтри і збільшують знос поверхонь, які труться;
- пенітрація – ступінь густоти масла.

Ці та інші властивості оговорюються у відповідних ГОСТах або технічних умовах на поставку масла.

#### Застосування мастильних масел

У залежності від призначення (застосування) масла поділяють на автотракторні, дизельні, трансмісійні, індустриальні, авіаційні, спеціальні та ін. Окремі групи цих масел (літні й зимові) за температурою спалаху і в'язкості характеризуються даними табл. 26.

Класифікуються масла за ГОСТом 17470-72.

Масла поставляються за ГОСТом 1707-51, 1840-51, 1841-51, 1862-63 та ін.

Для економії відпрацьовані масла підлягають регенерації і повторному використанню.

#### Мастила консистентні.

До консистентних мастил відносять солідол синтетичний (УСс), солідол жировий (УС-2) – універсальні тугоплавкі (УТС), вазелін технічний (УН), універсальне тугоплавке водостійке (УТВ) та ін.

Таблиця 26

Масла і мастила для різноманітних механізмів, станків, пресів

Назва, марка	ГОСТ	В'язкість кінематична при 50 °С в сантістоксах	Температура в °С	Примітки

		Умовна в'язкість в град.	Спа- лаху (не ни- жче)	Застиг- ання (не нижче)	
Легке індустріальне масло					
Велосит, Л	1840- 51	$\frac{4,0-5,1}{1,29-4,40}$	112	-25	Високошвидкісні шпин- делі, шліфувальні станки з малим навантаженням. Окружна швидкість 4,5-6,0 м/с
Вазелінове, Т	1840- 51	$\frac{5,1-8,5}{1,40-1,72}$	125	-20	Менше швидкісні механі- зми. Окружна швидкість 3- 4,5 м/с
Приладове, МВП	1805- 51	$\frac{6,3-8,5}{1,51-1,72}$	120	-60	Амортизатори приладів
Середнє індустріальне масло					
Індустрі- альне 12 (ве- ретенне 2)	1707- 51	$\frac{10-14}{1,86-2,26}$	165	-30	Шпинделі станків з окруж- ною швидкістю до 3 м/с, гідравлічні системи станків
Індустрі- альне 20 (ве- ретенне 3)	1707- 51	$\frac{17-23}{2,6-3,31}$	170	-20	Станки середнього роз- міру, гідравлічні системи
Індустрі- альне 30 (ма- шинне Л)	1707- 51	$\frac{27-33}{2,81-4,59}$	180	-15	Великі та важкі станки, гі- дросистеми
Індустрі- альне 45 (ма- шинне С)	1707- 51	$\frac{38-52}{5,24-7,07}$	190	-10	Важкі станки з малими швидкостями
Важке індустріальне масло					
Циліндрове 45 (цилінд- рове 2)	1841- 51	$\frac{9-13}{1,76-2,15}$	215	+5	Станки великого наванта- ження, малого об'єму, че- рв'ячні передачі важких станків
Автотракторне масло					
Автотракто- рне АК-15 (автол 18)	1862- 63	Не менше $\frac{15}{2,37}$	225	-5	

До мастил для консервації виробів від корозії відносять солідол емульсійний, змазки ЦИАТИМ, вазелін технічний. Консистентні мастильні матеріали мають важливе значення для забезпечення роботи роликів і кульових підшипників кочання. Використовують для цієї цілі, виходячи з умов роботи УС, УТС, УТВ та ін.

Мастила антифрикційні поставляють по ГОСТ 4366-64, 1033-51, 1631-61, мастила, які попереджають корозію – по ГОСТ 3005-51, 7171-63, 6267-59, 11110-64 та ін. Ці мастила можуть частково використовуватися і як антифрикційні. Консистентні мастила регенеруються частково.

### 3.8. Лакофарбові покриття.

Лакофарбовими покриттями називають плівки, які з'являються на матеріалі, що покривають, з металу, деревини, тканини та ін. в результаті висихання нанесеного в рідкому стані лакофарбового матеріалу. Лакофарбові покриття попереджають у металів корозію, а у деревини і тканини гноїння та набухання, збільшують строк служби в декілька разів. Крім того, вони надають виробу бажаний зовнішній вигляд, який забезпечує в ряді випадків спеціальні властивості покриття, наприклад, тепло- і морозостійкість, світлостійкість, низький коефіцієнт тертя та ін.

