

## ЗМІСТ

ВСТУП. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ	5
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ.....	5
1. ВОГНЕТРИВКІ МАТЕРІАЛИ.....	7
1.1. Класифікація вогнетривів і області їх застосування.....	7
1.2. Робочі і фізичні властивості вогнетривів.....	9
1.3. Виробництво і властивості пресованих вогнетривких матеріалів.....	16
1.3.1. Алюмосилікатні вогнетриви.....	17
1.3.2. Кремнеземисті вогнетриви. Динасові вироби.....	20
1.3.3. Магнезійні вогнетриви.....	23
1.3.4. Хромисті вогнетриви.....	25
1.3.5. Вуглеродисті вогнетриви.....	26
1.3.6. Цирконисті вогнетриви.....	29
1.3.7. Окисні вогнетриви.....	30
1.3.8. Карбідні вогнетриви.....	30
1.4. Відносна вартість вогнетривких матеріалів.....	31
1.5. Вогнетривкі розчини і обмазки.....	32
1.6. Вогнетривкі бетони.....	33
2. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....	35
2.1. Призначення і класифікація теплоізоляційних матеріалів.....	35
2.2. Природні теплоізоляційні матеріали.....	36
2.3. Штучні теплоізоляційні матеріали.....	36
3. БУДОВА І ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИПРОБУВАНЬ.....	45
3.1. Кристалічна будова металів.....	45
3.2. Основні властивості металів.....	46
3.3. Механічні випробування металів.....	48
3.4. Металографічні дослідження будови металів.....	51
4. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СПЛАВИ ТА ЇХ РІЗНОВИДИ.....	54
4.1. Діаграми стану сплавів.....	55
4.2. Термічна та хіміко-термічна обробка сталі.....	57
4.2.1. Сутність термічної обробки.....	57
4.2.2. Види термічної обробки.....	61
4.2.3. Хіміко-термічна обробка.....	64
4.3. Класифікація і маркірування сталей.....	65
4.3.1. Вуглецеві сталі. Вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталей.....	65
4.3.2. Леговані сталі. Вплив легуючих елементів на властивості сталі.....	68
4.3.3. Низьколеговані будівельні сталі.....	70
4.4. Корозієстійкі сталі.....	71
4.5. Сталі та сплави для теплоенергомашинобудування.....	73
4.5.1. Закономірності поведінки металевих матеріалів в умовах нагріву і характеристики жароміцності.....	73
4.5.2. Теплостійкі сталі.....	75
4.5.3 Жароміцні сталі і сплави.....	75

4.5.4 Жаростійкі (окалиностійкі) сталі.....	76
4.6. Чавуни і їх різновиди .....	78
4.7. Сплави кольорових металів .....	81
4.7.1. Алюміній та його сплави .....	81
4.7.2. Мідь і її сплави .....	84
4.7.3. Магній та його сплави.....	89
4.7.4 Титан та його сплави.....	90
5.1 Матеріали для ущільнень роз'ємних нерухомих і рухомих з'єднань .....	92
5.2 Лакофарбові матеріали.....	98
5.2.1. Призначення і склад лакофарбових матеріалів.....	98
5.2.2. Види лакофарбових матеріалів та їх коротка характеристика .....	99
5.2.3. Маркування лакофарбових матеріалів .....	103
5.3 Мастильні матеріали .....	105
5.3.1 Класифікація мастильних матеріалів .....	105
5.3.2 Основні характеристики масел. Вимоги до них.....	106
5.3.3 Маркування і асортимент пластичних мастил.....	107
5.3.4. Асортимент, властивості і область застосування енергетичних масел.....	110
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	117

## ВСТУП. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Під конструкційними матеріалами теплоенергетики розуміють матеріали, які використовуються для спорудження (монтажу), ремонтів та технічного обслуговування теплотехнологічного та теплоенергетичного устаткування. Всі конструкційні матеріали класифікуються за чотирма ознаками: за природою, за технологією виготовлення, за умовами роботи, за формою постачання.

*За природою* їх поділяють на металеві, неметалеві, композиційні.

*За технологією виготовлення* на литі, деформовані, випалені, невивипалені, спечені, напилювані, наплавлені, зварні.

*За умовами роботи:* корозієтривкі, жаротривкі, холоднотривкі, антифрикційні, вогнетривкі, теплоізоляційні.

*За формою постачання:* зливки, листи, стрічки, труби, прутки, дріт, профілі (кутники, рейки, швелери тощо), вогнетривкі порошки, штучні, фасонні, блочні, панельні і інші вогнетривкі вироби.

При виборі конструкційних матеріалів для теплотехнологічного та теплоенергетичного обладнання слід чітко визначити умови їх служби у кожному окремому елементі установки. Виходячи із умов експлуатації до конструкційних матеріалів пред'являють певні вимоги. Тому номенклатура конструкційних матеріалів теплоенергетики дуже різноманітна. Найбільші обсяги використання мають метали і сплави чорних та кольорових металів, вогнетривкі та теплоізоляційні матеріали. Достатньо сказати, що потреби в трубній сталі і металоконструкціях для одного парового котла продуктивністю 700 т/год. складають приблизно 2200т.

Металами називають речовини, характерними ознаками яких є висока міцність, пластичність, тепло- і електропровідність та особливий металічний блиск.

Оскільки чисті метали рідко відповідають вимогам виробництва, на практиці більш широко застосовується сплави металів з металами або неметалами. Ці сплави поділяють на дві групи: сплави чорних металів (чавун, сталь) та сплави кольорових металів (дюралюміній, силумін, бронза, латунь та ін.).

Головним недоліком чорних металів є велика густина та низька корозійна тривкість.

Для виготовлення багатьох вузлів котельного устаткування придатні не всі сталі і сплави, що мають високі механічні властивості при кімнатній температурі і широко застосовуються в машинобудуванні. Більшість елементів котельного агрегату і турбіни в процесі експлуатації підпадають під вплив повзучості, структура їх не залишається стабільною, на поверхні утворюється окалина і т.ін. Це знижує їх експлуатаційну надійність і через певний термін їх доводиться замінювати або переводити агрегат на нижчі параметри.

Метали, які застосовуються для виготовлення і ремонту котлів, парових і газових турбін, теплообмінних апаратів, судів і трубопроводів, що експлуатуються під тиском, повинні відповідати вимогам Держтехнагляду, держстандартів (ГОСТ) або спеціальних технічних умов (ТУ).

Із всіх конструкційних матеріалів теплоенергетики найбільш своєрідними вважаються вогнетриви. Це неметалічні матеріали та вироби, що можуть тривало працювати при температурі не нижчій від 1580°C. З них будують топки котлів та внутрішні стінки робочих камер печей, футерують стінки теплоспоживальних пристроїв, димоходів тощо. Вони витримують дію високих температур, газоподібних продуктів згоряння, леткої золи, окалини, розплавлених шлаків та металу, що теплооброблюється.

Багатогранні вимоги та труднощі їх комплексного виконання призвели до створення великої кількості різновидів вогнетривів за їх хіміко-мінералогічним складом.

Для правильного вибору конструкційних матеріалів і відповідних режимів експлуатації конкретних елементів теплотехнологічного обладнання необхідно вивчити і враховувати у практичній діяльності їх фізико-хімічні і механічні властивості, мати чітку уяву про сутність і зміст їх основних характеристик, що наводяться у довідниках.

## 1. ВОГНЕТРИВКІ МАТЕРІАЛИ

**Вогнетривами** називаються матеріали, що використовуються для спорудження та футеровки печей, топків та апаратів, що працюють за умов високотемпературного нагріву (вище 1000°C). Відповідно до Держстандарту вони повинні мати температуру плавлення не нижче 1580°C. Комплекс вимог до вогнетривів відрізняється від вимог до звичайних будівельних матеріалів і характеризує їх здатність до використання в якості конструкційних матеріалів для конкретних виробничих умов.

Основні вимоги, що висуваються перед вогнетривкими матеріалами: висока вогнетривкість, здатність матеріалу протистояти впливу високих температур не руйнуючись, термостійкість і стійкість проти хімічного впливу різних розплавлених середовищ. Сучасна вогнетривка промисловість виготовляє вироби з вогнетривкістю до 2100°C. Винятком є вуглець і його модифікація - графіт, які можуть витримувати температури до 2200 - 3000°C і стійкі до хімічної дії більшості розплавів і шлаків.

### 1.1. Класифікація вогнетривів і області їх застосування

Вогнетриви класифікують за такими основними ознаками:

*в залежності від ступеня вогнетривкості* їх поділяють на три класи:

- 1) вогнетривкі – вогнетривкістю від 1580°C до 1770°C включно;
- 2) високовогнетривкі - від 1770°C до 2000°C включно;
- 3) вищої вогнетривкості – вище 2000 °C.

*в залежності від вогнетривкості* вогнетриви одного і того ж виду поділяються на наступні класи:

Клас	0	A	Б	B
Вогнетривкість не менше °C	1750	1730	1670	1580

*в залежності від фізико-хімічних* властивостей вихідної сировини вогнетриви поділяються на 8 основних груп, які, в свою чергу, поділяються на 18 типів (дивись таблицю 1.1). Кожен із перерахованих типів об'єднує вогнетриви з певним хіміко-мінералогічним складом та властивостями.

**Таблиця 1.1 - Класифікація вогнетривів**

Група вогнетривів	I Кремнеземісті		II Алюмосилікатні			III Магнезіальні			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип	Динасові	Кварцеві	Напівкислі	Шамотні	Високоглиноземісті	Магнезітові (периклазові)	Доломітові	Форстеритові	Шпінельні

**Продовження таблиці 1.1**

IV Хромисті		V Вуглеродисті		VI Цирконисті		VII Окисні	VIII Карбідні, нітридні	
10	11	12	13	14	15	16	17	18
Хромисті	Хромомагнетитові	Графітові	Коксові	Цирконові	Цирконієві	Окисні спеціальні	Карборундові	Інші

в залежності від складності форми і розмірів виділяють вироби: нормальних розмірів прямі (наприклад 230x114x65 мм.) і клинові (наприклад 230x114x65/45 мм.); фасонні прості, складні, особливо складні; блочні масою від 40 до 1000 кг. і панельні масою більше 1000 кг. Области застосування вогнетривів у деяких теплотехнологічних установках наведено в таблиці 1.2.

**Таблиця 1.2 - Области застосування вогнетривів**

Галузь	Область застосування	Вогнетрив
<b>Чорна металургія</b>		
Виробництво чавуну	футеровка доменних печей, повітрянагрівачів (каупери)	шамот
	кладка лещаді, шахт доменних печей, куполів	високоглиноземисті алюмосилікатні
	повітрянагрівачів доменних печей	алюмосилікатні напівкислі
	конвертор з кисневим продувом	доломіт
	жолоби для розплавленого чавуну	графіто-шамотна маса
Сталеплавильна	кладка елементів мартенівських печей, вироби для розливу сталі	шамот
	вагранки, обертові печі	шамотні, багатошамотні
	кладка ванн мартенівських	алюмосилікатні високо-

	печей, футеровка днищ сталерозливних ковшів	глиноземісті
	кладка мартенівських печей, склепінь мартенівських печей, коксових печей	динасові
	- кладка склепінь мартенівських печей - кладка подин - кладка стін електросталеплавильних печей	шпінельні: - магнезітохромитові  - магнезитові - хромомagneзитові
	заправка стін та відкосів мартенівських та електросталеплавильних печей	доломітові
	кладка стін мартенівських та електросталеплавильних печей	магнезіто-доломітові водостійкі
	печі для нагрівання – подина, склепіння стін електросталеплавильних печей, кладка насадок повітрянагрівача	форстеритові  (замість динасу та шамоту)
	стопорні пристрої для розливу сталі	графіто-шамотна маса
	високотемпературні рекуператори, пробки, стакани, муфелі	карборундові
<b>Кольорова металургія</b>		
Нікель, мідь	електропечі для плавки анодного нікелю, мідеплавильні	смолодоломітові
	патрубки, стопори для литва	карборундові
Алюміній	катод, анод	вуглецеві
Цинк (пірометалургійний спосіб), дистиляція, рафінація металів		карборундові
<b>Енергетика</b>		
	котли з рідким шлаковидаленням	карборундові

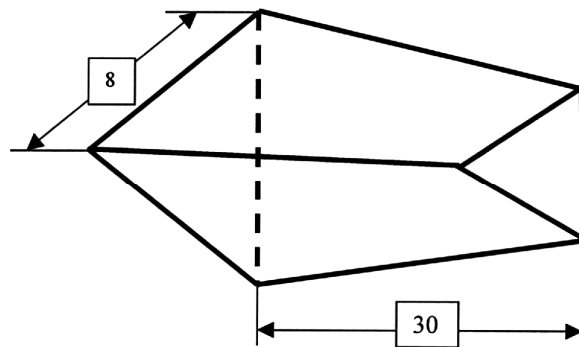
## 1.2. Робочі і фізичні властивості вогнетривів

Для правильного оцінювання і вибору вогнетривких матеріалів необхідно мати уявлення про сутність і зміст основних характеристик, що наводяться у довідниках. Оцінювання і вибір вогнетривів здійснюють в залежності від їх робочих і фізичних властивостей.

*Робочі властивості* визначаються вимогами, що пред'являються до вогнетривів і характеризують придатність даного вогнетриву для тих чи інших умов служби. До основних робочих властивостей відносять: вогнетривкість, будівельну міцність (опір деформації під навантаженням при високих температурах), термостійкість та шлакостійкість.

*Вогнетривкість* – характеризує граничну температуру служби вогнетриву  $t_{\text{вогн}}$  в ідеальних умовах, тобто при відсутності механічного навантаження і фізики-хімічного впливу середовища.

Стандартний метод визначення вогнетривкості полягає в наступному. З випробуваного матеріалу виготовляють дослідні зразки, так звані піроскопи (тригранні зрізані пірамідки). Форма дослідного зразка (стандартного піроскопу) представлена на рисунку 1.1.



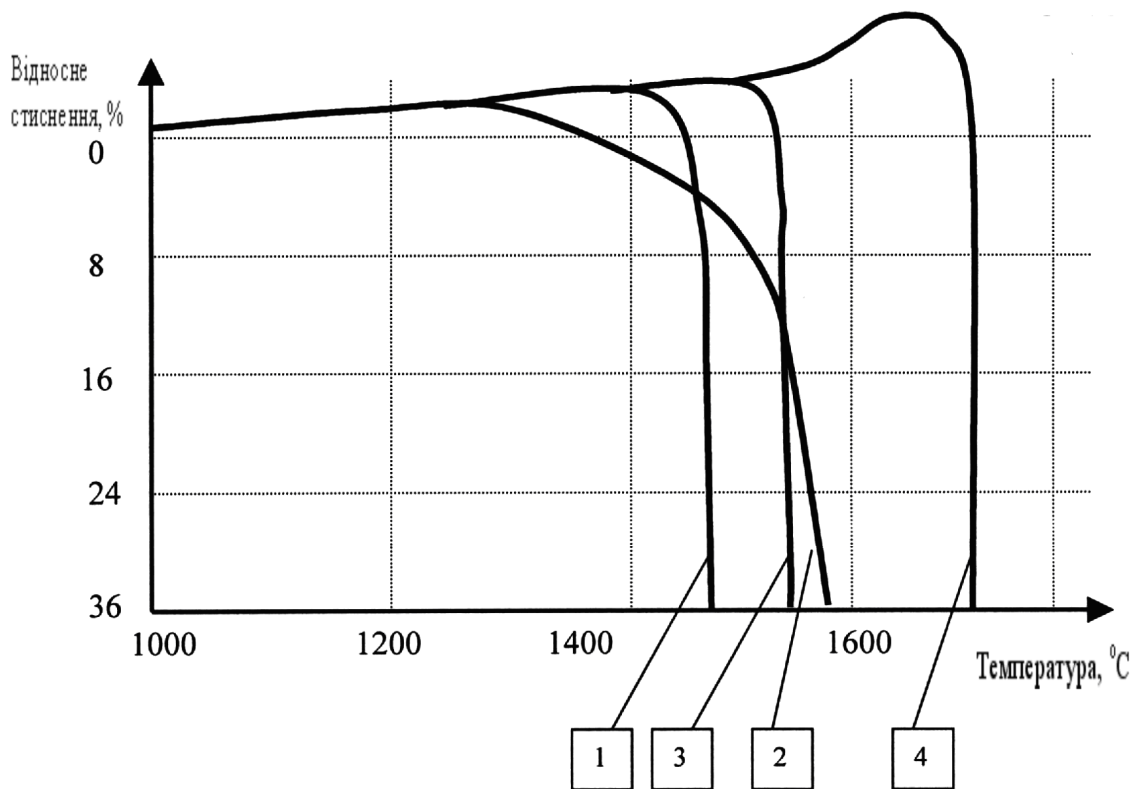
**Рисунок 1.1. Форма стандартного піроскопу.**

Дослідні піроскопи разом із стандартними піроскопами з матеріалу з відомою вогнетривкістю ставлять у піч і нагрівають з певною швидкістю. При нагріванні вогнетривкі матеріали починають розм'якшуватися, в результаті чого піроскопи під дією власної ваги деформуються. Одночасне торкання підставки вершинами стандартного і випробуваного піроскопів свідчить про їх однакову вогнетривкість.

*Будівельна міцність.* Під будівельною міцністю вогнетривких матеріалів розуміють температуру початку розм'якшення дослідного зразка під статичним навантаженням. При роботі печей кладка відчуває стиснення, обумовлене вагою розташованих вище шарів цегли в поєднанні з температурним впливом.

Для визначення будівельної міцності циліндричний зразок вогнетриву діаметром 36 мм і висотою 50 мм під навантаженням у  $19,6 \text{ Н/см}^2$  ( $2 \text{ кг/см}^2$ ) нагрівають в печі з певною сталою швидкістю. При цьому будують графіки залежності відносної деформації  $\Delta h$  зразка від температури. На рисунку 1.2 представлені криві деформації різних вогнетривів під навантаженням  $19,6 \text{ Н/см}^2$ .





**Рисунок 1.2. Криві деформації різних вогнетривів під навантаженням.**  
 1 - хроміт; 2 - шамот; 3 - магнезит; 4 - динас.

Температура, що відповідає зменшенню висоти зразка на 0.5 мм, береться за температуру початку розм'якшення. Випробування закінчують при 40%-й деформації зразка.

Температура початку деформації під навантаженням  $t_{п.р.}$  дає більш надійне уявлення про граничну робочу температуру  $t_{роб}^{MAX}$  вогнетриву (у порівнянні з температурою вогнетривкості), але умови випробувань і служби вогнетривів, звичайно, не співпадають. Дійсно, окрім напружень стискання, в футеровці виникають напруження розтягнення, вигинання тощо. Разом з тим, оскільки по товщині стіни температура не однакова, менш нагріті шари кладки утримують від деформації більш нагріті. Тому результати випробувань дають тільки відносну стійкість вогнетриву в умовах механічних навантажень при високих температурах.