Лакофарбові покриття можуть наноситися на вироби різноманітними засобами, економічні. Тому вони широко використовуються в різноманітних галузях народного господарства та в побуті.

Основні вимоги, які пред'являються до лакофарбових покриттів: висока адгезія (зчеплення) з поверхнею, яка фарбується; щільність, безпористість; пластичність при достатній міцності і твердості; вологазонепроникливість; теплостійкість, хімічна стійкість; світлостійкість.

Якість та строк служби лакофарбового покриття залежать від його складу, технології і ретельності нанесення, підготовки поверхні, яка фарбується, та умов експлуатації.

Склад лакофарбових матеріалів.

До складу лакофарбових матеріалів входять такі компоненти:

1. Піноутворюючі речовини. Ними можуть бути оліфи, смоли, казеїн, бітуми, рідке скло та ін.

2. Розчинники – рідкі речовини, які призначені для розчину основних складових частин лакофарбових матеріалів. До них відносяться скипидар (продукт перегонки соку хвойних дерев), лаковий бензин або уайт-спірит (перегін нафти з толуолом), ацетон (продукт сухої перегонки дерева), спирти.

3. Розріджувачі – рідкі речовини для розведення лакомастильних матеріалів до певної в'язкості: скипидар, лаковий бензин, толуол, піробензин та ін.

4. Сикативи, або сушительники, для прискорення висихання покриттів. Вони являють собою розчини окислів металів, наприклад,  $\text{CoO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ,  $\text{MnO}_2$  в рослинному маслі (окисли розчиняють при 200-280 °С і отримують солі жирних кислот, які чинять каталітичну дію на висихання масляних і лакомастильних покриттів.

5. Пластифікатори, які надають плівці певні механічні властивості (пластичність, твердість, міцність) при різних температурах. Ними можуть бути різноманітні смоли, каучуки, касторове масло. Частіше використовують смоли – природні (каніфоль, асфальт, шелак) і штучні (бакелітова, гліфталева).

Каніфоль добувають із соку хвойних дерев. Під час її обробки гліцерином при 280 °С отримують ефіргарпіус, який використовують при виробництві лакофарбових матеріалів як піноутворюючий матеріал і пластифікатор.

Асфальт – чорна тверда смола нафтового походження.

Шелак – смола самок деяких комах тропічних країн.

Бакелітова смола – продукт взаємодії фенолу і формальдегіду.

Гліфталева смола – продукт взаємодії гліцерину і фталевого ангідриду.

Акрилова смола – продукт полімеризації ефірів акрилової і метаакрилової кислот.

Ці та інші смоли використовують як плівкоутворюючі речовини і як добавки, що надають пластичність.

6. Пігменти, або фарби, для отримання певного кольору лакофарбового матеріалу. Багато з них одночасно покращують адгезію, підвищують антикорозійні властивості, водостійкість. Як пігменти використовують окисли цинку, титану, заліза, свинцю, а також порошки алюмінію, цинку, цирконію та ін.

7. Спеціальні добавки, які забезпечують особливі фізико-хімічні та ін. властивості лакофарбового покриття.

#### Класифікація лакофарбових матеріалів.

Основним компонентом будь-якого лакофарбового покриття є піноутворюючі речовини. У залежності від нього лакофарбові матеріали підрозділяються на масляні, смоляні, маслосмоляні, хлорвінілові і перхлорвінілові, нітро- і ефірцелюлозні. Треба зауважити, що лакофарбові матеріали з додаванням оліф із рослинних масел (харчовий продукт) використовуються все рідше, у той час як матеріали на основі синтетичних плівкоутворюючих матеріалів використовуються частіше.

Лакофарбові матеріали підрозділяють також на лаки, емалі, ґрунтовки, шпаклівки.

До лаків відносяться суміші смоли або оліфи (частіше обидва продукти одночасно), розчинені у скипидарі з добавкою сикативу.