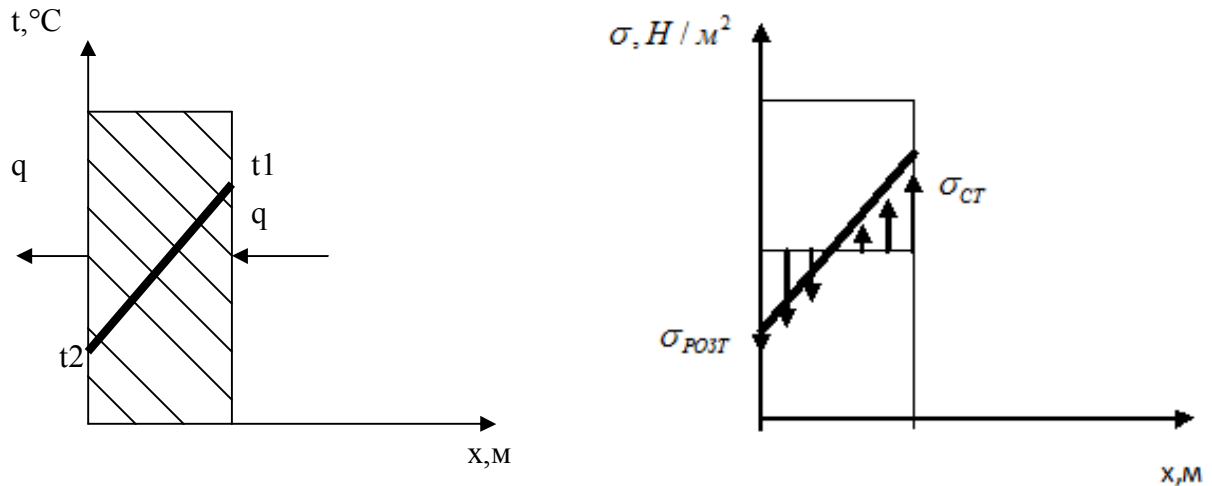
Завжди  $t_{п.р.} < t_{вогн}$ . Різниця  $(t_{вогн} - t_{п.р.})$  характеризує величину інтервалу пластичного стану і залежить від макроструктури вогнетриву.

Деформація вогнетриву з острівною структурою починається при відносно низьких температурах по мірі розм'якшення скловидної зв'язки, причому, інтервал  $(t_{вогн} - t_{п.р.})$  значний. Наприклад, у шамоту  $(t_{вогн} - t_{п.р.}) = (1720 - 1350) = 370^\circ\text{C}$ ; у рядового магнезиту  $(t_{вогн} - t_{п.р.}) = (2200 - 1400) = 800^\circ\text{C}$ .

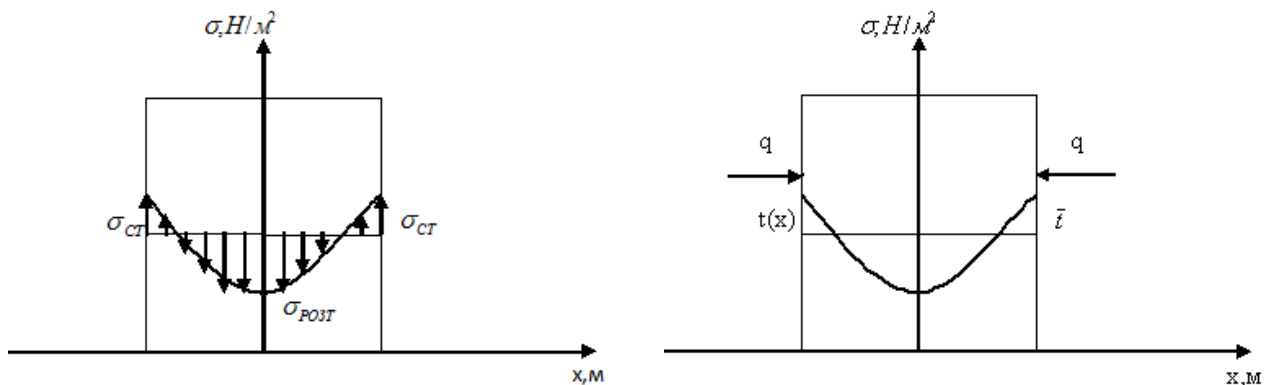
Деформація вогнетриву з каркасною структурою починається при більш високих температурах, і тільки в результаті плавлення кристалічного каркасу

здійснюється більш енергійно і завершується пластичним руйнуванням, а інтервал ( $t_{\text{ВОГН}} - t_{\text{РУЙН}}$ ) малий. Наприклад, у динасу він становить  $(1710 - 1660) = 50^\circ\text{C}$ .

*Термостійкість* – це здатність вогнетриву витримувати без руйнування різкі коливання температур. У футеровці, навіть при стаціонарному тепловому режимі, виникають суттєві термонапруження. На рисунках 1.3 і 1.4 представлений розподіл температур і термонапружень за перерізом кладки при стаціонарному і нестаціонарному тепловому режимі.



**Рисунок 1.3. Розподіл температур і термонапружень за перерізом кладки (стаціонарний тепловий режим)**



**Рисунок 1.4. Розподіл температур і термонапружень за перерізом кладки (нестаціонарний тепловий режим)**

При знакоперемінних теплових впливах (термоциклюванні) здійснюється поступове накопичення залишкових деформацій і мікротріщин, хоча в кожному циклі термонапруження можуть не перевищувати допустимих.

Термостійкість вогнетривів перевіряють наступним чином: зразки, які перевіряються попередньо зважують, а потім торцевими кінцями встановлюють в піч на глибину 50мм; нагрівають до температури  $850^\circ\text{C}$  і витримують при цій температурі 40 хв. Після цього їх видаляють з печі і нагрітими торцями встановлюють в бак з проточною водою на глибину 50 мм. У воді

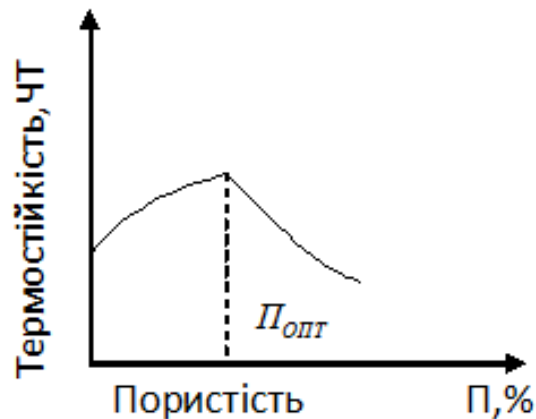
зразки витримують 3 хв., а потім виймають і встановлюють на холодні протилежні торці на стіл, для повітряної відпарки на 7 хв. Такий цикл, що складається з трьох операцій, називають *водяною теплозміною*. Після кожної теплозміни зразки зважують. Випробування продовжують до втрати зразком 20% від початкової маси.

Числом теплозмін, яке обумовило руйнування виробу або втрату маси (20%) характеризують його терmostійкість.

Деякі вогнетриви, наприклад, легковагові і магнезитові, випробовують на терmostійкість повітряних теплозмінах. У цьому випадку цеглу закладають в рухому раму і піддають односторонньому нагріву в стінці, а потім штучному охолодженню в дугтям. Спочатку рама з цеглою служить стінкою печі, яка нагрівається до 1500 – 1600°C, а потім її пересувають для охолодження до вентилятора. Після ряду таких нагрівів і охолоджень терmostійкість їх оцінюють за сумарною втратою їх маси.

На терmostійкість впливають механічні і теплофізичні властивості вогнетривких виробів, макроструктура вогнетриву (пористість, ступінь структурної неоднорідності, розмір кристалічних зерен), форма і розмір вогнетривів, умови служби (температура і швидкість її змінювання в часі).

Підвищену терmostійкість мають вогнетривкі вироби невеликі за розмірами, простої форми, з однорідною крупнокристалічною макроструктурою (мінімум скловидної фази) з оптимальною пористістю 10-18% (пори відіграють роль внутрішніх температурних швів, але знижують міцність виробів), підвищеної міцності і теплопровідності, невеликого коефіцієнту термічного розширення.



**Рисунок 1.5. Вплив пористості на терmostійкість вогнетривких виробів**

**Шлакостійкість.** Вона характеризує здатність вогнетриву протистояти руйнуючому фізико-хімічному впливу розплаву при високих температурах. Найважливішими факторами, що обумовлюють шлакостійкість є:

1. Хімічно-мінералогічний склад вогнетривів і шлаків;
2. Температура процесу;
3. Змочуваність вогнетриву;
4. В'язкість шлаків;

5. Гранулометричний склад і структура вогнетривких виробів;
6. Характер і величина пор.

Мінеральні технологічні матеріали ( шихта, шлаки, окалина, скломаса) складаються в основному з окислів, котрі поділяються на :

- кислотні (загальна структурна формула  $RO_2$  або  $R_2O_5$ ), наприклад,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ ,  $V_2O_5$ ;
- основні ( $R_2O$ ,  $RO$ ), наприклад,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $FeO$ ,  $MnO$ ;
- амфотерні ( $R_2O_3$ ), наприклад,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ .

Історично склалась класифікація шлаків чорної металургії по основності, що представляє собою відношення суми основних окислів до суми кислотних.

$$O = \frac{\sum_i (R_2O + RO)_i}{\sum_i (RO_2 + R_2O_5)_i}$$

В кольоровій металургії, скловарінні і петрургії (кам'яно-ливарне виробництво) прийнята класифікація по кислотності:

$$K = \frac{\sum_i (RO_2 + R_2O_5)_i}{\sum_i (R_2O + RO)_i}$$

Мінеральні матеріали за хімічним складом відповідно класифікації, запропонованій професором Лапіним В.Є. розподіляються на 5 груп.

Група	Кислотність (К)	Основність (О)	Фазовий склад
Ультра-основні	<0.5	>2.5	Превалювання кристалічної фази
Основні	0.5 – 1	2.5 – 1.5	Превалювання кристалічної фази
Середні	1 – 1.5	1.5 – 1	Превалювання скловидної фази
Кислі	1.5 – 3	1 – 0.5	скловидної фази
Ультра-кислі	>3	<0.5	(до 100%)

Взаємодія вогнетриву з мінеральним розплавом являє собою складний фізико-хімічний процес, який є результатом сумісного протікання процесів корозії і ерозії. Ідеально стійкими проти дії шлаків були б вогнетриви такого ж складу, як і шлаки, але вони, не піддаючись роз'їданню шлаками, почали б розплавлятися. Тому такі вогнетриви непридатні.

При виборі вогнетривів необхідно пам'ятати, що основний шлак менш руйнує основні вогнетриви, ніж кислі, і навпаки. Чим ближче основність (кислотність) шлаку і вогнетриву, тим менша взаємодія між ними.

Шлак, що знаходиться в рухомому стані у відношенні роз'їдання вогнетриву більш агресивний, ніж у нерухомому стані. Температура процесу дуже сильно впливає на активність шлаків. З її зростанням знижується в'язкість розплавів, і вони глибше проходять в пори вогнетриву і щілини футеровки.

Із збільшенням пористості, особливо поєднаних між собою пор, зростає поверхня контакту, пропорційно якій збільшується швидкість хімічних реакцій взаємодії шлаку і вогнетриву.

Поблизу граничних робочих температур збільшення температури на 30 – 80°C спричиняє прискоренню зносу вогнетривів у 2 – 10 разів.

Процес ерозії, що виникає при русі розплаву відносно поверхні вогнетриву значно прискорює його зношування, що обумовлено відривом слабо-зчеплених часток з поверхні вогнетриву і оголенням свіжих шарів, притоком до поверхні взаємодії свіжого розплаву і підтриманням сталого концентраційного напору, заміною молекулярної дифузії конвективною, яка приблизно на два порядки більш інтенсивна.

Різноманітні умови роботи вимагають виробництва вогнетривів з широким спектром властивостей, що обумовлює їх різноманітність.

*Під фізичними властивостями вогнетривів* мають на увазі: сталість об'єму, пористість і газопроникність, теплопровідність, теплоємність, електропровідність та змочуваність.

*Сталість об'єму.* У процесі служби в печах вогнетривкі матеріали нагріваються до високих температур. При цьому залежно від типу вогнетривів відбувається їх термічне руйнування, усадка, деформація. Тому велике значення має властивість вогнетривів зберігати первісний об'єм.

Для підрахунку відносного змінювання об'єму вогнетриву при нагріванні користуються формулою:  $\Delta V = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \cdot 100\%$ , де  $V_0$  - початковий об'єм вогнетриву.

Величина  $\Delta V$  може бути як позитивною, так і негативною. Зміна об'єму часто є наслідком не тільки температурного розширення, а й зміни мінералогічного складу вогнетриву, пов'язаного з переходом складових з однієї модифікації в іншу.

Кислі вогнетриви в процесі служби в печах збільшуються в об'ємі, шамот дає усадку, напівкислі вогнетриви займають проміжне положення. Магнетитові і хромомагнетитових вогнетриви зберігають практично сталий об'єм при температурах 1500 - 1550°C.

*Пористість і газопроникність.* Пористість залежить від виду і способу одержання виробу. У литих вогнетривів вона близька до одного відсотку, а у теплоізоляційних досягає 80%. Пори, які знаходяться в об'ємі виробу можуть бути як відкритими, так і закритими. Відповідно розрізняють відкриту і закриту пористість. Їх сума характеризує загальну пористість.

У загальному випадку пористість визначається як відношення у відсотках об'єму, зайнятого порами до всього об'єму виробу. Газопроникність залежить від відкритої пористості, чим вона більш, тим більш пор, що проходять через цеглину від однієї грані до протилежної. Найбільшої ваги застосування щільної цегли набуває у печах з контрольованою атмосферою, у вакуумних печах, а також у плавильних печах, в яких вогнетривка кладка омивається металом і шлаком.

*Теплопровідність.* У більшості випадків потрібно щоб вогнетриви мали малу теплопровідність, тому що при цьому зменшуються втрати тепла через кладку. При менших втратах тепла можливо досягти більш високої температури в робочому просторі печі. В інших випадках, наприклад, у муфельних печах, регенеративних насадках, керамічних рекуператорах, чим більший коефіцієнт теплопровідності, тим краще. У загальному випадку теплопровідність вогнетривів залежить від хімічного та мінералогічного складів, пористості, температури, кристалічної структури.

З підвищенням температури теплопровідність вогнетривів, як правило, зростає. Виняток становлять магнезитові і карборундові вогнетриви.

Вплив кристалічної структури проявляється в такий спосіб: чим більший вміст кристалічної речовини у вогнетриві, тим вище його теплопровідність. Кристалічні речовини більш теплопровідні, ніж аморфні.

*Теплоємність* вогнетривів також є важливою характеристикою, особливо при розрахунках футеровок печей періодичної дії, насадок регенераторів.

*Електропровідність.* При звичайних температурах вогнетриви мають малу електропровідність і є ізоляторами. З підвищенням температури електропровідність збільшується.

Це пояснюється тим, що з підвищенням температури у вогнетриві з'являється рідка фаза, кількість якої зростає. Особливо помітним це явище стає при температурах вище 1000°C. Наприклад, при температурі 1200°C шамот і динас стають електропровідними.

На електроопір вогнетривів впливають також їх склад і пористість. При збільшенні вмісту в них оксидів заліза або титану електроопір знижується.

*Змочуваність* вогнетривких виробів суттєво впливає на опір корозійного впливу зі збоку шлаків і плавильного пилю. Найбільш стійкими у цьому відношенні є вуглецеві вогнетриви, які не змочуються шлаками, але вони не придатні для використання у сталеплавильних і нагрівальних печах. Решта вогнетривів змочується шлаками, при чому найменшою змочуваністю відрізняються вогнетриви, що містять  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

### **1.3. Виробництво і властивості пресованих вогнетривких матеріалів**

Виробництво пресованих вогнетривів складається з наступних стадій:

1) підготовка і обробка сировини (збагачення, роздроблення, помол, попереднє висушування або випалювання або послідовно всі ці операції);

2) приготування формовочної маси (змішування вогнетривкої сировини із зв'язуючими (клеючими) речовинами з метою отримання пластичної маси придатної для формування (пресування) цегли-сирця);

3) формування здійснюють на спеціальних формовочних пресах, а для виробів складної форми трамбуванням ручним способом;

4) сушіння цегли-сирця (із зменшенням вологи механічна міцність сирця підвищується, але разом з тим підвищується і його крихкість. Внаслідок цього при сушінні в сирці залишають частку вологи щоб запобігти появі відбитості кутів і ребер цегли при її транспортуванні);

5) випалювання (при випалюванні спочатку видаляється гігроскопічна волога, потім починаючи з 200°C починають розпадатись карбонати і гідрати, при нагріванні вище 800-1000°C в масі з'являються рідинні фази і починаються процеси перекристалізації компонентів вогнетриву, утворення нових кристалів більш стійких в порівнянні з вихідними). В результаті випалювання утворюється кристалічний зросток вогнетривкого компоненту, який надає виробу міцність при високих температурах.

### 1.3.1. Алюмосилікатні вогнетриви.

До алюмосилікатних вогнетривів належать вироби, що містять більш 30%  $Al_2O_3$  і не більш 65%  $SiO_2$ . В залежності від вмісту  $SiO_2$  і  $Al_2O_3$  алюмосилікатні вогнетриви поділяють на напівкислі (15-30%  $Al_2O_3$ ), шамотні (30-45%  $Al_2O_3$ ) і високоглиноземисті (більш 45%  $Al_2O_3$ ). Вироби, що містять від 46 до 65%  $Al_2O_3$  називають силіманітовими; від 65 до 75% - мулітовими; від 75 до 90% - мулітокорундовими і більш 90% - корундовими. Виготовлення вогнетривів того, або іншого виду залежить від сировини, що використовується.

*Шамотні вогнетривкі вироби.* Одним з видів алюмосилікатної сировини для шамотних вогнетривів є вогнетривкі глини. Зазвичай вогнетривкі глини містять глинозему від 23 до 35% і кремнезему від 50 до 70%. Вогнетривкість глин визначається відсотковим вмістом каолініту  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ , зі збільшенням якого вогнетривкість глин підвищується.

У глині присутні різні домішки: кварц, глинозем, оксиди лужних та лужноземельних металів, оксиди Fe, Ti. Домішки знижують вогнетривкість глин. Глина складається в основному з дрібних часток, розмір яких близький до величини колоїдних часток, що обумовлюють пластичність і адсорбційну здатність глин.

Вміст гігроскопічної вологи в глинах в залежності від їх природи змінюється від 1 до 20%. Зі збільшенням вільної води в глинах до певної межі пластичність їх збільшується, вони вільно піддаються обробці, тобто легко формуються. Але зі збільшенням води понад певної норми, пластичність глин знижується, вони стають липкими і розріджується.

При висушуванні відформованих виробів з глин при 110°C до повної втрати води, вони тверднуть, зберігаючи форму. При сушці з температурою 110°C не відбувається структурних змін у молекулі  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  і в інших подібних йому мінералах, тому фізичні властивості глин залишаються колишніми. Тільки при прожарюванні глин і каолініту до 500 - 800°C структура мінералу руйнується, глини повністю втрачають пластичність, що при подальшому зволоженні не відновлюється.

При випалюванні глин відбувається руйнування гідратних форм мінералів, тобто видаляється кристалізаційна вода і відбувається спікання частинок.

По мірі нагрівання глин понад 800°C, зазвичай до температури 1360 - 1400°C, їх випалення супроводжується поступовим розм'якшенням під впли-

вом плавлення домішок, які з наближенням до кінцевих температур випалу переходять в краплиннорідкий стан і служать зв'язуючим матеріалом. Він обволікає частинки глини, ущільнює масу і цементує її в черепок.

Випалена глина називається шамотом. На першій стадії випалу при температурі 120-200°C видаляються залишки гігроскопічної вологи. На другій стадії при температурах від 200 - 900°C і вище окислюються органічні включення і з'єднання заліза, відбувається розкладання карбонатів і сульфатів. На четвертій стадії при температурах 1300 - 1400°C відбуваються пірохімічні реакції з утворенням стійких мінеральних форм.

Підвищення температури випалу здійснюється зі швидкістю 12-20 град/год.

При виробництві шамоту застосовують пластичний і напівсухий методи пресування. При першому способі виготовлення формовочна маса складається з 50-60% шамоту і 50-40% вогнетривкої глини. Вологість формовочної маси 16-25%. Перемішану масу пресують у вигляді заготовочного безперервного бруса, який потім розрізають на брикети близькі за формою до готових виробів. Брикети допресовують під тиском 295-590Н/см<sup>2</sup> (30-60 атм). При напівсухому методі пресування склад маси не міняється, але вологість її знижується до 7-9% і пресування здійснюється під більшим тиском. Перевага другого способу у тому, що усадка під час обпалу не більш 2-3%. Вироби отримують більш міцними, щільними, термостійкими майже ідеальної форми.

Сирець, отриманий по одному із способів потім сушать і випалюють. Кінцева температура випалювання не перевищує 1400°C. Шамотні вироби містять від 30-45% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Робочі властивості шамотних виробів:

Вогнетривкість  $t_{\text{вогн}} = 1580-1730^{\circ}\text{C}$ ;

Температура початку руйнування  
 $t_{\text{n.p.}} = 1300-1400^{\circ}\text{C}$ ;

Гранична робоча температура  
 $t_{\text{роб.}}^{\text{max}} = 1200-1400^{\circ}\text{C}$ ;

Пористість  $\text{П} = 20-25\%$ ;

Термостійкість 50 теплостійкості.

Марки шамоту загального призначення:

- ША - шамот класу А, містить Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- 38-40%, SiO<sub>2</sub> до 56%,  $t_{\text{вогн}}$  не менш 1730°C.
- ШБ - шамот класу Б, містить Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-35-38%, SiO<sub>2</sub> до 60%,  $t_{\text{вогн}}$  не менш 1670°C.
- ШВ - шамот класу В, містить Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 36%, SiO<sub>2</sub> до 60%,  $t_{\text{вогн}} = 1580^{\circ}\text{C}$ .



Марки шамоту специфічного призначення:

- Цегла марок ШПД-39, ШПД-41, ШПД-43 (цегла доменна) - для кладки доменних печей;
- Цегла марок ШКУ-32, ШКУ-37, ШКУ-39 (цегла ківшева) - для футеровки сталерозливних ковшів;
- Цегла марок ШАВ, ШАВ-33, ШБВ-30 (цегла ваграночна) - для футеровки вагранок;
- Цегла марок ШСП-32 (стопорні трубки, пробки та стакани) - для розливу сталі із ковша;
- Цегла марок ШГСП (пробки і стакани шамотно-графітові) - для розливу сталі із ковша.

Алюмосилікатні вогнетриви стійкі проти середніх і кислих розплавів, але не стійкі проти основних. Із збільшенням вмісту  $Al_2O_3$  якість алюмосилікатних виробів від напівкислих до мулітокорундових зростає: вогнетривкість збільшується від  $1580^{\circ}C$  до  $1650^{\circ}C$ ,  $t_{п.р.}$  з  $1300^{\circ}C$  до  $1650^{\circ}C$ , а також поліпшується термостійкість і шлакостійкість, але разом з цим суттєво зростає і вартість.

*Високоглиноземисті вогнетривкі виробы.* З підвищенням вмісту  $Al_2O_3$  при випаленні утворюються муліт  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  і корунд  $Al_2O_3$ . Ці елементи вогнетривкого черепка підвищують його хімічну стійкість по відношенню до основних і кислих шлаків, вони ж визначають високі хімічні та механічні властивості вогнетривів. Особливістю виробництва високоглиноземистих виробів є необхідність тонкого подрібнення технічного глинозему до порошку  $<60$  мкм, що підвищує активну поверхню при спіканні  $Al_2O_3$ . Сполучним матеріалом служить глина, яка теж подрібнюється до частинок діаметром 0,5 мм. Високоглиноземиста маса що йде на виготовлення брикетів, складається з 80%  $Al_2O_3$  і 20% вогнетривкої глини. Цю суміш ретельно перемішують в сухому стані і потім зволожують. Далі брикетну масу пропускають через стрічковий прес і отримують брикети, які після сушіння направляють на випалювання. Випалювання здійснюють у обертових трубчастих печах при температурі  $1700^{\circ}C$ . З метою зниження температури спікання глинозему вводиться добавка мінералізаторів (наприклад,  $TiO_2$  2-3%, що забезпечує спікання вже при температурі  $1500^{\circ}C$ ). Шамот, отриманий після випалу брикетів подрібнюють до певного зернового складу.

Після добавки складових компонентів (включно  $Fe_2O_3$ ) подрібнену масу пресують в цеглу-сирець, висушують, а потім випалюють при температурі  $1550-1600^{\circ}C$ . Тривалість випалювання триває близько 128 годин.

Вироби, які містять 73%  $Al_2O_3$  і 0,7%  $Fe_2O_3$  мають наступні властивості:

Межа міцності $\sigma = 90-120 \text{ МН/м}^2$ ;
Вогнетривкість $t_{\text{вогн}} = 1840^\circ\text{С}$ ;
Температура початку руйнування $t_{\text{н.р.}} = 1580^\circ\text{С}$ ;
Температура кінця руйнування $t_{\text{к.р.}} = 1790-1800^\circ\text{С}$ ;
Пористість $\text{П} = 16-20\%$ ;
Термостійкість 25 теплоступнів.

Виробництво різноманітних марок мулітокорундових виробів здійснює ВАТ «Запорожогнеупор».

Область застосування :

- МКВ-72 (мулітокорундовий), для кладки повітрянагрівачів і повітропроводів гарячого дуття доменних печей;
- МКС-72 (корундовий високоглиноземистий), для кладки різноманітних теплових агрегатів;
- МККС-72 (мулітовий и мулітокорундовий), для футеровки сталерозливних ковшів.

### 1.3.2. Кремнеземисті вогнетриви. Динасові вироби.

Динас - вогнетривкий матеріал, який містить не менш 93%  $\text{SiO}_2$ , виготовлений шляхом випалювання сирцю відформованого з кварцових порошків на вапняковому або іншому зв'язуючому при температурі, яка сприяє поліморфному перетворенню кремнезему-кварцу в тридиміт або кристобалит.

При розробці технології виробництва динасу врахована властивість кремнезему переходити під впливом температури з однієї кристалічної модифікації в іншу з різкою зміною свого об'єму. Встановлено, що кремнезем, не змінюючи свого хімічного складу може існувати в семи різних кристалічних модифікаціях. При цьому різні кристалічні форми кремнезему відрізняються один від одного щільністю, коефіцієнтами розширення, світлопереломлювання і твердістю. Дані форми  $\text{SiO}_2$  отримали назви, відповідні кристалічним формам кремнезему, які зустрічається в природі: кварцу, тридиміту і кристобалиту.

Під впливом температури в кремнезему відбуваються два види структурних перетворень. Перший вид змін структури  $\text{SiO}_2$  відбувається усередині головних форм: кварцу, тридиміту і кристобалиту. Протікають ці перетворення з великою швидкістю за наступними схемами:

- |  |         |                  |            |
|--|---------|------------------|------------|
| 1. $\beta$ - кварц $\Leftrightarrow$ $\alpha$ - кварц  | 0-575°C | 575-870°C        |            |
| 2. $\gamma$ - трідіміт $\Leftrightarrow$ $\beta$ -трідіміт $\Leftrightarrow$ $\alpha$ – трідіміт | 0-117°C | 117-163°C        | 163-1470°C |
| 3. $\beta$ - кристобаліт $\Leftrightarrow$ $\alpha$ - кристобаліт                                | 0-180°C | 180-270°C і вище |            |

Другий вид структурних перетворень кремнезему пов'язаний з переходом від однієї головної форми до іншої і протікає дуже повільно за схемами:

- |   |             |
|---|-------------|
| 1. $\alpha$ - кварц $\Leftrightarrow$ $\alpha$ - трідіміт       | 1000-1420°C |
| 2. $\alpha$ - кварц $\Leftrightarrow$ $\alpha$ - кристобаліт    | 1000-1470°C |
| 3. $\alpha$ - трідіміт $\Leftrightarrow$ $\alpha$ - кристобаліт | 1470-1600°C |

Зазвичай перетворення починаються всередині головних форм. Зазначені температурні межі відповідають стійкому існуванню даних кристалічних форм.

Перетворення кристалічних форм кремнезему та пов'язані з цим зміни об'єму вогнетриву, призводять до порушення міжкристалевих зв'язків. Тому при різких коливаннях температур в динасових виробках з'являються тріщини, тобто термостійкість динасових виробів мала. При поганій термостійкості динасові вироби володіють іншими, позитивними якостями, високою вогнетривкістю (до 1720°C) і більш високою температурою початку деформації (до 1660°C).

В природі майже завжди кремнезем зустрічається в модифікації  $\beta$ -кварцю.  $\beta$ -кварц густиною  $\rho=2.65$  г/см<sup>3</sup> при нагріванні до 573°C перетворюється в  $\alpha$ -кварц з густиною  $\rho=2.583$  г/см<sup>3</sup>. В результаті цього перетворення питомий об'єм збільшується на 4,6%. Якщо нагріти  $\alpha$ -кварц вище 1000°C (приблизно до 1100-1400°C, то він переходить в  $\alpha$ -кристобаліт з  $\rho=2,229$ г/см<sup>3</sup>, питомий об'єм збільшується на 13,65%). Але в присутності мінералізаторів (плавнів) які вводять в шихту з метою утворення рідкої фази при випалюванні кварц буде підлягати перетворенню не в  $\alpha$ -кристобаліт, а в  $\alpha$ -трідіміт з  $\rho=2,228$ г/см<sup>3</sup>. Тобто питомий об'єм в порівнянні з кварцом збільшується на 13,68%. Однак це перетворення здійснюється тільки до температури 1470°C, а при температурі, вищій за цю  $\alpha$ -трідіміт переходить в  $\alpha$ -кристобаліт із зменшенням питомого об'єму на 0.045%. Із сказаного видно, що трідімітний різновид SiO<sub>2</sub> характеризується найменшим змінюванням питомого об'єму, тому при випалюванні динасових виробів намагаються отримати SiO<sub>2</sub> в трідімітній фазі (контроль по  $\rho=2.228$  г/см<sup>3</sup>).

У виробництві динасів використовуються кварцити, що представляють собою мінеральні утворення з дисперсних зерен кварцу, пов'язаних аморфним кремнеземом. До складу кварцитів, крім кремнезему входять і інші домішки. Хімічний склад кварцитів наступний: 96-99%  $\text{SiO}_2$ ; 0,5-1,9%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 0,4-1%  $\text{CaO}$ ; 0,5-1%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;  $\text{MgO}$  (сліди).

Підготовка шихти проводиться змішуванням кварциту підібраного granulometricкого складу з вапняним молоком. На початку змішування шихти здійснюють у сухому стані. Потім в шихту заливають вапняне молоко і змішування продовжують 10-15 хв.

Після пресування у динасових виробках міститься 8,5% вологи. Для видалення води і підвищення міцності їх сушать в тунельних сушарках. При сушінні підтримується температура 150-300°C У висушених виробках вміст вологи не повинен перевищувати 2%. Після сушіння вироби випалюють.

Робочі властивості динасових виробів:

Вогнетривкість  $t_{\text{вогн}} = 1690-1720^\circ\text{C}$ ;

Температура початку руйнування  
 $t_{\text{n.p.}} = 1640-1660^\circ\text{C}$ ;

Гранична робоча температура  
 $t_{\text{роб.}}^{\text{max}} = 1650-1700^\circ\text{C}$ ;

Пористість  $\text{П} = 20-25\%$ ;

Термостійкість  $\leq 4$  тепломін.

За показниками якості розрізняють динасові вироби:

- ДБУ - динасові вироби ущільнені ( $t_{\text{вогн}}$  не менш  $1710^\circ\text{C}$ );
- ДО-1- вироби динасові звичайні першої групи ( $t_{\text{вогн}}$  не менш  $1710^\circ\text{C}$ );
- ДО-2 - вироби динасові звичайні другої групи ( $t_{\text{вогн}}$  не менш  $1690^\circ\text{C}$ ).

За призначенням розрізняють динасові вироби марок:

- ДМ - для кладки мартенівських печей та інших теплових агрегатів;
- ДН - для кладки нагріваючих печей та інших теплових агрегатів;
- ДВ - для кладки насадок, стін, куполів, верха камери горіння, штуцерів та повітряпроводів гарячого дуття.

Виробники: ВАТ «Первоуральський динасовий комбінат», ВАТ «Красногорський огнеупорний завод», ВАТ «Красноармейський динасовий завод».

Динас - ультракислий вогнетрив, що містить 93-97%  $\text{SiO}_2$  і не більш 2%  $\text{CaO}$ . Добре протистоїть корозійному впливу кислих шлаків і не стійкий проти дії основних шлаків. В зв'язку з поліморфними перетвореннями в динасі (при обпалі виробів, вони не проходять до кінця) термостійкість його до  $600^\circ\text{C}$  мала, а при більш високих температурах збільшується, тому динасові футеровки не повинні охолоджуватись нижче  $600^\circ\text{C}$ .

Розігрів печей, які мають динасову футеровку від 0 до 600°C здійснюють з невеликою швидкістю ( $\leq 12$  град/год), а потім при температурах більших 600°C із значними швидкостями (25-50 град/год).

При поганій термостійкості динасові вироби мають інші позитивні якості: достатньо високу  $t_{вогн}$  (до 1720°C);  $t_{н.р}$  у них вище ніж у хромомagneзиту приблизно на 150°C, а в порівнянні з шамотом на 240-340°C. Тому він є одним з кращих вогнетривів для розпірних(арочних) склепінь (дозволяє перекивати великі прольоти - до 10-11м.).

Застосування динасу: склепіння і стіни печей (мартенівських, коксових, електросталеплавильних); насадки регенераторів і кауперів у високотемпературних зонах (верхні ряди насадок з температурою  $\gg 600^\circ\text{C}$ ); купола кауперів.

### 1.3.3. Магнезіальні вогнетриви

Сировиною для виробництва магнезіальних вогнетривів служить дефіцитний природний мінерал – магнезит  $\text{MgCO}_3$ , в якому міститься 48% окису магнію. Магнезіальні вогнетриви мають високу вогнетривкість, але помірну і низьку термостійкість.

В металургії застосовують магнезитові вогнетриви двох видів: у вигляді штучних виробів і у вигляді металургійного порошку.

Зустрічаються два види карбонату магнію: аморфний магнезит з малою кількістю домішок і кристалічний, в якому містяться домішки  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  і ін. Зазвичай зміст  $\text{FeCO}_3$  в магнезиті доходить до 8%, при випаленні залізо виконує роль мінералізатору і забарвлює виріб у бурий колір. Магнезитова сировина підлягає випалюванню до повного розкладання і видалення  $\text{CO}_2$ .

Сирий магнезит піддають випалюванню, в процесі якого при температурах 550-650°C  $\text{MgCO}_3$  розкладається ( $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$ ) з одержанням каустичного магнезиту, в якому  $\text{MgO}$  знаходиться у вигляді дрібних кристалів периклазу. Такий розсипчастий структурний стан обумовлює високу активність каустичного магнезиту до гідратації.  $\text{MgO}$  при кімнатній температурі здатний взаємодіяти з розчинами солей, і утворювати кристалічний зросток гідрату  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Ця властивість дозволяє застосовувати каустичний магнезит для виготовлення магнезіальних бетонів. Спінкий магнезит одержують шляхом випалювання при 1550-1650°C. При цьому  $\text{MgO}$  майже повністю втрачає цементні властивості. Спінкий магнезит служить сировиною для виготовлення металургійного порошку і штучних виробів.

Металургійний порошок для сталеплавильних печей являє собою спінкий магнезит з розмірами зерен від 2 до 15 мм. По ТУ металургійний порошок у залежності від хімічного складу ділиться на класи:

	<b>MgO</b>	<b>CaO</b>	<b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>
I кл.	Не менш 88	Не більше 4	Не більше 4
II кл	85	6	6
МПЭП	не менш 88	Не більше 4	Не більше 4

Марка МПЭП (металургійний порошок для електросталеплавильних печей) відрізняється від 1-го класу розмірами зерен( 0.8 – 8мм).

Металургійним порошком наварюються і заправляються поди сталеплавильних печей.

Виробництво штучних магнезійних вогнетривів здійснює ВАТ «Запорозогнеупор» та ВАТ «Пантелеймоновский огнеупорный завод».

Робочі властивості штучних виробів:

Магнезит звичайний	Магнезит термостійкий
Вогнетривкість $t_{вогн} = 2000^{\circ}\text{C}$ ;	Вогнетривкість $t_{вогн} = 2000^{\circ}\text{C}$ ;
Температура початку руйнування $t_{н.р.} = 1540-1580^{\circ}\text{C}$ ;	Температура початку руйнування $t_{н.р.} = 1500-1600^{\circ}\text{C}$ ;
Пористість П = 23-26%;	Пористість П = 13-26%;
Термостійкість $\leq 4-9$ теплозмін.	Термостійкість = 100 теплозмін.

Марки магнезиту:

**МУ – 91** (магнезитовий вогнетрив ущільнений, MgO=91%)

**МО – 92** (магнезитовий вогнетрив звичайний, MgO=92%)

**МУ – 89** (магнезитовий вогнетрив ущільнений, MgO=89%)

**МО – 89** (магнезитовий вогнетрив звичайний, MgO=89%).

Це основний вогнетрив стійкий проти основних і нестійкий проти кислих і середніх розплавів. Широко застосовується у чорній і кольоровій металургії, в технологічних процесах з основними шлаками, для кладки стін і поду електросталеплавильних печей, а також подин, нагрівальних колодязів і методичних печей.

*Доломітові вогнетриви* виробляються з менш дефіцитної і дорогої сировини(  $n \cdot \text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ ), але властивості їх знижені. Вони містять не менш 40% CaO и 35% MgO. В якості домішок у доломіті присутні  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і деякі інші оксиди.

При виробництві доломітових вогнетривів намагаються зв'язати CaO у двокальцієві або трикальцієві силікати, які не реагують з водою і зберігають сталість об'єму. Доломітові вогнетриви на смоляній зв'язці (4-10% смоли) широко застосовуються у футеровці конверторів, а також стін і подин електросталеплавильних печей. Вогнетривкість смолодоломітових виробів  $t_{вогн}$  дорівнює  $1800-1900^{\circ}\text{C}$ ; температура початку руйнування  $t_{н.р.} = 1410-1450^{\circ}\text{C}$ ; гранична температура служби  $t_{роб.}^{\max} = 1650-1700^{\circ}\text{C}$ .

*Форстеритові вогнетриви* виробляються з ортосилікату магнею  $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ , температура розплавлення якого становить  $1890^{\circ}\text{C}$ . Сировиною для форстеритових виробів можуть служити природні мінерали: олівін, дуніт, серпентин і тальк. У рідких випадках використовують синтетичну сировину

(спечений магнезит з кварцитом). Якщо в сировині, а також і у виробках міститься  $\text{FeO}$ , то утворюється легкоплавкий фаяліт і різко знижується вогнетривкість. Тому вміст фаяліту у сировині обмежується 10-15%. У готових виробках міститься близько 55%  $\text{MgO}$  і близько 35%  $\text{SiO}_2$ . Вогнетривкість форстеритових виробів перевищує  $1800^\circ\text{C}$ .

Форстеритові виробки добре протистоять основним шлакам, але не стійкі проти глиноземистих шлаків, з якими утворюють ряд легкоплавких з'єднань. Випалені форстеритові виробки в металургії застосовують для повітряних насадок регенераторів мартенівських печей, кладки стін головок, вертикальних каналів, стін шлаковиків, кладки стін і подин високотемпературних нагрівальних печей і в ряді інших випадків.