До емалей відносяться лакофарбові покриття, які складаються із суміші лаку, смоли, пігменту, сикативу і розчинника.

Ґрунтовками називають висихаючу суміш масла, сикативу, смоли, пігменту і розчинника.

Під шпаклівкою розуміють густу масу, яка складається із масла, сикативу, крейди, тальку та каоліну.

#### Масляні лакофарбові матеріали.

У промисловості виготовляють масляні лаки, емалі, ґрунтовки, шпаклівки.

Масляні лаки можуть бути оздоблювальні, тобто застосовуватися для отримання зовнішнього шару лакофарбового покриття, наприклад, лак 17А, який складається з оліфи, ефіргарпіуса, сикативу і скипидару; кристаллак 331 (його



називають часто "мороз"), який здатний утворювати малюнок кристалічної структури. Він складається з лаку ЛМ-35, тунгового масла і ефіргарпіуса.

Масляні лаки виготовляють як напівфабрикати, які використовуються для виготовлення емалей, ґрунтовок, шпаклівок, наприклад, лаки ЛМ-20, ЛМ-25 та ін.

Масляні емалі є оздоблювальними матеріалами.

Вони утворюють основний захисний шар покриття. Їх наносять після ґрунтування зі шпаклівкою або без неї. Емалі в залежності від лаку в їх складі можуть бути масляні або гліфталеві.

Масляні емалі виготовляють марок А-6, А-7 до А-15 різних кольорів і призначення. Так, А-6 – емаль масляна для внутрішніх робіт жовта; А-14 – сталюого кольору.

Гліфталеві або масляно-гліфталеві лаки виготовляють марок МА-224 різних кольорів, сушка гаряча, емаль надає малюнок. ГФ-820 – емаль гарячої сушки з алюмінієвою пудрою, термостійка. ПФ-19Г – різних кольорів, глянцева для зовнішніх робіт і ПФ-19М – різних кольорів, матова. Наносять їх щіткою, пензлем або пульверизатором. Ці емалі висихають при нормальній температурі. Масляні ґрунти. Наносять (пензлем, пульверизатором, зануренням) першим шаром на поверхню, що покривається для кращої адгезії і захисту від корозії. Добрі властивості мають авіаційні ґрунтовки КФ-3, АГ-3а, ГФ-031 жовтого кольору і ГФ-032 коричневого кольору.

Масляні шпаклівки. Виготовляють шпаклівки різних марок. Їх наносять після ґрунтування для вирівнювання поверхні. Товщина покриття 0,5-2,0 мм. Масляні шпаклівки повільно висихають та крихкі. Доброю шпаклівкою є паста із цинкових білил, крейди, залізного сурику і оліфи. Пасту висихають протягом 24 годин за нормальної температури.

Синтетичні лакофарбові матеріали.

Матеріали цієї групи – ґрунтовки, шпаклівки, емалі, лаки – виготовляють на основі смол, перхлорвінілових, нітро- і етилцелюлозних матеріалів, які забезпечують добрі лакофарбові покриття і захист металевих виробів від корозії. Вони за якістю не поступаються лакомастильним покриттям. Промисловість випускає дуже велику кількість різних лакофарбових матеріалів для задоволення потреби виробництва, будівництва, побуту.

Розчинники і змиви.

Для виготовлення лакофарбових матеріалів використовують різноманітні розчинники, розбавлювачі і змиви, які впливають на якість шару і технологію його нанесення на вироби. Як відзначено вище, ними можуть бути скипидар, лаковий бензин, спирти та інші органічні речовини, природні або синтетичні (табл. 27).

Таблиця 27

Розчинники і змиви, які використовують при виготовленні  
лакофарбових матеріалів

Марка	Склад	Призначення
-------	-------	-------------

645	Суміш складних ефірів, кетонів, спиртів, ароматичних вуглеводородів	Розрідження і розчинення нітролаків, нітро-грунтовок, нітроемалей
P-4	Суміш ацетону, бутилацетону, толуолу або ксилолу	Розрідження перхлорвінілових лаків і емалей (ПХВ)
P-5	Суміш кетонів, складних ефірів і ароматичних вуглеводородів	Розрідження емалей і лаків марок ХВЛ
СД (об)	Суміш органічних розчинників з парафіном і нафталіном	Змивання старих масляних покриттів з металів
СД (оп)	Суміш органічних розчинників і ароматичних вуглеводородів	"-"
АТФ	Суміш органічних розчинників з нафталіном, нітроцелюлозою і фосфорною кислотою	Змивання старих багатошарових масляних і нітроцелюлозних лакофарбових покриттів

#### Технологічна схема нанесення покриттів.

1. Підготовка поверхні перед покриттям: обезжирення, очистка від іржі, фосфатування, анодування, пасивація.

2. Грунтування – нанесення першого шару лакофарбового матеріалу для захисту металу від окислення, забезпечення доброї адгезії основного шару з металом.

3. Шпаклівка – нанесення густого лакомастильного покриття на нерівності для вирівнювання поверхонь деталі. Товщина шпакльованого шару може бути 1-2 мм. Нерідко цей шар зачищають механічно: роблять рівним, гладким.

4. Пофарбування виробу – нанесення кінцевого покриття в один або два шари. Фарбування проводиться наступними основними методами:

В електростатичному полі високого напруження, коли розпорошена фарба знаходиться під негативним полюсом, а вироби – під позитивним. Розряд полюсів при нанесенні фарби дозволяє отримати щільний безпористий рідкий шар покриття (фарбування велосипедів, мотоциклів та ін.).

Текучим струменем, коли лакофарбовий матеріал на виріб наноситься наливом у герметичній установці. Після відливу вироби витримують у парах розчинника для зменшення товщини покриття і попередження нерівностей. Відноситься до спеціальних методів.

Розпорошуванням лакофарбового покриття повітряним струменем або під великим тиском без використання повітря. Може бути ручне і автоматизоване. Знаходить широке використання.

Зануренням, коли виріб, який фарбується, після підготовки поверхні занурюють у грунтовку, а після сушки занурюють у фарбу або емаль (кузови легкових автомобілів).

Вручну щіткою, пензлем, валиком. Після грунтування перед шпаклюванням і фарбуванням і після нанесення її на вироби, вони сушаться. Пофарбовані вироби нерідко підлягають оздобленню, лакуванню, поліруванню та забарвленню.

Галузі використання лакофарбових матеріалів приведені в табл. 28.

Таблиця 28

## Галузі використання лакофарбових матеріалів

Найменування матеріалу	Колір	Призначення, характеристика	Матеріали, які покриваються та засіб фарбування
Атмосферостійкі			
Масляні емалі	Різноманітний	Для внутрішніх і зовнішніх робіт. Стійкі до мінерального масла	Металеві вироби, санки, апарати, машини, вагони
Гліфталеві емалі	"-	Для зовнішніх і внутрішніх робіт	Сільгоспмашини, трактори, підйомно-транспортні машини та ін. <i>Пензлем, розпорошувачем</i>
Нітроемалі	"-	Для внутрішніх і зовнішніх робіт. Стійкі короткочасно до мінерального масла	Фарбування деталей, автомашин, тракторів. <i>Пензлем, розпорошувачем</i>
Епоксидні емалі	"-	Для внутрішніх і зовнішніх робіт. Стійкі до періодичної дії мінерального масла, бензину, води	Металеві і дерев'яні конструкції, які працюють не на сонячному світлі. <i>Розпорошувачем</i>
Перхлорвінілові (ПХВ)	"-	Витримують короткочасну дію масла, води	Металеві поверхні хімапаратури. <i>Розпорошувачем</i>
Масляні фарби	"-	Атмосферо- і водостійкі	Металеві і дерев'яні конструкції. <i>Розпорошувачем, пензлем</i>

Продовження табл. 28

Найменування матеріалу	Колір	Призначення, характеристика	Матеріали, які покриваються та засіб фарбування
Масло- і бензостійкі			
Нітрогліфталеві емалі	Різноманітний	Для внутрішніх і зовнішніх робіт	Металеві і дерев'яні вироби. <i>Розпорошувачем, пензлем</i>
Нітроемалі	"-	"-	Металеві вироби. <i>Розпорошувачем</i>