*Шпінельні виробки.* Шпінеллю називають мінерал  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , який характеризується температурою розплавлення  $2035^\circ\text{C}$ . Усі інші з'єднання типу  $\text{RO}\cdot\text{R}_2\text{O}_3$  називають шпінелідами. Температура розплавлення багатьох шпінелідів висока і їх використовують в якості вогнетривів. Шпінельні виробки виготовляють із суміші спеченого магнезиту і технічного глинозему двох видів: випалені і плавлені (литі). Випалені виготовляють із суміші каустичного магнезиту (30%) і технічного глинозему (70%). Для прискорення реакції синтезу  $\text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  в шихту додають 0,5-1% борного ангідриду або хроміту. Плавлені виробки виготовляють з розплаву приготовленого в електропечах. Хімічний склад цих виробків: 27-30%  $\text{MgO}$ , 60-65%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , не більш 3%  $\text{SiO}_2$ . При температурі більш  $1600^\circ\text{C}$  вони швидко руйнуються залізистими шлаками, залізною рудою і окалиною. Тому у чорній металургії ці виробки не знайшли широкого застосування, їх застосовують у кольоровій металургії.

#### 1.3.4. Хромисті вогнетриви

До складу цієї групи вогнетривів входить мінерал хроміт  $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$  з температурою плавлення  $2180^\circ\text{C}$ . Розрізняють декілька видів хромистих вогнетривів:

- а) хромітові ( $\sim 30\% \text{Cr}_2\text{O}_3$  і  $24\% \text{MgO}$ );
- б) хромомagneзитові ( $15-30\% \text{Cr}_2\text{O}_3$  і  $45-60\% \text{MgO}$ );
- в) магнезитохромітові (периклазохромітові) ( $8-15\% \text{Cr}_2\text{O}_3$  і  $65-70\% \text{MgO}$ ).

*Хромітові вогнетриви* виявляють нейтральні властивості, що дуже цінно, і стійкі по відношенню до основних і кислих шлаків. У зв'язку з цим хромітові виробки застосовують в якості розподільчого прошарку між магнезитовою і динасовою кладкою сталеплавильних печей. Хромітові вогнетриви при високих температурах перебувають у пластичному стані і ефективно використовуються у вигляді обмазок та набивок в запалювальних поясах топків, на охолоджуваних поверхнях печей, при гарячих ремонтах. Так хромітову масу ПХМ-6 застосовують для футеровки охолоджуваних поверхонь в печах і котлах. Маса складається з 92-97% тонкомолотого хроміту, 3-4% вогнетривкої глини і 3-6% рідкого скла понад 100%. Вогнетривкість маси  $1700^\circ\text{C}$ .

*Хромомагнетитові і магнезитохромітові* вогнетриви виготовляються з магнезиту з додаванням хромової руди. Така комбінація досить вдала, оскільки хроміт характеризується незначною змочуваністю і сприяє підвищенню шлакостійкості та термостійкості, полегшує технологію їх виготовлення, а магнезит забезпечує появу кристалічного (периклазового) каркасу у виробках і поліпшує термічні характеристики: вогнетривкість і температуру початку руйнування. Шихта подрібнюється до частинок такого складу:

<b>Фракція, мм</b>	2-1	0,2-0,06	0,06-0
<b>Вміст, %</b>	7	45-50	20-25

Решта операцій виробництва хромомагнезиту (ХМ) і магнезитохроміту (МХ): підготовка шихти, режим пресування, сушіння та відпалювання аналогічні відповідним процесам виробництва магнезитової цегли.

На властивості виробів впливає величина тиску пресування, із збільшенням її підвищується густина, термостійкість і температура початку руйнування. Відпалювання здійснюється при температурі 1650-1700°C. При відпалюванні звичайних хромомагнетитів і магнезитохромітів елементами, що цементують зерна переклазу і хроміту з'являються дуже тугоплавкі з'єднання:  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ;  $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ ;  $2\text{MgO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ ;  $\text{MgO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Робочі властивості ХМ і МХ виробів:

<b>Вид вогнетриву</b>	<b>ХМ</b>	<b>МХ</b>
Вогнетривкість, $t_{\text{вогн}}$	1920-2000°C	>2000°C
Температура початку руйнування, $t_{\text{н.р.}}$	1450-1500°C	1500-1690°C
Гранична робоча температура, $t_{\text{роб.}}^{\text{max}}$	1700°C	1650-1700°C
Пористість, П	6-20%	8-20%
Термостійкість	≥ 3 теплозміни	5 теплозмін

Хромомагнетитові вогнетриви застосовують для кладки декотрих елементів мартенівських печей, подин нагрівальних колодязів і методичних печей, а також для футеровки випалювальних печей. Магнезитохромітові вогнетриви в основному використовують для кладки склепінь мартенівських і електросталеплавильних печей.

### 1.3.5. Вуглеродисті вогнетриви

Вуглеродисті вогнетриви містять від 30 до 92% С. Сировиною для їх виробництва служить кокс, термоантрацит і графіт. В якості зв'язуючого використовують зневожену кам'яновугільну смолу, вогнетривку глину, або органічні клеючі добавки. Вуглеродисті вогнетриви не змочуються розплавами, тому абсолютно стійкі проти будь-яких з них, мають малу густину, високу вогнетривкість і термостійкість, електропровідні, але починають окислюватися у продуктах повного згоряння уже при  $t \geq 600^\circ\text{C}$ . Тому їх застосування доцільно лише в умовах відновлюваного або нейтрального середовища.



Вуглеродисті вогнетриви підрозділяються на коксові і графітові.

*Коксові вогнетриви* виробляють з коксу або термоантрациту з добавкою смоли. Після змішування масу формують і з неї пресують вироби. Випалюють коксові вогнетриви при 1400-1450°C у муфелях або капсулах з вугільною підсипкою. Вогнетривкість готових виробів  $t_{\text{вогн}} > 2500^\circ\text{C}$ .

Із *графітових вогнетривів* найбільше розповсюдження отримали глинисто-графітні матеріали. Маса для їх виробництва містить 35% графіту, 35-45% вогнетривкої глини, 10-15% шамоту. Після формування вироби випалюють у капсулах з вугільною підсипкою, при 800-1000°C (при виробництві тиглів) і 1300-1350°C (при виробництві стопорного припасу). Вогнетривкість глинисто-графітових виробів становить 1900°C, термостійкість – 150-200 водяних тепломінів. Вуглеродисті вогнетриви застосовують для кладки лещаді і стін горна доменної печі. Руйнуються вони в результаті окислення розплавленими окислами FeO, MgO, водяною парою та вуглекислим газом U відновлювальній атмосфері вуглеродиста футеровка інтенсивно руйнується з'єднаннями лужних металів (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> та інші).

Окрім доменних печей їх застосовують у футеровках газогенераторів, печах для виплавки декотрих кольорових металів, феросплавів і в ряді інших виробництв. З урахуванням специфіки застосування вуглеродистих вогнетривів вітчизняною промисловістю виробляються блоки, бруси та холодно набивні маси різноманітних марок. Властивості основних марок вуглеродистих вогнетривів виробництва ВАТ «Укрграфіт», що використовуються у чорній та кольоровій металургії наведено в таблицях 1.3 – 1.8.

**Таблиця 1.3 - Блоки вуглеродні, призначені для футеровки доменних і інших типів металургійних печей**

Назва показника	Типові значення			
	ДБУ	ДБУ-А	ДБУ-Б	ДБУ-А(М)
Марка				
Густина об'ємна, г/см <sup>3</sup>	1.56	1.58	1.63	1.66
Густина дійсна, г/см <sup>3</sup>	1.89	1.92	1.90	1.93
Пористість загальна, %	18	18	14	14
Пористість відкрита, %	15	15	10	11
Межа міцності на стискання, МПа	55	36	65	50
Зольність, %	4.0	2.0	4.0	2.3
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, (20-520) <sup>0</sup> С10 <sup>-6</sup> •1/ <sup>0</sup> С	2.6	2.1	2.6	2.5
Коефіцієнт теплопровідності при 200 °С, Вт/(м•К)	8	15	9	17

(Зазначені величини представлені як середні значення якості продукції.)  
**ДБУ** – вуглецеві блоки призначені для футеровки подин (лещадей) і металоприємників (горнів) металургійних печей;

**ДБУ-А** – високотеплопровідні блоки, призначені для футеровки зовнішніх кільцевих поясів металоприймачів (горнів) металургійних печей;

ДБУ-Б – малопористі блоки призначені для футеровки внутрішніх кільцевих поясів металоприймачів (горнів) металургійних печей;  
 ДБУ-А (М) – високотеплопровідні дрібнопористі блоки призначені для футеровки металоприймачів (горнів) металургійних печей.

**Таблиця 1.4 - Блоки графітовані, призначені для футеровки лещадей доменних і інших типів металургійних печей**

Назва показника	Типові значення	
	БГ	БГ (У)
Марка	БГ	БГ (У)
Густина об'ємна, г/см <sup>3</sup>	1.60	1.73
Густина дійсна, г/см <sup>3</sup>	2.24	2.22
Пористість відкрита, %	28	22
Межа міцності на стискання, МПа	20	30
Межа міцності на вигин, МПа	8	15
Зольність, %	0.3	0.3
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 <sup>-6</sup> •1/°С, в межах температур (20-520)°С	2.5	2.5
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м•К) при 200°С	120	150

**Таблиця 1.5 - Маса вуглецева холоднонабивна призначена для заповнення компенсаційних зазорів у футеровці доменних і інших типів металургійних печей**

Назва показника	Типові значення	
	МХТД	МХД
Марка	МХТД	МХД
Густина об'ємна, г/см <sup>3</sup>	1650	1600
Межа міцності на стискання, МПа	27	25
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м•К) при 200 °С	9	8

**Таблиця 1.6 - Маса вуглецева тверда (марка МУТ) призначена для заповнення компенсаційних зазорів у футеровці доменних і інших типів металургійних печей**

Назва показника	Типові значення	
Межа міцності на стискання, МПа	38	
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м•К), при 100°С	9	
Вихід летючих, %	11	

**Таблиця 1.7 - Блоки подові, призначені для футеровки подин алюмінієвих електролізерів**

Назва показника	Типові значення		
	ПБ3	ПБ5	ПБ7
Марка	ПБ3	ПБ5	ПБ7
Вміст графіту, %	30	50	70
Густина дійсна, г/см <sup>3</sup>	1.93	1.98	2.03
Густина об'ємна, г/см <sup>3</sup>	1.56	1.59	1.62

Пористість загальна, %	19	20	20
Пористість відкрита, %	16	16	17
Питомий електроопір, мкОм•м	31	25	19
Коефіцієнт теплопровідності при 20°C, Вт/(м•К)	12	15	20
Міцність на стискання, МПа	36	43	45
Міцність на вигин, МПа	12	13	15
Модуль пружності (Юнга), Гпа	7	8	9
Відносне подовження по Раппопорту в криоліт-глиноземному розплаві*, %	0.6	0.5	0.4
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, $10^{-6} \cdot 1/^\circ\text{C}$ в межах температур (20-520)°C	2.2	2.6	3.0
Вміст золи, %	2.0	1.5	1.3

\*- перпендикулярно напрямку екструзії. Зазначені величини представлені як середні значення якості продукції.

**Таблиця 1.8 - Аноди та бруси графітовані, призначені для магнієвої промисловості**

Назва показника	Типові значення	
Марка	БВ	БН
Питомий електроопір, мкОм•м	6.5	5.5
Межа міцності на стискання, МПа	25	29
Межа міцності на вигин, МПа	12	15
Густина об'ємна, г/см <sup>3</sup>	1.65	1.74
Густина дійсна, г/см <sup>3</sup>	2.24	2.26
Пористість загальна, %	26	23
Пористість відкрита, %	22	16
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м•К), при 200°C	130	180
Температурний коефіцієнт $10^{-6} \cdot 1/^\circ\text{C}$ лінійного розширення, в межах температур (20-520)°C	2.3	2.4
Зольність, %	0.3	0.3

### 1.3.6. Цирконісті вогнетриви

Вогнетривку основу в цих вогнетривах складає двоокис цирконію  $\text{ZrO}_2$  з температурою плавлення 2715°C. Існує два різновиди цих вогнетривів: цирконієві і цирконові.

*Цирконієві вогнетриви.* Сировиною для їх виробництва служить мінерал бадделеїт, що містить 80-99%  $\text{ZrO}_2$ . В якості домішок у сировині присутні  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та інші оксиди, які в наслідок утворення легкоплавких евтектик або хімічних з'єднань знижують вогнетривкість виробів.

Шихта для виготовлення цих вогнетривів складається 94-96% тонкомеленої цирконієвої породи і 4-5% вапна. Цирконієві вогнетриви мають вогнетривкість  $\sim 2500^\circ\text{C}$ , шлакостійкі особливо проти кислих шлаків, достатньо термостійкі (витримують більше 25 водяних теплосмін). При високих температурах ( $\sim 2000^\circ\text{C}$ ) двоокис цирконію не стійкий проти впливу основних шла-

ків і вступає у з'єднання з азотом и вуглецем, утворюючи крихкі нітриди і карбіди.

З цирконієвих вогнетривів виготовляють тиглі для отримання спектрально-чистих металів платинової групи, плавки кварцового скла та інших речовин. Також вони знаходять застосування в атомній промисловості, ракетній техніці та високотемпературних печах. У скловаренних печах широко застосовують електроплавлені бакорові (бадделеїто-корундові) вироби з вмістом  $ZrO_2$  20-60%.

*Цирконові вогнетриви* виробляють з менш дефіцитної і дорогої сировини – цирконового концентрату, який містить ортосилікат цирконія  $ZrO_2 \cdot SiO_2$  (температура розплавлення  $1775^\circ C$ ). Цирконові вироби стійкі проти дії розплавів хлоридів, але руйнуються фторидами. Цирконові вироби застосовують при футеровці соляних ванн для загартування спеціальних сталей, з них виготовляють також вкладиші і стакани для безперервного розливання сталі.

### 1.3.7. Окисні вогнетриви

Температура плавлення окислів  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $ZrO_2$ ,  $BeO$ ,  $ThO_2$ , близька до їх вогнетривкості. Ці окисли достатньо міцні при високих температурах і стійкі в окислювальному середовищі. Виробництво вогнетривів з окислів утруднюється отриманням самих чистих окислів, а також процесом їх спікання. Завдяки тонкому помолу спікання окислів здійснюється у результаті зрощення кристалів у процесі рекристалізації при температурі більш низькій ніж температура плавлення. Окисні вогнетриви завдяки різноманітності властивостей і виключно високої якості все ширше застосовуються у нових високотемпературних процесах, у тому числі плазмових, ракетній техніці, енергетиці та інших галузях, де потребується висока механічна міцність і стійкість при високих температурах. Для збільшення стійкості вогнетривких виробів все ширше на їх поверхню наносять вогнетривкі покриття методом газополуменевого (плазмового) напилювання чистих тугоплавких порошків.

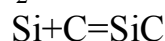
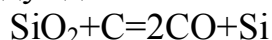
### 1.3.8. Карбідні вогнетриви

До цієї групи матеріалів відносяться матеріали, що являють собою з'єднання металів з вуглецем і характеризуються високою вогнетривкістю і температурою плавлення. Теплопровідність і твердість карбідів висока, їх загальній недолік – погана стійкість в окислювальному середовищі при високих температурах. Карбіди використовують при отриманні виробів з метало-кераміки, які в наслідок їх високої міцності при високих температурах застосовують у ядерній і ракетній техніці, для виготовлення лопаток газотурбінних двигунів і ін. У металургії застосовують вироби з карбіду кремнію.

*Карборундові вогнетриви.* Карбід кремнію  $SiC$ , називаний карборундом, отримують в електропечах плавленням шихти при  $2000-2200^\circ C$ . Шихта для отримання карборунду складається з чистого кварцового піску і подрібненого коксу, до яких підмішують 5-10% тирси для розпушування шихти, щоб за-

безпечити проходження через неї CO і 1-1,5% NaCl, що сприяє видаленню шкідливих домішок (Fe і Al) у вигляді хлоридів.

Реакція утворення карборунду здійснюється в дві стадії:



Реакція починається при досягненні температури 1000°C. З початку утворюється аморфний карборунд, який при 1900-2000°C поступово переходить у кристалічний. Готовий продукт охолоджується разом з піччю. Потім кристалічний карборунд відокремлюється і подрібнюється. Подрібнений карборунд і служить сировиною для отримання карборундових виробів:

- 1) на глиняному зв'язуючому – карбошамотних (карбофраксових);
- 2) рекристалізованих (рефраксових).

*Карбофраксові* вироби отримують з 80-90% кристалічного карборунду і 10-20% вогнетривкої глини. Технологія їх виготовлення аналогічна технології виготовлення шамотних виробів методом напівсухого пресування.

Основні позитивні властивості карбофраксових вогнетривів: висока механічна міцність і твердість, хороша теплопровідність і термостійкість. До недоліків слід віднести окислюваність при температурі вище 1300°C і погану стійкість проти роз'їдання основними шлаками.

*Рефраксові* вироби отримують з кристалічного карборунду із добавкою в якості зв'язуючого аморфного карборунду. Їх випалюють при 2000°C у відновлювальному середовищі.

Рефраксові вироби за своїми властивостями краще карбофраксових, але дорожчі. Із карборундових виробів виготовляють трубки рекуператорів, нагрівачі для електропечей опору, муфелі, плити і блоки для стін газогенераторів, подин коксових печей, окремих вузлів муфельних печей і інше.

#### 1.4. Відносна вартість вогнетривких матеріалів

При виборі вогнетривких матеріалів враховують не тільки фізичні й робочі властивості вогнетривів, а і їх вартість. У відповідності із змінюванням рівня техніки виробництва вогнетривів та інших чинників вартість вогнетривких виробів не залишається сталою. Тому для орієнтування прийнято користуватись відносними цінами на вогнетриви. Для порівняння нижче наведена відносна вартість одної тонни декількох видів вогнетривів (за одиницю прийнята вартість динасу)

Динас – 1,0

Шамот – 0,8-0,9

Високоглиноземисті - 2,2-8,5

Магнезит – 1,3-1,5

Хромомагнезит:

звичайний – 1,3

спеціальний – 1,7

Магнезитохромит спеціальний – до 2,0

Карборунд – 23,0

Слід відзначити, що шамотні вироби вирізняються з-поміж усіх пресованих вогнетривких матеріалів найменшою відносною вартістю. Тому їх застосовують у всіх випадках, де це можливо за умовами їх служби.

### 1.5. Вогнетривкі розчини і обмазки

*Вогнетривкі розчини.* Вогнетривку кладку, за деякими винятками, виконують на розчинах, що складаються з мертелів зачинених водою. Мертелем називають порошок з вогнетривкого матеріалу, який використовується для приготування розчину необхідної консистенції. Оскільки призначення розчину полягає в заповнюванні швів між окремими цеглинами і забезпеченні щільності і монолітності кладки, до мертелів висувають ті ж самі вимоги, що і до вогнетривів. Властивості мертелю для кладки даного вогнетриву повинні бути рівноцінними або близькими до властивостей вогнетривів. Розміри зерен мертелю не повинні перевищувати половину товщини шва кладки. Зачинений водою мертель повинен заповнювати нерівності цегли і давати тонкі шви. Розчин повинен добре схоплюватись цеглою, набувати механічної міцності після висихання і під час роботи печі при високих температурах зварюватись із поверхнею цегли. В залежності від категорії ретельності кладки за своєю консистенцією розчини можуть бути різні: рідкі, напівгусті і густі. Рідкі розчини застосовують для особливо ретельної кладки з товщиною швів не більш 1 і 2мм. Напівгусті і густі розчини застосовують для звичайної і простої кладки з товщиною шва не більш 3 і 4 мм. Для приготування рідкого розчину на 1м<sup>3</sup> сухої суміші потребується 600л води, напівгустого – 500л, густого – 400л.