Найменування матеріалу	Колір	Призначення, характеристика	Матеріали, які покриваються та засіб фарбування
Масляно-бітумний лак	-"	-"	Вироби з металу (труби, чавунний вилив). <i>Розпорошувачем, пензлем</i>
Поліамідні лаки	-"	-"	Вироби з металу. <i>Розпорошувачем, пензлем</i>
Гліфталева грунтовка	Частіше коричневий	-"	Поверхні металевих виробів, які торкаються масла. <i>Розпорошувачем, пензлем, зануренням</i>
<b>Термостійкі</b>			
Масляно-бітумні і смоляні лаки та емалі	Різноманітний, частіше чорний	Машини, обладнання Термостійкі до 120-180 °С	Металеві деталі. <i>Розпорошувачем, пензлем, зануренням</i>
Кремнійорганічні емалі та лаки	Різноманітний	Машини, обладнання Термостійкі до 200-350 °С	<i>Розпорошувачем</i>
<b>Хімічно стійкі</b>			
Перхлорвінілові емалі (ХСЕ, ПХВ)	Різноманітний	Хімічне обладнання. Стійкі до кислот і лугів	Хімічна апаратура. <i>Розпорошувачем</i>
Епоксидні емалі й лаки (ОЕП, ЕП та ін.)	-"	Хімічне обладнання	-"

Характеристики лаків і емалей, що поставляють за ГОСТами, надані в розділі Л, класі 2, групі 4 (Л24) покажчика державних стандартів, 1974.

Лакофарбові покриття, які отримують у результаті обробки виробів, класифікуються і позначаються за ГОСТом 9894-61.

Їх класифікують за матеріалом і класом покриття:

Клас	Характеристика зовнішнього вигляду
I	Поверхня гладка, рівна, однотипна, не допускаються дефекти при візуальному огляді
II	Поверхня гладка, рівна, однотипна або з характерним малюнком. Допускаються окремі дефекти на поверхні шару.

- III Малюнок чіткий.  
Те ж, але з допуском більшої кількості дефектів, видимих неозброєним оком, які не впливають на захисні властивості шару.

За умовами експлуатації:

Група покриттів	Позначення
Стійкі усередині приміщення	П
Атмосферостійкі	А
Хімічно стійкі:	
до агресивного газового середовища	Х
до кислотного середовища	ХК
до лугів	ХЩ
до морської води	БМ
до простої води та її пари	В
Термостійкі (60-500 °С)	Т
Маслостійкі	М
Бензостійкі	Б
Стійкі до дії електричного струму, електричної дуги	Е

У ГОСТах оговорюються ступінь блиску покриття і спеціальні умови експлуатації (температура, опромінення та ін.).

На підставі наведеної класифікації встановлюється єдиний порядок позначення покриттів у виробках креслення:

- |  |   |
|--|---|
| – Синя нітроемаль ЕМНЦ-25, по II класу.<br>Експлуатація всередині приміщення.  | ЕМ НЦ-25, синій, II п                               |
| – Сіра емаль ХС-710, лакування лаком ХС-76.<br>По II класу, при впливі кислот до $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  | ЕМ ХС-710, сірий,<br>лак ХС-76, II, ХК, Т 50°       |
| – Червоно-коричнева полівінілбутирольна емаль<br>ВЛ-515. III клас, при впливі нафтопродуктів. По-<br>криття по гальванічному покриттю товщиною 36<br>мікрон. | Кд 36<br>ЄМ ВЛ-515, червоно-ко-<br>ричневий, III, Б |