На відміну від будівельних розчинів, які завдяки наявності цементу або вапна схоплюються і тверднуть при звичайній температурі, вогнетривкі розчини звичайно не володіють цими властивостями і тверднуть тільки після розігріву. Але для кладки декотрих відповідальних елементів, таких як шахта доменної печі, керамічні рекуператори нагрівальних колодязів застосовують спеціальні мертелі марок ШГ-1 (шамотно-глиноземісті) та ШБ-1,0 (шамотно-бокситові), які забезпечують монолітність і міцність кладки при звичайних температурах.

Для кладки пічних стін з шамоту готують шамотні розчини з тонко подрібненого шамоту і вогнетривкої глини. Рідке скло у шамотних розчинах знижує їх вогнетривкість і температуру деформації під навантаженням, але в кількості 1,0-1,5% забезпечує хороше щеплення розчину з цеглою і збільшує міцність шва.

Розчини класу 0 готують з шамотом із каоліну (з 37% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) для стін з робочою температурою 1450-1550°C. Розчини класу I з вмістом 33% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> застосовують для пічної кладки при 1450°C і вище. Розчини класу II з 30% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> застосовують для кладки стін при температурі 850-1450°C.

Для динасової кладки розчини готують з меленого кварциту, динасового бою і вогнетривкої глини (не більш 15%). Хороша зчеплюваність у кладці забезпечується тонким помелом динасу до зерен 0,2мм, яких повинно бути 60-80% і фракції менш 0,088мм 40-50%.

Для кладки вуглеродистих блоків застосовують спеціальну вуглеродисту масу і пасту.

При укладанні складу мертелів для інших вогнетривів необхідно пам'ятати, що їх хімічний склад і робочі властивості повинні бути максимально наближеними до даного вогнетриву.

Рецепти по складу мертелю наводяться у відповідних довідниках [5,6] та Держстандартах [7,8].

*Вогнетривкі обмазки.* Застосовують два різновиди обмазок: ущільнювальні і захисні. Перші наносять на зовнішні поверхні кладки для підвищення газощільності. Попередньо поверхню ретельно очищують і змочують водним розчином клеючої речовини (рідкого скла), на якій приготована маса.

Захисну обмазку наносять на внутрішню поверхню кладки для захисту її від впливу пічного середовища. Обмазка повинна мати необхідну вогнетривкість і шлакостійкість. До складу обмазок входять тонко дисперсні вогнетривкі порошки, вогнетривка глина і ключі добавки. Нижченаведені приклади складу обмазок, %:

Ущільнювальна:	Захисна:
пісок кварцовий - 55%	шамотний порошок - 85%
глина вогнетривка – 15%	глина вогнетривка – 13%
азбест мелений – 15%	рідке скло – 2%
рідке скло – 15%	

### **1.6. Вогнетривкі бетони**

Розрізняють бетони звичайні і вогнетривкі. Звичайні бетони придатні для роботи при температурах до 200°C. Вогнетривкими бетонами називають безвипалювальні композиційні матеріали з вогнетривкістю від 1550°C і вище.

В державах з передовими технологіями виробництва вогнетривких бетонів досягає 35-40% від об'єму виробництва штучних вогнетривких виробів. Важливо зазначити, що вогнетривкі бетони (блоки і монолітні футеровки) окрім забезпечення індустріалізації будівництва і ремонтів теплових агрегатів, зниження їх собівартості мають ряд принципових технічних переваг перед випалювальними штучними вогнетривкими виробами. Головні з них:

- 1) Руїнування вогнетривкої кладки, як правило, починається зі швів. В монолітній бетонній футеровці шви повністю відсутні.
- 2) Вироби випалюють в окислювальному газовому середовищі і їх фазовий склад характеризується вищими оксидними формами компонентів. Служать же вироби в багатьох випадках у відновлювальному середовищі. Тому у процесі експлуатації відбувається змінювання початкового фазового складу, що супроводжується змінюванням об'єму мінералів і, як наслідок, зменшенням міцності. У вогнетривких бетонах структура і фазовий склад значною мірою утворюються в процесі служби і тому знаходяться у відповідності (як би в рівновазі) з умовами експлуатації.
- 3) Більш висока термостійкість у порівнянні з випалювальними виробами при однаковій пористості і однотипності вогнетривкої основи. В

бетонах на кожній ділянці утворюється структура, відповідна існуючому градієнту температур. Тому вони мають більшу здатність релаксувати (послаблювати) термонапруження.

При нагріванні свіжоукладеного вогнетривкого бетону здійснюється ряд процесів. При температурі 150°C видаляється гігроскопічна волога, потім, починаючи з 300°C і до 900°C протікають процеси дегідратації у цементній масі (при цьому міцність знижується до мінімуму). При нагріванні більш 900-1000°C у масі бетону утворюються рідкі фази, що сприяють взаємодії дегідратованого цементу із заповнювачем і випадінню з рідкої фази нових кристалів, які зростаючись між собою, зв'язують між собою частинки заповнювача, утворюючи моноліт (міцність бетону при цьому знову збільшується). Отже, при температурах більших 900-1000°C відбуваються процеси випалювання бетонної маси.

Бетони на стабілізованому портландцементі з хромомагnezитовим заповнювачем застосовують при температурах 1700°C, з шамотним заповнювачем - 1400°C.

Для служби при 1400-1700°C застосовують бетон на високоглиноземистому цементі з заповнювачем із високоглиноземистих або хромомагnezитових вогнетривів.

Периклазовий цемент використовують для приготування бетону з хромомагnezитовим або магнезитовим заповнювачем. Замість води беруть водний розчин сірководню з густиною  $\rho = 1,21 - 1,26 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

В печах прокатного виробництва найбільше розповсюдження отримали динасово-кварцитові блоки на рідкому склі (ТУ 14-8-129-74), що мають густину  $\rho = 1780-1970 \text{ кг/м}^3$ , вогнетривкість  $t_{\text{вогн}} = 1700^\circ\text{C}$ , температуру початку руйнування  $t_{\text{н.р.}} = 1530-1580^\circ\text{C}$ , граничну міцність при стисканні  $\sigma_{\text{роб.}}^{\text{max}} = 13-35 \text{ МПа}$  та шамотні блоки на алюмофосфатному зв'язуючому (ТУ 14-8-130-74) з такими характеристиками:  $\rho = 2180 \text{ кг/м}^3$ ,  $t_{\text{вогн}} = 1650-1730^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{н.р.}} = 1450^\circ\text{C}$ ,  $\sigma_{\text{роб.}}^{\text{max}} = 42 \text{ МПа}$ .



## 2. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Теплоізоляційними називають будівельні матеріали, що мають малу теплопровідність і здатні зберігати стабільні фізико-механічні і теплотехнічні властивості в умовах експлуатації.

Теплоізоляційні матеріали характеризуються пористою будовою і, як наслідок цього, малою густиною (не більше  $600 \text{ кг/м}^3$ ).

### 2.1. Призначення і класифікація теплоізоляційних матеріалів

Теплоізоляційні матеріали, які застосовуються у футеровках теплових агрегатів мають наступні призначення:

- 1) Максимально можливе обмеження теплових втрат через футеровку в оточуюче середовище.
- 2) Зменшення матеріалоємності теплових установок (виходячи з умов техніки безпеки експлуатації печей при розрахунках товщини стін температуру їх зовнішньої поверхні футеровки на робочих місцях приймають не вище  $45^\circ\text{C}$ ; при екранізації зовнішньої поверхні стін їх температура може бути підвищена до  $120^\circ\text{C}$ ).
- 3) Зменшення витрат тепла і часу, необхідних на розігрів стін печей до заданої технологічної температури.

Теплоізоляційні матеріали, які мають менше значення коефіцієнту теплопровідності  $\lambda$ , а також меншу густина  $\rho$  і повну теплоємність  $c$  вигідно відрізняються від звичайних щільних вогнетривів. Для порівняння ізоляційної здатності цих матеріалів слід пам'ятати, що вогнетриви мають  $\lambda_0$  від 0,7 (у шамоту) до 6,15 Вт/м $^\circ\text{C}$  (у магнезиту), в той час як  $\lambda_0$  у теплоізоляційних матеріалів коливається в межах від 0,03 до 0,3 Вт/м $^\circ\text{C}$ .

Теплоізоляційні матеріали класифікують за рядом ознак:

*За своїм походженням* їх поділяють на природні і штучні.

*За температурою застосування* теплоізоляційні матеріали поділяють на три групи:

- низькотемпературні, що не використовуються при нагріванні вище за  $900^\circ\text{C}$ ;
- середньотемпературні, які мають діапазон застосування  $900\text{-}1200^\circ\text{C}$ ;
- високотемпературні – від  $1200^\circ\text{C}$  та вище.

*За формою й зовнішнім виглядом* розрізняють теплоізоляційні матеріали:

- штучні тверді (плити, шкарлупи, сегменти, цегли, циліндри);
- гнучкі (мати, шнури, джгути);
- пухкі й сипучі (вата, перлітовий пісок, спучений вермикуліт).

*Залежно від твердості (відносної деформації)* виділяють:

- матеріали м'які (М) - мінеральна й скляна вата, вата з каолінового й базальтового волокна,
- напівтверді (П) - плити зі шпательного скловолокна на синтетичному зв'язувачі та ін.,
- тверді (Ж) - плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язувачі,

- підвищеній твердості (ПЖ),
- тверді (Т).

За щільністю теплоізоляційні матеріали ділять на марки: 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 (цифра відповідає об'ємній густині в  $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

По теплопровідності теплоізоляційні матеріали розділяються на класи:

А - низької теплопровідності до  $0,06 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ,

Б - середньої теплопровідності - від  $0,06 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  до  $0,115 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ,

В - підвищеної теплопровідності - від  $0,115 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  до  $0,175 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

## 2.2. Природні теплоізоляційні матеріали

В якості природних теплоізоляторів використовують азбест, перліт, діатоміт і трепел.

*Азбест* розповсюджений в природі у формі волокнистої маси. На базі азбесту виготовляють різноманітні ізоляційні матеріали: вату, войлок, картон, шнури, плити.

При нагріванні вище  $500^\circ\text{C}$  азбест внаслідок дегідратації розруйнується, перетворюючись у порошок. Плавиться він при температурі вище  $1500^\circ\text{C}$ .

*Перліт* – гірська порода вулканічного походження, яка після випалювання спучується і набуває об'єм у 10 разів більше, ніж до випалювання. При цьому утворюється перлітовий пісок високої пористості (розмір пор коливається від 0,5 до 10 мкм). Перлітовий пісок застосовується для виконання теплоізоляційного шару засипки між стальним кожухом і вогнетривкою кладкою, а також для виробництва перлітокерамічних та перлітоцементних виробів.

*Діатоміт* являє собою пористі осадові утворення з панцирів мікроводоростей (діатомій), які складаються в основному з аморфного кремнезему.

*Трепел* представляє собою нагромадження кремнеземистих скелетів раділярій і губок.

Діатоміт і трепел застосовують в сирому і випаленому стані у вигляді засипок і готових виробів. Вони витримують температуру до  $900^\circ\text{C}$ . Вироби випускаються трьох марок (по об'ємній густині): 500, 600 і 700 з відповідними значеннями коефіцієнтів теплопровідності  $\lambda_0 = 0,18; 0,21$  і  $0,27 \text{ Вт}/\text{м}^\circ\text{C}$ .

Механічна міцність таких виробів низька. Межа міцності при стисненні коливається від 60 до  $150 \text{ Н}/\text{см}^2$ . ВАТ «Диатомовый комбинат» налагодив виробництво пінодіатомітової теплоізоляційної цегли КПД-400. Фізико-хімічні властивості якої наведені в таблиці 2.1.

## 2.3. Штучні теплоізоляційні матеріали

До штучних теплоізоляційних матеріалів зараховують матеріали із пластмас, алюмінієву фольгу (альфоль), мінеральну та скляну вату і вироби з них, вироби із спученого перліту, вермикуліту та базальтового волокна, високотемпературні легковагові і волокнисті вогнетриви.

**Таблиця 2.1 - Фізико-хімічні показники цегли пінодіатомітової теплоізоляційної КПД-400**

Найменування	Показник
Геометричні розміри (механічна обробка по шести гранях), мм×мм×мм	246×122×64(±0,5 мм) 250×123×65(±0,5 мм)
Густина, кг/м <sup>3</sup>	465
Теплопровідність, Вт/(м·К) не більше	
при (200 ±3)°С	0,121
при (400 ±5)°С	0,138
при (600 ±5)°С	0,156
Межа міцності при стиску, МПа не менш	1,1
Лінійна температурна усадка при температурі 900°С, %, не більше	1,5
Максимальна температура застосування, °С	900
Хімічний склад діатоміту:	
Оксид кремнію, SiO <sub>2</sub>	81,78
Оксид титану, TiO <sub>2</sub>	0,27
Оксид заліза, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,48
Оксид алюмінію, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,48
Оксид магнію, MgO	0,78
Оксид кальцію, CaO	0,3
Оксид натрію, Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18
Оксид калію, K <sub>2</sub> O	1,25
Оксид сірки, SO <sub>3</sub>	0,21
Оксид марганцю, MnO	0,01
Оксид фосфору, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03
Втрати при прожарюванні 1000°С, %	7,23

В останні роки створена досить велика група нових теплоізоляційних матеріалів із пластмас. Сировиною для їхнього виготовлення служать термопластичні (полістирольні; полівінілхлоридні, поліуретанові) і термореактивні (мочевино - формальдегідні) смоли, газоутворюючі й речовини, що спінюються, наповнювачі, пластифікатори, барвники й ін.

Залежно від структури теплоізоляційні пластмаси можуть бути розділені на дві групи: пінопласти й поропласти. Пінополістирол випускають марки ПСБС у вигляді плит розміром 1000×500×100 мм і густиною (25-40) кг/м<sup>3</sup>. Цей матеріал має теплопровідність 0,05 Вт/(м·К), максимальна температура його застосування 70°С. Стільникопласти - теплоізоляційні матеріали з чарунками, що нагадують форму бджолиних стільників. Стільникопласти виготовляють у вигляді плит довжиною (1,0-1,5)м, шириною (550 – 650) мм і товщиною (300 – 350) мм. Їхня густина (30-100) кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність (0,046-0,058) Вт/(м·К), міцність при стисканні (0,3-4, 0) МПа.

*Алюмінієва фольга* - теплоізоляційний матеріал, що являє собою стрічку гофрованого паперу з наклеєної на гребені гофрованою алюмінієвою фольгою. Даний вид теплоізоляційного матеріалу в відмінність від будь-якого пористого матеріалу поєднує низьку теплопровідність повітря, укладеного між аркушами алюмінієвої фольги, з високою віддзеркалювальною здатністю са-

мої поверхні алюмінієвої фольги. Алюмінієву фольгу для цілей теплоізоляції випускають у рулонах шириною до 100 мм, товщиною (0,005- 0,03) мм.

Оптимальна товщина повітряного прошарку між шарами фольги повинна бути (8- 10) мм, а кількість шарів повинне бути не менш трьох. Густина такої шарової конструкції з алюмінієвої фольги (6-9) кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність – (0,03 - 0,08) Вт/(м·К). Алюмінієву фольгу вживають як віддзеркалюючу ізоляцію в теплоізоляційних шарових конструкціях будинків і споруджень, а також для теплоізоляції поверхонь промислового устаткування й трубопроводів при температурі 300°С.

*Мінеральна вата й вироби з неї.* Мінеральна вата - волокнистий теплоізоляційний матеріал, одержуваний із силікатних розплавів. Сировиною для її виробництва служать гірські породи (вапняки, мергелі, діорити й др.), відходи металургійної промисловості (доменні й паливні шлаки) і промисловості будівельних матеріалів (бій глиняної й силікатної цегли).

Мінеральна вата це пухкий матеріал, що складається з найтонших переплетених мінеральних волокон і невеликої кількості склоподібних включень (кульок, циліндриків і ін.)

Залежно від густини мінеральна вата підрозділяється на марки 75, 100, 125 і 150. Вона вогнестійка, не гниє, малогроскопічна й має низьку теплопровідність (0,04 - 0,05) Вт/(м·К).

*Скляна вата й вироби з неї.* Скляна вата це матеріал, що складається з безладно розташованих скляних волокон, отриманих з розплавленої сировини. Сировиною для виробництва скловати служить сировинна шахта для варіння скла (кварцовий пісок, кальцинована сода й сульфат натрію) або скляний бій.

Скляне волокно значно більшої довжини, ніж волокна мінеральної вати й відрізняється більшою хімічною стійкістю й міцністю. Щільність скляної вати (75-125) кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність (0,04- 0,052) Вт/(м·К), гранична температура застосування скляної вати 450°С. Зі скловолкна виробляють мати, плити, смуги й інші вироби, у тім числі ткани.

Основні фізичні властивості перлітокерамічної цегли та спученого вермикуліту марки 150 наведені в таблицях 2.2 і 2.3.

**Таблиця 2.2 - Фізичні властивості перліту**

Найменування показника	Показники для цегли	
	450	550
Розмір, Марка	450	550
Розмір мм×мм×мм	250×123×65	250×123×65
Густина, кг/м <sup>3</sup>	400 - 499	500 - 599
Теплопровідність, Вт/(м·К)	0,105-0,137	0,135-0,176
Міцність на стискання, не більше, МПа	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0
Лінійна температурна усадка, % при температурі 900°С	2	2

**Таблиця 2.3 - Фізичні властивості спученого вермікуліту марки 150**

Найменування показника	Типові значення
Температура використання, °С	От -260 до +1100
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К) при 25°С	0,6
при 325°С	0,130
Об'ємна маса, не більше, кг/см <sup>3</sup>	150

*Базальтове волокно* – матеріал, що отримується з гірських базальтових порід в плавильних печах з наступним перетворенням у волокна без використання хімічних добавок. Пористість базальтового волокна може складати 70% і більше.

*Легковагові вогнетривкі вироби*, що застосовуються в якості теплоізоляторів, мають, як правило, більш високу теплопровідність у порівнянні з іншими теплоізоляційними матеріалами, але вони можуть надійно служити при високих температурах.

Легковагові вогнетривкі вироби на відміну від щільних вогнетривів характеризуються суттєво зниженими шлакостійкістю, термостійкістю і міцністю. Тому вони не використовуються в якості робочих вогнетривів там, де на футеровку впливає розплав, мають місце значні температурні напруження або механічні навантаження. При відсутності зазначених впливів легковагові вогнетривкі вироби застосовуються в якості робочих вогнетривів (інколи під шаром захисного вогнетривкового покриття).

Зазвичай при застосуванні легковагових вогнетривких виробів в якості тепло ізоляторів вони укладаються на зовнішню поверхню робочого вогнетриву або між робочим вогнетривом і шаром більш ефективної теплової ізоляції у багатошарових обмурівках.

Для виробництва легковагових вогнетривів застосовують різні способи: 1) вигоряючих добавок; 2) пінокерамічний; 3) хімічний.

Для виробництва легковагових вогнетривів по першому способу в шихту вводять 30-35% (по масі) домішок, які легко вигоряють при відпалюванні (тирсу, деревне вугілля і т. ін.). Висушують і випалюють вироби, як правило, за режимами, аналогічними тим, котрі застосовуються при виробництві звичайних вогнетривів даного виду. В результаті отримують вироби густиною  $\rho = 1-1,3 \text{ г/см}^3$  і  $\lambda = 0,52 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ . В теплоенергетиці широко застосовують легковагові шамотні, високоглиноземісті і динасові вогнетриви. Вищезазначені способи виробництва легковагових виробів придатні для отримання пористих виробів з магнезиту, форстериту, корунду та інших вогнетривів.

*Легковагові вогнетриви маркують* в залежності від об'ємної маси.

Наприклад, ШЛА-1,3, ДЛ-1,2, МКРЛ-0,5 і т. ін., де перші букви указують матеріал (шамотній, динасовий, мулітокремнеземісті), Л – легковаговий, а цифри – густину в  $\text{г/см}^3$ .

Кращими теплоізоляційними властивостями характеризуються вироби, здобуті хімічним або пінокерамічним способами. Густина таких виробів становить 0,3-1,5 г/см<sup>3</sup>. Фізичні властивості легковагових шамотних вогнетривів та піношамотних виробів наведені в таблицях 2.4, 2.5.

**Таблиця 2.4 – Фізичні властивості шамотних легковагових вогнетривів**

Назва показника	ШЛ-0,4	ШЛ-0,9	ШЛ-1,0
Удавана густина, г/см <sup>3</sup>	0,4	0,9	1,0
Температура застосування, °С	1150	1270	
Межа міцності на стискання, Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	1,0	2,5	2,5
Теплопровідність, Вт/(м·К)			
- при (350 ± 25) °С	0,20	0,40	0,40
- при (650 ± 25) °С	0,25	0,50	0,50

**Таблиця 2.5 - Фізичні властивості легковагових піношамотних виробів**

Назва показника	ШЛ-0,4	ШЛ-0,6	ШЛ-0,8
Удавана густина, г/см <sup>3</sup>	0,36	0,54	0,77
Межа міцності на стискання, МПа	2,1	2,8	10,3
Дод. усадка, % при випалі при температурі	0,1 при 1150 °С	0,5 при 1150 °С	0,3 при 1300 °С
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К) при температурі (320 ± 25) °С (650 ± 25) °С	0,16 0,19	0,22 0,28	0,28 0,35

Масу при зазначених способах виробництва готують у вигляді шлікеру. В якості піноутворюючого матеріалу застосовують каніфольне мило, яке дає стійку піну. При хімічному способі у масу вводять газоутворюючі матеріали. Розливу по формам масу висушують, а потім випалюють.

Гранична температура використання легковагового шамоту становить 1150-1270°С, динасу 1550°С, корунду 1750°С.

Волокнисті вогнетривкі теплоізоляції отримують з різноманітної вогнетривкої сировини (після її розплавлення) у вигляді вати, вони мають звичайно дуже низький коефіцієнт теплопровідності. Це обумовлено їх високою пористістю і точечним характером контактів між волокнами.

Завдяки малій густині вони дозволяють зменшити загальну масу футеровок на 60%. Футеровки пічних агрегатів з алюмосилікатних волокон у 2-3 рази тонші, а здатність акумулювати тепло у 10 разів менша у порівнянні із звичайними щільними вогнетривами. Застосування волокнистих теплоізоляцій у промислових печах дозволяє зменшити їх матеріаломісткість у декілька разів та знизити витрати палива на 30-40%.

Нині найбільш доступні алюмосилікатні матеріали каолинового складу (50%  $Al_2O_3$ , 50%  $SiO_2$ ), які застосовують у вигляді каолинової вати з вогнетривкістю  $1850^{\circ}C$ , а також у вигляді готових виробів. Вітчизняне алюмосилікатне волокно має температуру застосування  $1100-1260^{\circ}C$ . З вогнетривкої алюмосилікатної вати виготовляють рулонний матеріал, войлок, плити, бумагу і картон. Нижче наведені розміри таких ізоляційних матеріалів.

Матеріал	Довжина, мм	Ширина, мм	Товщина, мм
Рулонний	5000-10000	600-1400	20,30,40
Войлок	5000-10000	600-1400	20,30,40
Плити	600,700	400-500	30,40,50,60
Бумага	-	500-1000	0,5;1; 2
Картон	800-1200	500-800	3,4,5,6,7

Характеристика каолинового волокна і виробів на його основі регламентуються вимогами ГОСТ 23619-79. В залежності від групи і температури застосування волокнисті вогнетривкі теплоізоляційні матеріали поділяються на марки. Маркування волокнистих вогнетривких теплоізоляційних матеріалів і виробів наведено в таблиці 2.6.

**Таблиця 2.6 – Маркування волокнистих вогнетривких теплоізоляційних матеріалів і виробів**

Марка	Характеристика	Температура застосування, $^{\circ}C$ (не вище)
<b>Матеріали мулітокремнеземісті</b>		
МКРВ	Вата	1150
МКРР	Рулонний матеріал	1150
МКРРХ-150	Хромомісткий рулонний матеріал	1300
МКРВ-200	Войлок	1150
<b>Вироби мулітокремнеземісті</b>		
МКРВХ-250	Хромомісткий войлок	1300
МКРП-340	Плити на органічному зв'язуючому	1150
МКРП-450	Плити на неорганічній зв'язці	1150

МКРПХ-450	Хромомісткі плити	1300
МКРБ-500	Бумага	1150
МКРК-500	Картон	1150

Технічна характеристика мулітокремнеземістої теплоізоляційної вати марки МКРВ-130 та залежність її теплопровідності від температури наведено відповідно у таблицях 2.7, 2.8.

**Таблиця 2.7 - Технічна характеристика теплоізоляційної вати МКРВ-130**

Марка	МКРВ-130
Зв'язуюча речовина	органічна
Густина, не більше, кг / м <sup>3</sup>	130
Температура застосування, максимальна, °С	1260
Температура довготривалого застосування, °С	1150
Втрата маси при 1000 °С, не більше, %	0.6
Теплопровідність при 600 °С, не більше, Вт/(м·К)	0.18
Теплоємність при 1000 °С, кДж / ( кг· К )	1.047
Діаметр волокна не більше, мкм	4
<b>Хімічний склад, %</b>	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , в межах	51-55
ZrO <sub>2</sub> , не більше	-
(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub> ), не менше	97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , не більше	0.2

Примітка: у відновлювальному середовищі теплоізоляційні властивості знижуються.

**Таблиця 2.8 - Залежність теплопровідності теплоізоляційної вати МКРВ-130 від температури**

Температура, °С	200	400	600	800	1000	1200
Теплопровідність, Вт/(м·К)	0,08	0,12	0,18	0,29	0,47	0,79

Властивості і область застосування інших сучасних теплоізоляційних матеріалів, що використовується переважно в енергетиці наведено в таблиці 2.9.



**Таблиця 2.9 - Властивості і область застосування декотрих ефективних теплоізоляційних матеріалів**

Вид матеріалу	Матеріал	Область застосування	Властивості			
			Густина кг/м <sup>3</sup>	Теплопровідність,		Температура застосування, t, °С
				t, °С	λ, Вт/(м·К)	
<b>Мати прошивні безобкладинкові МТПБа</b> ТУ 21 УССР 356-83	супертонке базальтове волокно, прошите склониткою	- теплоізоляція трубопроводів; - теплоізоляція промислових агрегатів та обладнання. - теплоізоляція котлів, котельних та ін.	не більше 45	25 125 300	не більше 0,033 0,047 0,078	750
<b>Мати прошивні в обкладинці із склотканини МТПМ</b> ТУ 21 УССР 356-83	надтонке базальтове волокно, прошите склониткою в обкладинці з обох сторін із склотканини (кремнеземної тканини)	- теплоізоляція труб, трубопроводів, - теплоізоляція промислових агрегатів, арматури та обладнання. - теплоізоляція котлів, котельних та ін.	не більше 50	25 125 300	не більше 1,5 0,033 0,047	450; 700
<b>Плити жорсткі теплоізоляційні базальтові ПЖТЗ</b> ТУ 88 України 023.011-93	надтонке базальтове волокно Зв'язувач - бентонітова глина	Ізоляція котлів, котельних, резервуарів з холодною та гарячою водою	270	25 125 300	не більше 0,042 0,055 0,083	900
<b>Картон базальтовий теплозвукоізоляційний (м'який) ТК-4</b> ТУУ 88. 023. 018-95	базальтове надтонке волокно та полівінілацетатний зв'язувач	Котли автономного опалення, водогрійні, низького тиску; Електро-, газо- вакуумні і індукційні печі різного призначення; Теплоізоляція промислових установок, сушильних камер, котельень. Теплоізоляція циліндрів енергетичних турбін, сушильних шаф, камер.	90	25 125 300	не більше 0,033 0,047 0,071	750
<b>Картон базальтовий теплозвукоізоляційний (жорсткий) ТК-1</b> ТУУ 88. 023. 018-95	базальтове надтонке волокно, зв'язувач бентонітова глина	-«-	270	25 125 300	не більше 0,042 0,055 0,083	750
<b>Шнур базальтовий теплоізоляційний БТШ</b> ТУ У 88 023. 017-94	серцевини із базальтового надтонкого волокна	Ізоляція труб и трубопроводів, промислових агрегатів і обладнання Теплова ізоляція про-	120- 140	25 125 300	не більше 0,055 0,081 0,014	700

		мислового обладнання та ін.				
<b>Вермікулітові плити</b>	спучений вермікуліт з використанням неорганічного силікатного зв'язувача та жаростійких добавок	- кольорова металургія - футеровка катодних блоків електролізерів, індукційних печей, печей очистки, плавильного обладнання, ковшів, розливочних желобів, тощо;  - чорна металургія - коксові печі, рекуператори, мартенівські печі, процеси розливи металу.	600	20 350 600 800	0,1-0,11 0,14-0,16 0,19 0,23	1100
<b>Мулітокремнеземний войлок</b> МКРВ-200	Войлок із волокон мулітокремнеземного складу	Теплоізоляційна оболонка на ливарних формах та виливницях. З'ємні теплоізоляційні ковдри для парових і газових турбін	не більше 200	25 300 600	0,039 0,127 0,147	1150
<b>Мулітокремнеземні плити</b> теплоізоляційні МКРП-340.	З вогнетривкого волокна мулітокремнеземного складу	-Теплоізоляція термічних, нагрівальних печей всіх типів; колпакових печах та печах реформінгу, каталізу і повітронагрівачів; - В теплоенергетиці для футеровки котлів та печах газового нагріву, - В якості термокомпенсаторних швів.	340	600	0,23	1150

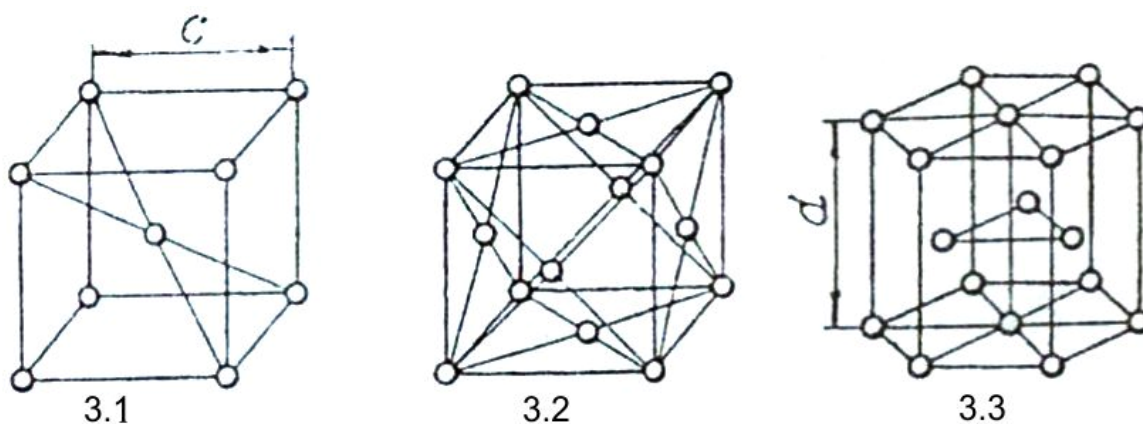
Волокнисті теплові ізоляції застосовуються у всіх галузях промисловості: від побутових газових і електропечей, холодильників до потужних теплових агрегатів у металургії, машинобудуванні та енергетиці. Матеріали екологічно чисті, їхнє застосування дозволяє зменшити матеріалоемність обмуровки і масу каркасу, об'єм фундаментів і загальну масу конструкцій, сприяє економії палива (особливо в печах періодичної дії).

### 3. БУДОВА І ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИПРОБУВАНЬ

#### 3.1. Кристалічна будова металів

Метали належать до речовин, які мають кристалічні будови. В кристалічних речовинах всі атоми розташовані у відповідному порядку і звичайно зображуються у вигляді кристалічної решітки. Форма і тип решітки залежить від взаємного розташування атомів у кристалі металу. Частіш за все зустрічаються такі типи кристалічних решіток:

- об'ємноцентрована і кубічна (ОЦК) (рисунок 3.1);
- кубічна гранецентрована (ГЦК) (рисунок 3.2);
- гексагональна щільноупакована (ГЩУ) (рисунок 3.3).



Рисунки 3.1 – 3.3 - Форми кристалічних решіток.

У системі ОЦК кристалізуються, наприклад, Fe, W, Cr, Mn; решітку ГЦК мають Al, Cu, Ni; ГЩУ – Zn, Be, Co, Ti.

Відстань між центрами атомів називається параметром або періодом решітки. У різних металів вона своя.

Наприклад, у Al вона дорівнює 4,041 нм. 1 нм (нанометр) =  $10^{-9}$  м.

Кількість атомів у кристалографічних площинах, проведених через центри атомів, у різних напрямках, неоднакова. Наприклад, у площині, проведеної через основу гексагональної решітки, їх 7, а в площині бічної грані – 4. А це призводить до того, що властивості таких монокристалів у різних напрямках неоднакові. Явище різноманітності властивостей в різних напрямках називають *анізотропією*.

Деякі метали при зміні температури (наприклад, Fe, Ti та ін.) здатні змінювати форму кристалічної решітки. Така властивість металів називається *поліморфізмом*, а перехід з однієї форми решітки в іншу – *поліморфним перетворенням*. Окремі поліморфні модифікації позначають літерами грецького алфавіту -  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ . На рисунку 3.4 наведено криву охолодження заліза, на якій можна простежити всі перетворення, що відбуваються при твердінні та подальшому охолодженню заліза.

Поліморфні перетворення супроводжуються зміною, не тільки будови кристалічної решітки металу, а й його властивостей – об'єму, пластичності тощо. Залізо також належить до поліморфних металів і може мати залежно від температури модифікації  $\alpha, \gamma, \delta$ . В інтервалі температур 1539-1392°C існує  $\delta$ -залізо з ОЦК решіткою і періодом 0,293 нм. В інтервалі температур 1392-911°C стійким є  $\gamma$ -залізо, яке має ГЦК решітку і параметр 0,356 нм, а густина його становить 8,0 г/см<sup>3</sup>,  $\alpha$ -залізо, яке існує при температурах нижчих за 911°C, має ОЦК решітку з періодом 0,286 нм і густину 7,68 г/см<sup>3</sup>.

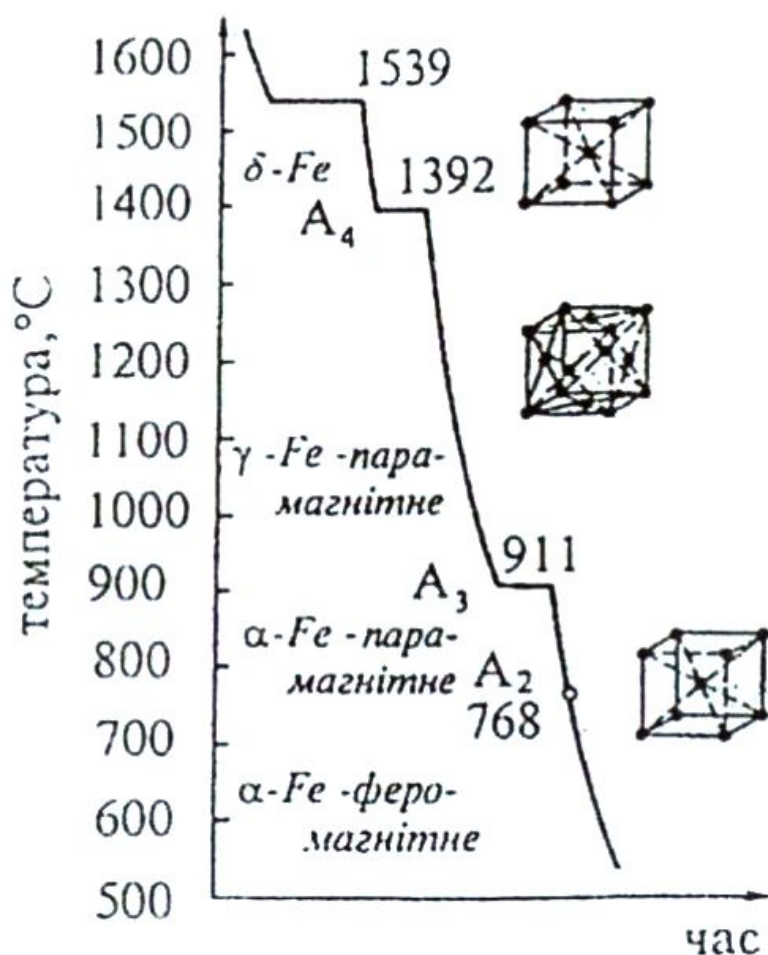


Рисунок 3.4 – Крива охолодження заліза.

Отже ми бачимо, що поліморфні перетворення заліза відбуваються при температурах 911°C, 1392°C, 1539°C. Ці температури називаються *критичними*, а точки на графіках і діаграмах, що відповідають цим температурам, *критичними точками*.

### 3.2. Основні властивості металів

Властивості металів визначаються їх природою та будовою. До них належать фізичні, механічні, хімічні та технологічні властивості.

*Фізичні* властивості: температура плавлення, теплоємність та теплопровідність, густина, лінійне розширення, електропровідність та магнітність.

*Хімічні* властивості визначаються здатністю металів чинити опір різним хімічним впливам, наприклад, корозійним діям різних активних середовищ (атмосфери, води, кислот, лугів тощо). Знання характеру поведінки металів у різних середовищах важливе для будівельників при виборі металів для конструкцій і визначенні способів захисту їх від дії навколишнього середовища.

До *механічних* властивостей належать: міцність, твердість, пластичність, зносостійкість, пружність, ударна в'язкість.

Механічні властивості характеризують працездатність металу, його здатність витримувати ті чи інші навантаження, чинити опір деформаціям, викликаним цими навантаженнями. На рисунку 3.5 показано види деформацій при навантаженнях.

*Технологічні* властивості визначають здатність металу піддаватись тому чи іншому виду обробки, характеризують поведінку металу під час обробки. Це такі властивості як зварюваність, ковкість, оброблюваність різанням, ливарні.

*Оброблюваність різанням* - дуже важлива технологічна властивість, оскільки в більшості випадків остаточне отримання форми здійснюється різанням. Залежно від таких характеристик, як пластичність, твердість, в'язкість змінюється здатність металів оброблятися різанням.

Впливати на оброблюваність, наприклад, сталі можна її термічною обробкою.

*Ковкість* - здатність металу оброблятися тиском у гарячому чи в холодному стані без ознак руйнування. Звичайно ж ковкість значною мірою визначається властивостями металу.

*Зварюваність* - здатність металів утворювати зварні з'єднання. Ця характеристика особливо важлива для теплостійких сталей, що застосовуються в енергетичному машинобудуванні для виготовлення різноманітного теплотехнічного обладнання.

*Ливарні властивості* визначаються такими характеристиками, як рідкоплинність, ліквация та усадка в процесі кристалізації розплавленого металу. Рідкоплинність характеризує здатність розплавленого металу заповнювати порожнину форми, особливо в її вузьких каналах. *Ліквация* - це схильність сплавів до утворення зон з неоднорідним хімічним складом у процесі кристалізації. Ліквация викликається тим, що складові сплаву, на відміну від чистих металів, кристалізуються при різних температурах та мають різну питому вагу.