**Список літератури****РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ****Базові**

1. Матеріалознавство. Навчальний посібник / П.П. Вирвінський. – Дніпропетровськ: НГА України, 2000. – 128 с.
2. Кузін О. А., Металознавство та термічна обробка металів / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк. - Львів : Афіша, 2002. – 304 с.
3. Металознавство: підручник / О. М. Бялік, В. С. Черненко [та ін.]; - 2-ге вид., перероб. і доп. – К. : ІВЦ Видавництво “Політехніка”, 2002. – 384 с.
4. Пахолюк А. П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали : посібник / А. П. Пахолюк, О. А. Пахолюк. – Львів : Світ, 2005. – 172 с., іл.
5. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: навчальний посібник / В. В. Хільчевський, С. Є. Кондратюк, В. О. Степаненко [та ін.]. - К. : Либідь, 2002. - 328 с.
6. Ширін Л.Н. Методичні рекомендації до самостійної роботи з підготовки до контрольних заходів. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2009. – 54 с.
7. Власенко А. М. Основи зварювання / А. М. Власенко. – Вінниця : ВЕТУ, 2007. – 106 с.
8. Власенко А. М. Робоча професія. Ч 1. Технологія металів : [навчальний посібник] / А. М. Власенко, О. Ю. Співак. – Вінниця : ВНТУ, 2003. – 111 с.
9. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів / [навч. посібник для учнів проф. навч. закл.] / В. В. Хільчевський, С. Є. Кондратюк, В. О., Степаненко К. Г. Лопатько. – Київ : Либідь, 2002. – 328 с.
10. Металознавство / [О. М. Бялік, В. С. Черненко, В. М. Писаренко, Ю. Н. Москаленко]. – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – Київ : ІВЦ «Видавництво Політехніка», 2008. – 384 с.
11. Основи металургійного виробництва металів і сплавів / [Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський та ін.] ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. – Київ : Вища школа, 2006. – 503 с.
12. Пахолюк А. П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали : [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / А. П. Пахолюк, О. А. Пахолюк. – Львів : Світ, 2005. – 172 с.
13. Плохій В. С. Модульна система професійного навчання : навч.-метод. посібник / В. С. Плохій, А. В. Казановський. – Київ : Видавничий центр КД «Київська нотна фабрика», 2000. – 286 с.
14. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / В. В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.
15. Савуляк В. І. Ручне електродугове зварювання : [навч. посібник] / В. І. Савуляк, А. Ю. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 130 с.

16. Самохоцький О. І. Металознавство : [підручник] / О. І. Самохоцький, М. Н. Кунявський. – Київ : Машинобудівна література, 1955. – 424 с.

#### Додаткові

1. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / В. В. Попович, В. В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.
2. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков; за ред. проф. С. С. Дяченко. – Харків : ХНАДУ, 2007. - 440 с.
3. Українсько-російський словник з матеріалознавства : у трьох книгах. Кн. 3 / упоряд. : Є. Л. Шведков, Т. Г. Куценок. - К. : Либідь, 1995. - 152 с.
4. Металознавство і термічна обробка металів і сплавів із застосуванням комп'ютерних технологій навчання: підручник / Ю.М. Таран, Є. П. Калінушкін, В. З. Куцова [та ін.]; під ред. Ю. М. Тарана – Дніпропетровськ : Дніпрокнига, 2002. - 360 с.
5. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів / В. В. Атаманюк. – Вінниця : ДОВ «Вінниця», 2003. – 371 с.
6. Власенко А. М. Матеріалознавство для студентів теплоенергетичних спеціальностей : [навчальний посібник] / А. М. Власенко, О. Ю. Співак. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 101 с.
7. Власенко А. М. Матеріалознавство. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт : [навчальний посібник] / А. М. Власенко, О. Ю. Співак. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 52 с.