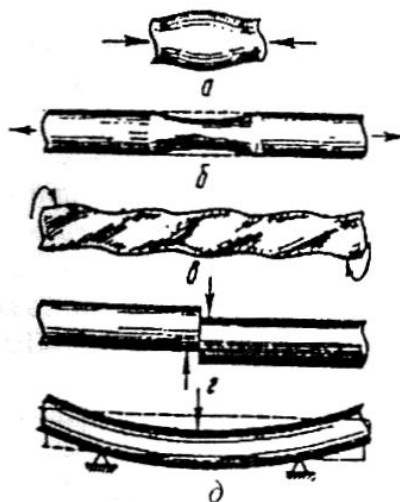
Звичайно, сплави, схильні до ліквации, непридатні для ливарного виробництва оскільки вони не забезпечують однорідність механічних характеристик деталі.

До *експлуатаційних* властивостей належать корозійна стійкість, холодостійкість, жаростійкість, жароміцність. Експлуатаційні характеристики визначають тривалість роботи механізмів машини чи елементів конструкції залежно від зовнішніх умов або характеру навантаження деталей.

### 3.3. Механічні випробування металів

Метали, які використовуються для виготовлення різних деталей або елементів конструкцій, піддають механічним випробуванням на розтягування, на твердість, ударну в'язкість, втомленість та знос.

При визначенні міцності при розтягуванні використовуються зразки спеціальної форми, які досліджують на розривних машинах. Характер деформацій при цьому вивчається в курсі "Опір матеріалів". На рисунку 3.5 наведено характер деформацій металу при різних видах навантажень.

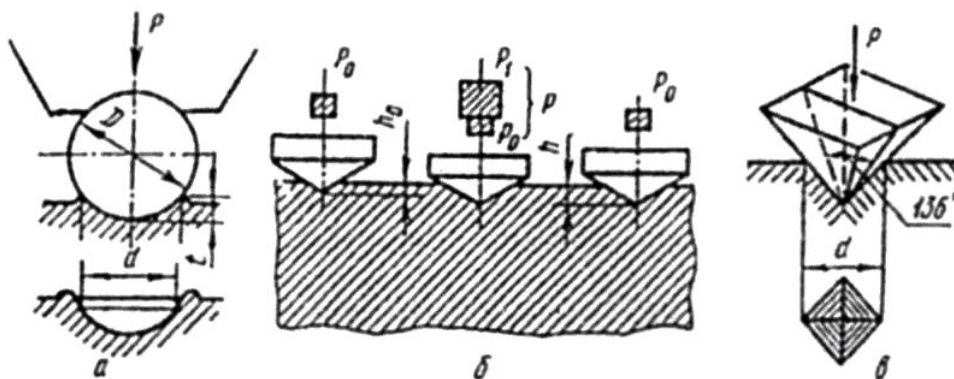


**Рисунок 3.5 – Види деформацій металу при різних навантаженнях:**  
**а – стиснення, б – розтягування, в – крутіння, г – вигін**

Випробування на твердість. Твердість характеризує здатність металу чинити опір проникненню в нього більш твердих матеріалів.

Випробування металу на твердість здійснюється вдавлюванням у нього твердої кульки, алмазного конуса чи піраміди. Для цього використовуються методи Брінелля, Роквелла та Віккерса.

За методом Брінелля дослідження здійснюють на спеціальному приладі вдавлюванням сталеві кульки діаметром  $D$  (див. рисунок 3.6, а). Після зняття навантаження на зразку залишається відбиток діаметром  $d$  у вигляді кульового сегмента.



**Рисунок 3.6 – Схеми способів визначення твердості металів**

Твердість за Брінеллем позначається HB. Її величина визначається за формулою:

$$HB = \frac{P}{F} = 2P / \left[ \pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \right]$$

Діаметр кульки, величину навантаження  $P$  і час витримки під навантаженням вибирають залежно від марки металу і товщини зразка.

На приладі Брінелля використовують кульки діаметрами 10, 5 або 2,5 мм під навантаженням до 30 кН (3000 кг). Зазвичай навантаження на кульку вибирають пропорційно квадрату діаметра кульки. Для сталі і чавуну  $P=30 D^2$ , для міді і її сплавів  $P= 10 D^2$ .

Практично числове значення твердості за Брінеллем визначається так: вимірюють діаметр відбитка на зразку за допомогою оптичної лупи (з поділками) і за отриманим значенням знаходять у таблиці відповідне йому число твердості.

За методом Брінелля не рекомендується виміряти величину  $HB > 450$ , наприклад гартованої сталі, оскільки при вимірюванні кулька деформується і показники будуть викривлені.

Для дослідження більш твердих матеріалів застосовують метод Роквелла. За методом Роквелла (рисунок 3.6, б) в зразок вдавлюють алмазний конус з кутом при вершині  $120^\circ$  або гартовану сталеву кульку діаметром 1,59 мм. За Роквеллом твердість вимірюється в умовних одиницях і позначається символом HR з доданням назви шкали, яка визначає умови випробування: HRA - алмазним конусом з навантаженням 600 Н (60 кгс), HRC - алмазний конус з навантаженням 1500 Н (150 кгс). Шкали A і C використовують при випробуванні дуже твердих матеріалів, шкалу B - для м'яких металів. При вимірюванні твердості HRB використовують кульку діаметром 1,588 мм,  $P= 1000$  Н.

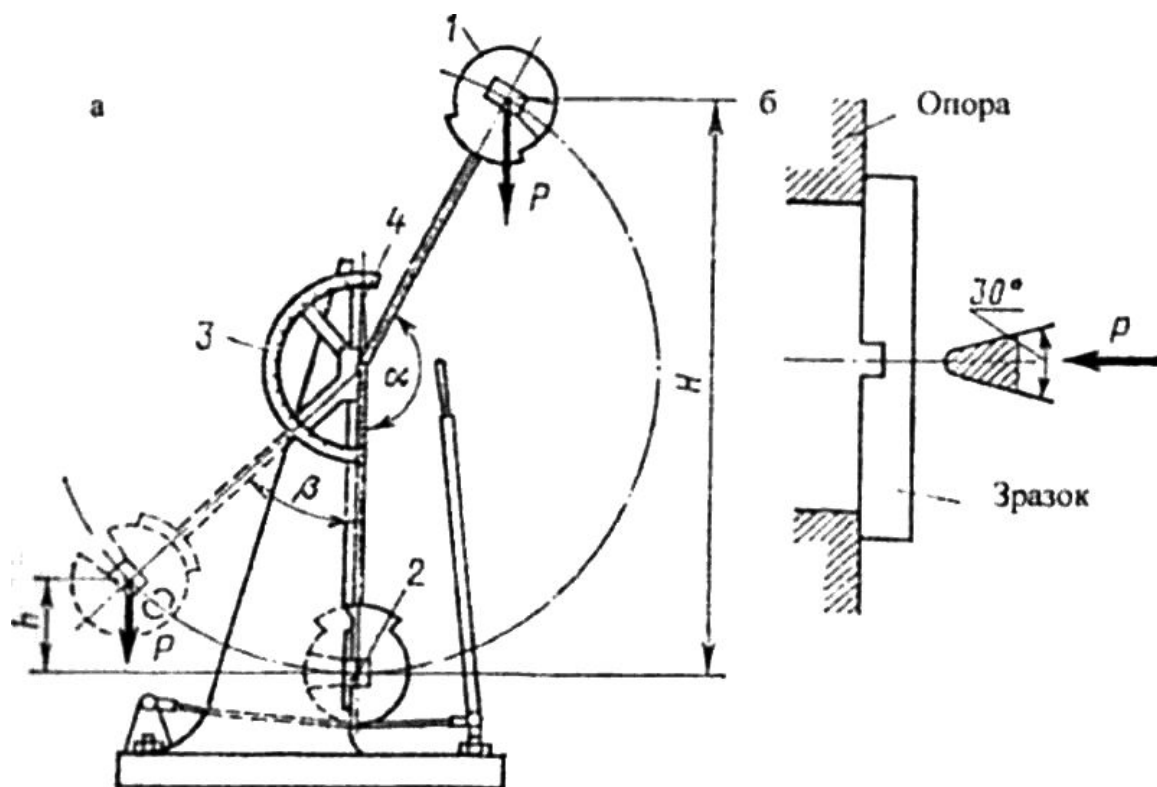
Як уже було сказано, твердість за Роквеллом вимірюється в умовних одиницях. Умовна величина одиниці твердості відповідає осьовому переміщенню наконечника на 0,002 мм. Значення твердості визначається за глибиною відбитка  $h$  і відраховується по циферблату індикатора, встановленого на приладі. Слід мати на увазі, що у всіх випадках попереднє навантаження  $P_0$  дорівнює 100 Н.

Оскільки абсолютні величини чисел твердості за Брінеллем і Роквеллом не збігаються, то для порівняння твердості металів, визначеної різними методами користуються спеціальними таблицями.

При визначенні твердості за Віккерсом як вдавлюваний наконечник використовують чотиригранну алмазну піраміду з кутом при вершині  $136^\circ$  (рисунок 3.6, в). При випробуваннях застосовують навантаження від 50 до 1000 Н. Вимірювання здійснюється так: міряють довжини обох діагоналей відбитка після зняття навантаження за допомогою шкали мікроскопа і за отриманим середньоарифметичним значенням довжини діагоналі знаходять у таблиці відповідне йому число твердості. Твердість за Віккерсом позначається символом HV, наприклад - HV500.

Ударна в'язкість характеризує здатність матеріалу чинити опір динамічним навантаженням. Ударну в'язкість визначають як відношення роботи, витраченої на злом зразка  $W$  (в МДж), до площі його поперечного перерізу  $F$  (в  $\text{м}^2$ ) в місці надрізу  $KC=W/F$ .

Випробування на ударну в'язкість здійснюють за допомогою маятничого копра (рисунок 3.7, а). Для досліджень використовуються квадратні зразки з надрізом і робиться це так:



**Рисунок 3.7 – Маятниковий копер**

Зразок встановлюють на спеціальних опорах так, як показано на рисунку 3.7, б. Перед випробуванням маятник 1 піднімають вгору на кут  $\alpha$  і закріплюють. Потім маятник вивільнюється, падає і б'є по зразку 2 проти надрізу. Після руйнування зразка маятник проходить далі, піднімаючись на деякий кут  $\beta$  від вертикальної осі. Механічна робота, необхідна для руйнування, фіксується стрілкою 4 на шкалі 3. Знаючи висоту підйому маятника до удару  $H$  і висоту підйому після удару  $h$ , можна визначити роботу руйнування (Дж) за формулою

$$W=G(H-h),$$

де  $G$  - маса маятника, кг.

Оскільки площа поперечного перерізу зразка в вузькому місці відома, можна визначити величину ударної в'язкості.

При позначенні ударної в'язкості додають і третю літеру, яка вказує на вид надрізу на зразку: U, V, T. Наприклад, KCV означає ударну в'язкість при V-подібному надрізі.



*Втомлюваність* — це процес поступового накопичення ушкоджень матеріалу під дією повторно-перемінних напруг, які призводять до утворення тріщин і руйнування. Втомлюваність металу обумовлена концентрацією напруг в окремих його об'ємах, в яких є неметалічні включення, газові пузири або якісь локальні дефекти. Характерним є злом від втомленості, який утворюється після руйнування внаслідок багаторазового навантаження. В ньому яскраво видно дві різних на зовнішній вигляд частини (рисунок 3.8).



*Рисунок 3.8 – Злам від втомленості*

Одна частина 1 зламу, ближча до зовнішнього контуру з рівною (стертою) поверхнею, утворюється внаслідок тертя поверхонь в області тріщин, які виникають від дії повторно-перемінних навантажень. Друга частина 2 з зернистим зломом виникає в момент руйнування зразка.

Дослідження на втомленість виконується на спеціальних машинах. Завдяки цим дослідженням визначають межу витривалості, яка характеризує опір втомленості матеріалу.

### **3.4. Металографічні дослідження будови металів**

У процесі виявлення властивостей матеріалу виникає потреба з'ясувати: як форму і розміри мають кристали після обробки тиском, лиття чи термообробки встановити наявність тріщин, раковин чи неметалічних включень. Все це виявляється за допомогою металографічних досліджень. Використовуються два методи - макроскопічний і мікроскопічний.

Макроскопічний метод дає уявлення про структуру литого металу чи зварного з'єднання при розгляді його неозброєним оком або за допомогою лупи зі збільшенням у 5-10 разів. Макроскопічним методом можна визначити глибину гартованого чи товщину цементованого шару.

Мікроскопічний метод полягає в дослідженні структури металу за допомогою мікроскопів. Оскільки метали непрозорі для світлових променів, їх треба досліджувати на зломах або за допомогою спеціально підготовлених

шліфів. Дослідження структури за зломами застосовується у випадку вивчення причини руйнування деталі чи конструкції.

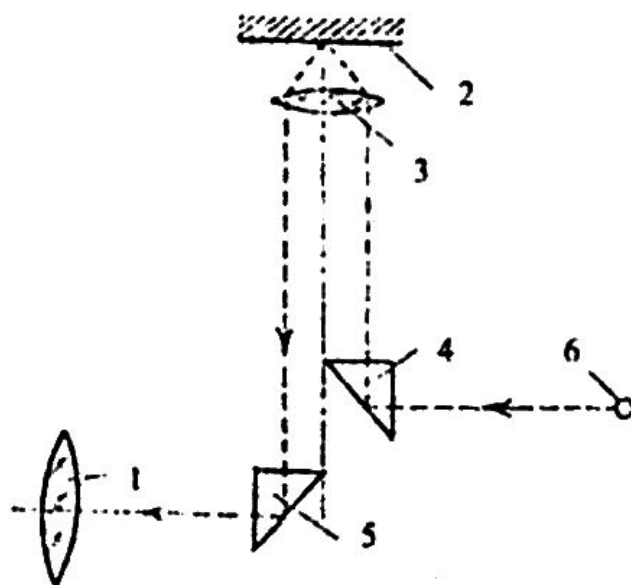
Для мікродосліджень виготовляють спеціальний шліф. З деталі чи конструкції вирізають зразок. Досліджувану поверхню ретельно оброблюють, потім шліфують за допомогою спеціального плоскошліфувального верстата і шліфувального паперу різної зернистості. Після цього метал піддають травленню кислотою.

Властивості кристалів, у тому числі і розчинність, різні в різних напрямках. Границі між кристалами, які містять підвищений процент домішок, розчинюються швидше кристалів. Завдяки цьому після травлення можна отримати чітку картину кристалічної будови металу.

Мікроскопічні дослідження здійснюють за допомогою мікроскопів відбитого світла, які називають металографічними. Принципова схема такого мікроскопа наведена на рисунку 3.9.

Промені від джерела світла 6, заломлюючись призмою 4, проходять через об'єктив 3, відбиваються від поверхні мікрошліфа 2 і знову проходять через об'єктив. Завдяки цьому отримується збільшене зображення, яке заломлюється призмою 5, і промені через окуляр 1 потрапляють в око. Таким чином зображення збільшується двічі у 1500-2000 раз.

Внутрішні дефекти відливок, зварних швів можна визначити просвічуванням металу рентгенівськими або гама-променями. Рентгенівські промені здатні проникати в сталь та інші метали на достатню глибину,  $\gamma$ -промені мають довжину хвилі меншу, ніж рентгенівські, тому їх проникна здатність вища.



*Рисунок 3.9 – Схема металографічного мікроскопа*

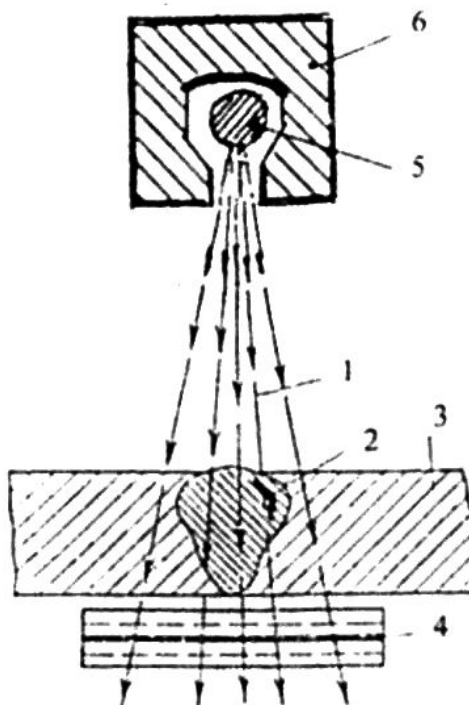
Недолік рентгенівського методу полягає в складності і ламкості обладнання. Тому він застосовується в стаціонарних умовах, тоді як виявлення дефектів  $\gamma$ -променями можна здійснювати і в польових умовах.

Принципи виявлення дефектів рентгенівськими і  $\gamma$ -променями схожі.

Схема просвічування зварного шва показана на рисунку 3.10.

У свинцевому контейнері 6 розташоване джерело випромінювання 5. При проходженні променів 1 через деталь 3 інтенсивність променевого потоку зменшується. Метал сильно поглинає промені. В місці дефекту 2 інтенсивність потоку більша, ніж на сусідніх ділянках. Плівка 4 засвічується сильніше в місці дефекту, тобто дефекти на плівці проявляються темною плямою. Якщо дефектів немає, то на плівці видно світлу смужку на темному фоні.

Для вивчення атомно-кристалічної будови металів і сплавів останнім часом застосовуються електронні мікроскопи, які дають збільшення до 20000 раз і більше.



*Рисунок 3.10 – Схема просвічування зварного шва  $\gamma$ -промінням*

#### 4. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СПЛАВИ ТА ЇХ РІЗНОВИДИ

Як свідчить практика, чисті метали в багатьох випадках за своїми властивостям не задовольняють вимог експлуатаційників. Таким вимогам більше відповідають сплави, що являють собою речовини, отримані сплавленням металів з металами, або металів з неметалами.

Властивості сплавів залежать від їх будови і співвідношення компонентів, що утворюють сплав.

При отриманні сплаву в ньому виникають однорідні частини з однаковою кристалічною будовою, властивостями і складом зерен, які називаються *фазами*. Сплави можуть бути однофазними, двофазними і т. ін.

При утворенні сплавів у них можуть бути отримані механічні суміші, тверді розчини і хімічні сполуки.

Механічні суміші утворюються тоді, коли компоненти сплаву не розчиняються один в одному і не утворюють хімічну сполуку. При розгляді такого сплаву під мікроскопом чітко проглядаються кристали компонента А, розташовані між кристалами компонента Б (рисунок 4.1).

При утворенні твердого розчину атоми розчинюваного компонента розташовуються між атомами в кристалічній решітці розчинника. На відміну від рідкого розчину в твердому розчині атоми розташовані з відповідною закономірністю у вигляді кристалічної решітки. При цьому утворюються тверді розчини заміщення або впровадження.