### 9. ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. <http://do.nmu.org.ua/>

## Зміст

Вступ .....	3
1. Металознавство та термічна обробка .....	4
1.1. Кристалічна будова металів .....	4
1.1.1. Загальні властивості металів .....	4
1.1.2. Атомно-кристалічна структура .....	6
1.2. Пластична деформація та механічні властивості .....	9
1.2.1. Різновиди напруження .....	9
1.2.2. Фізичні основи пластичності та міцності металів .....	10
1.2.3. Методи вимірювання механічних властивостей .....	12
1.2.4. Шляхи підвищення міцності та пластичності металів .....	15
1.3. Залізо і його сплави .....	20
1.3.1. Компоненти і фази в системі залізо-вуглець .....	20
1.3.2. Діаграма стану залізо-цементит .....	21
1.3.3. Вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталі .....	24
1.4. Технологія термічної обробки .....	25
1.4.1. Основні види термічної обробки сталі .....	25
1.4.2. Відпал першого роду .....	26
1.4.3. Відпал другого роду (фазова перекристалізація) .....	27
1.4.4. Загартування сталі .....	28
1.4.5. Відпуск сталі .....	35
1.4.6. Термомеханічна обробка сталі .....	36
1.4.7. Дефекти, які виникають при термічній обробці сталі .....	37
1.4.8. Поверхневе загартування сталі .....	37
1.5. Хіміко-термічна обробка сталі та сплавів .....	41
1.5.1. Фізичні основи хіміко-термічної обробки .....	41
1.5.2. Цементация сталі .....	41
1.5.3. Азотування сталі .....	43
1.5.4. Ціанування та нітроцементування сталі .....	44
1.5.5. Дифузійна металізація .....	45
1.6. Конструкційні сталі .....	46
1.6.1. Класифікація конструкційних сталей .....	46
1.6.2. Вуглецеві сталі .....	47
1.6.3. Леговані сталі .....	49
1.7. Інструментальні сталі .....	58
1.7.1. Матеріали для ріжучих інструментів .....	58
1.7.2. Сталі для вимірювальних інструментів .....	61
1.7.3. Сталі для інструментів холодної обробки тиском .....	61
1.7.4. Сталі для інструментів гарячої обробки тиском .....	61
1.8. Сталі та сплави з особливими фізичними властивостями .....	62
1.8.1. Магнітні сталі та сплави .....	62
1.8.2. Сталі та сплави з високим омичним опором .....	64
1.8.3. Сплави з заданим температурним коефіцієнтом лінійного розширення .....	65



1.8.4. Сплави та сталі з заданими пружними властивостями .....	65
1.9. Чавун .....	66
1.9.1. Сірий і білий чавун .....	66
1.9.2. Високоміцний чавун з кулястим графітом .....	67
1.9.3. Ковкий чавун .....	67
1.9.4. Термічна і хіміко-термічна обробка чавунів .....	67
1.10. Титан і сплави на його основі .....	69
1.11. Алюміній і магній .....	71
1.11.1. Алюміній і сплави на його основі .....	71
1.11.2. Магній і сплави на його основі .....	73
1.12. Сплави на мідній основі .....	77
1.13. Антифрикційні матеріали .....	82
1.14. Фрикційні матеріали .....	87
1.15. Припаї .....	88
2. Надтверді та тугоплавкі матеріали .....	90
2.1. Класифікація надтвердих матеріалів .....	90
2.2. Алмаз. Фізико-механічні та теплові властивості алмазів .....	90
2.3. Властивості нітридів бору .....	94
2.3.1. Властивості кубічного нітриду бору .....	94
2.3.2. Властивості в'юрцитоподібного нітрату бору .....	96
2.4. Композиційні надтверді матеріали на основі карбідів, нітридів, боридів і оксидів .....	97
2.4.1. Властивості композиційних матеріалів на основі карбідів, нітридів, боридів, і оксидів .....	101
2.5. Нові надтверді матеріали за кордоном .....	101
2.5.1. Надтверді матеріали, які виробляють у США .....	102
2.5.2. Надтверді матеріали, які виробляють у Великобританії .....	102
2.5.3. Надтверді матеріали, які виробляють в Японії .....	103
3. Неметалеві матеріали .....	104
3.1. Полімери .....	104
3.2. Пластмаси .....	106
3.2.1. Загальна характеристика деяких типів пластмас .....	108
3.2.1.1. Терморезистивні пластмаси .....	108
3.2.1.2. Термопластичні пластмаси .....	109
3.3. Гума та вироби з неї .....	110
3.4. Деревинні матеріали .....	112
3.5. Силікатні матеріали .....	112
3.5.1. Скло .....	112
3.5.2. Технічна кераміка .....	113
3.6. Клеючі матеріали .....	113
3.7. Мазильні матеріали .....	115
3.8. Лакофарбові покриття .....	118
Список літератури .....	125