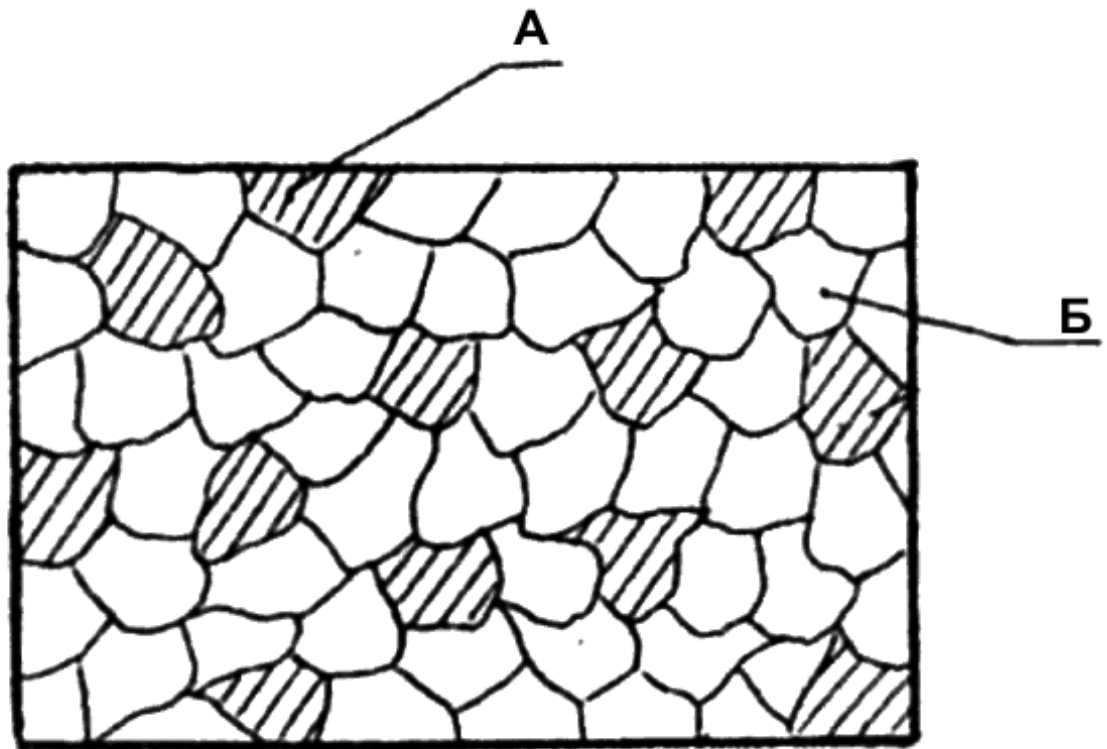


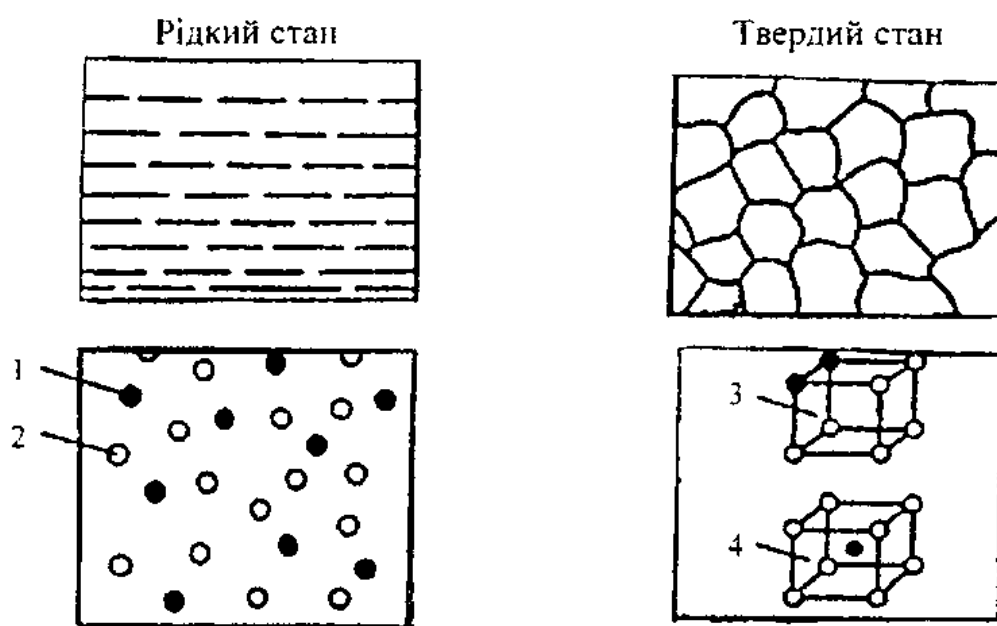
Рисунок 4.1 – Схема мікроструктури механічної суміші

Отже, в твердому розчині речовина-розчинник зберігає властиву їй кристалічну решітку і ця решітка спостерігається при розгляді під мікроскопом (рисунок 4.2, б).

*Хімічна сполука*, як і твердий розчин, має однорідну структуру, а утворена кристалічна решітка складається з атомів двох компонентів. Хімічні сполуки утворюють метали, які в періодичній системі Д.І. Менделєєва розташовані далеко один від одного і дуже різняться властивостями.

#### 4.1. Діаграми стану сплавів

Більшість технологічних завдань можна розв'язати правильно, знаючи, які перетворення відбуваються в сплаві при нагріванні та охолодженні. У таких випадках користуються діаграмами стану сплаву.



**Рисунок 4.2 – Структура і будова елементарної комірки розчинів з двох металів А і Б: 1 – атоми металу А, 2 – атоми металу Б, 3 – решітка твердого розчину заміщення, 4 – решітка твердого розчину впровадження**

Діаграма стану сплаву являє собою графічне зображення перетворень у сплаві, які відбуваються залежно від температур і процентного вмісту компонентів, що утворюють сплав.

Діаграма стану сплаву будується на підставі кривих охолодження, отриманих шляхом лабораторних досліджень.

Яскравим прикладом діаграми стану подвійного сплаву є *діаграма залізоуглецевих сплавів*. При розгляді цієї діаграми слід звернути увагу, що максимально можливий вміст вуглецю в цих сплавах =6,67%, коли сплав утворює сполуку  $Fe_3C$ , яка називається *цементит*. Оскільки для отримання подвійної діаграми передбачається при побудові сітки координат наявність зліва 100% одного компонента, а справа - іншого, то у випадку залізоуглецевих сплавів передбачається зліва 100% заліза, а справа – 100%  $Fe_3C$  Тому така ді-

аграма носить назву діаграми стану "залізо-цементит". Для зручності по осі абсцис нанесена і зміна процентного вмісту вуглецю. Спрощена діаграма стану Fe-Fe<sub>3</sub>C зображена на рисунку 4.3.

У цій діаграмі розглядаються процеси кристалізації залізобуглецевих сплавів перетворень в них при повільному охолодженні від рідкого розплаву до кімнатної температури. На лівій ординаті нанесено критичні точки для чистого заліза, на правій – властиві цементиту.

Діаграма показує фазовий склад і структуру сплавів з концентрацією від чистого заліза до цементиту. Сплави з вмістом вуглецю до 2,14 % називаються сталями, більше 2,14 % - чавунами.

*Первинна кристалізація* відбувається по лінії ACD. Ця лінія називається лінією *ліквідус*. Вище цієї лінії сплав перебуває в рідкому стані.

Лінія AECD - називається лінією *солідус*. Нижче цієї лінії сплав перебуває в твердому стані.

*Вторинна кристалізація* (перетворення в твердому стані) відбувається при температурах, які відповідають лініям GSE, PSK, GPQ.

Залежно від температури і концентрації вуглецю сплави мають такі структурні складові:

- *ферит* - твердий розчин вуглецю в  $\alpha$ -залізі. Ферит має незначну твердість (НВ 80-100) і міцність ( $\sigma_B = 250$  МПа), але високу пластичність ( $\delta = 50\%$ ). Найбільша розчинність вуглецю в Fe <sub>$\alpha$</sub>  (0,02%) при T=727°C.

- *аустеніт* - твердий розчин вуглецю в  $\gamma$ -залізі. Гранична розчинність вуглецю в Fe <sub>$\gamma$</sub>  2,14 % при температурі 1147°C. Нижня межа існування аустеніту 727°C при вмісті вуглецю 0,8 %. Твердість аустеніту НВ 160-200, він має високу пластичність ( $\delta = 40-50\%$ ).

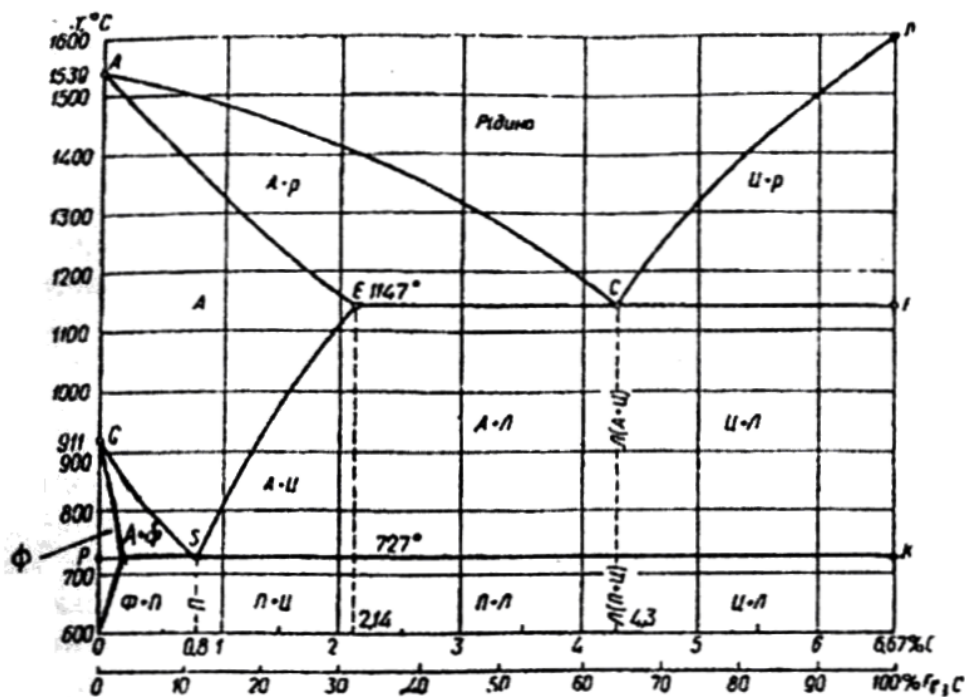


Рисунок 4.3 – Діаграма стану сплаву «залізо-цементит»: А – аустеніт, Ф – ферит, П – перліт, Л – ледебурит, Ц – цементит, Р – рідкий стан.

- *перліт* - механічна суміш фериту і цементиту, що вміщує 0,8% вуглецю. Перліт може бути пластинчастої форми і зернистим. Механічні характеристики перліту:  $\alpha_b = 800$  МПа,  $\delta = 15\%$ , НВ 160.

- *цементит* - хімічна сполука  $Fe_3C$ , в ньому 6,67% вуглецю, температура плавлення близько  $1600^\circ C$ , дуже твердий (НВ 800), крихкий і практично не пластичний. Цементит нестійкий і за відповідних умов розпадається, виділяючи вільний вуглець у вигляді графіту за реакцією  $Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$ .

- *ледебурит* - механічна суміш аустеніту і цементиту з вмістом вуглецю 4,3%.

Сталь з вмістом вуглецю 0,8% називається евтектоїдною; з вмістом вуглецю від 0,02 до 0,8 - доевтектоїдною, а від 0,8 до 2,14% вуглецю - заевтектоїдною.

Чавун з вмістом вуглецю 4,3% називають евтектичним, з вмістом вуглецю від 2,14 до 4,3% називають доевтектичним, а від 4,3% і більше - заевтектичним.

## 4.2. Термічна та хіміко-термічна обробка сталі

### 4.2.1. Сутність термічної обробки

Термічна обробка являє собою процес теплової дії на метал, який полягає в нагріванні металу до відповідної температури, витримці і охолодженні металу за відповідним режимом. Внаслідок таких дій відбувається зміна структури металу і отже, фізичних і механічних властивостей в широких межах.

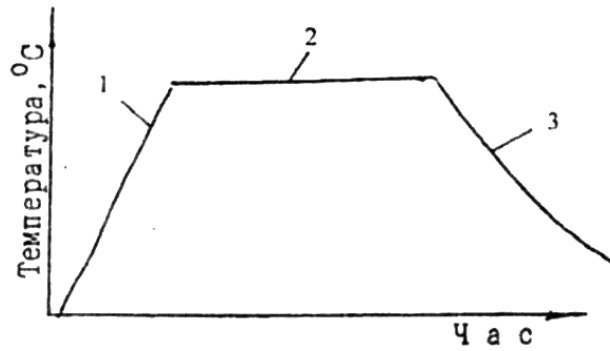
Спрощений графік термічної обробки наведено на рисунку 4.4.

Термічна обробка сталі заснована на перетвореннях у ній, що відбуваються в твердому стані зі зміною температури нагрівання, тобто на фазових перетвореннях.

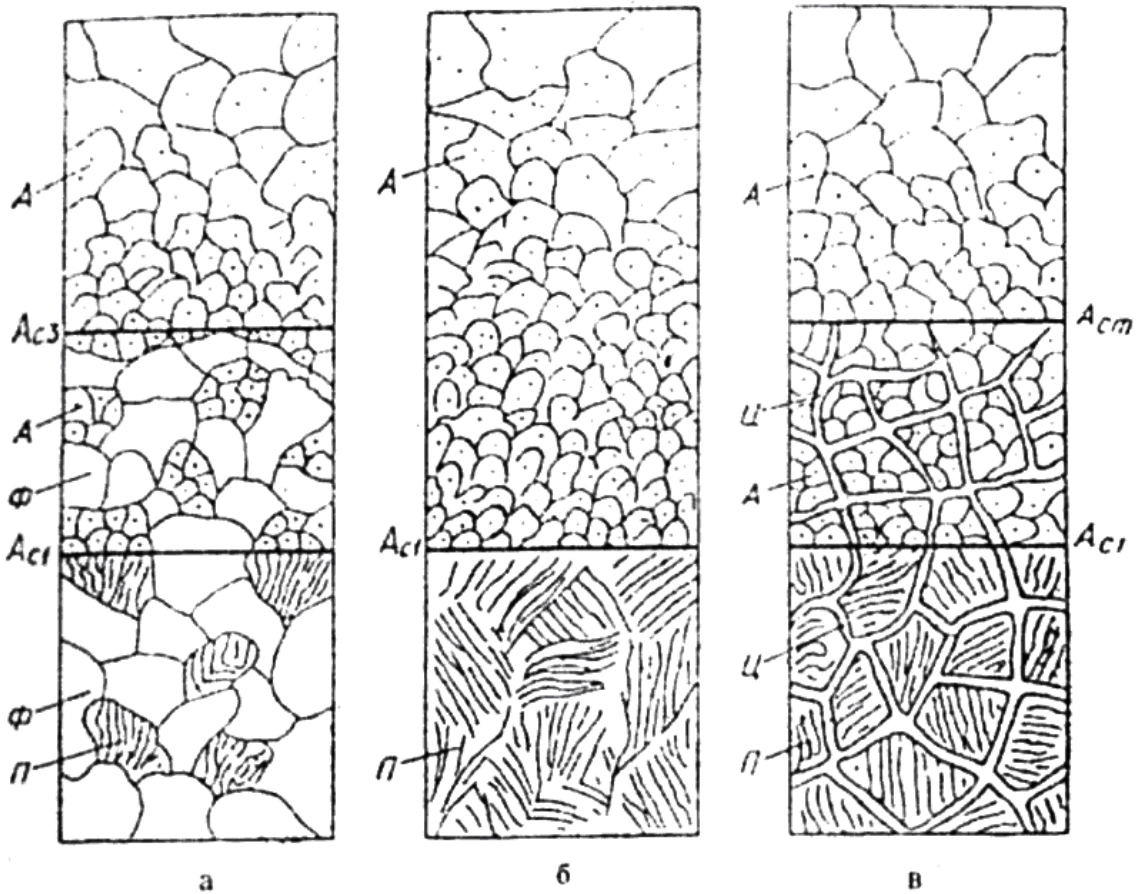
Перетворення в сталі при нагріванні. Розглядаючи діаграму залізовуглецевих сплавів (зона сталей) бачимо, що при нагріванні сталі нижче від лінії PSK (точка  $A_{C1}$ ) в ній ніяких фазових перетворень не відбувається. Вони починаються при нагріванні вище лінії PSK, коли перліт перетворюється на аустеніт.

З діаграми видно, що структура евтектоїдної сталі при нагріванні вище точка  $A_{C1}$  цілком складається з аустеніту. У доевтектоїдній сталі при цій температурі спостерігається і залишковий ферит, а в структурі заевтектоїдної - цементит. При більш високих температурах (вище ліній GS і SE) ферит і цементит розчиняються в аустеніті. Схематичний характер наведених вище перетворень добре видно на рисунку 4.5.

Перетворення в сталі при охолодженні. Коли нагріту сталь до аустенітного стану охолоджувати дуже повільно, то в ній перетворення будуть відбуватись за схемою, наведеною на рисунку 4.5(б), але в зворотному напрямку. При цьому аустенітно-перлітне перетворення відбудеться при температурі  $727^\circ C$  (при охолодженні ця точка позначається  $A_{T1}$ ).



**Рисунок 4.4 – Графік термічної обробки: 1 – нагрівання, 2 – витримка, 3 – охолодження**

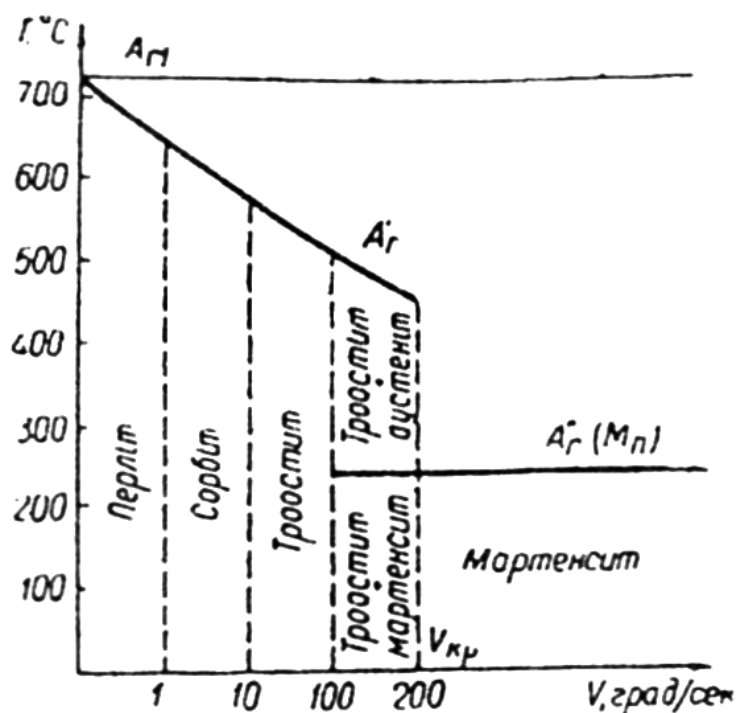


**Рисунок 4.5 – Схематичний характер перетворень при нагріванні в доевтектоїдній(а), евтектоїдній (б), заевтектоїдній (в) сталях**

Із збільшенням швидкості охолодження фазові і дифузійні процеси в сталі уповільнюються, процес перетворення аустеніту відбувається інакше, з затримкою. Внаслідок цього в сталі утворюються нерівноважні (метастабільні) структури і вона набуває інших властивостей.

Збільшення швидкості охолодження призводить до зниження точки  $A_{r1}$ , тобто до переохолодження аустеніту до температур, нижчих за  $727^{\circ}\text{C}$ . Такі температури позначають уже  $A'_r$ . Залежність положення критичних точок евтектоїдної сталі і характер отримуваних структур залежно від швидкості охолодження наведено на рисунку 4.6.





**Рисунок 4.6 – Вплив швидкості охолодження сталі на характер отримуваних структур**

Як видно з рисунка, при охолодженні з швидкістю до 1 град/с аустеніт розпадається з утворенням перлітної структури з твердістю HB 180-250.

Зі збільшенням швидкості до 10 град/с відбувається сильніше переохолодження. Аустеніт розпадається з утворенням також феритно-цементитної суміші, але більш дисперсної, ніж перліт. Її називають сорбітом (С). Ця структура має твердість HB 250-300 і ударну в'язкість 0,8-1,2 МДж/м<sup>2</sup>.

При швидкості охолодження до 100 град/с аустеніт розпадається при такому переохолодженні на дуже дрібні частки фериту і цементиту, троостит, що має HB 350-400, але ударна в'язкість падає до 0,2-0,3 МДж/м<sup>2</sup>.

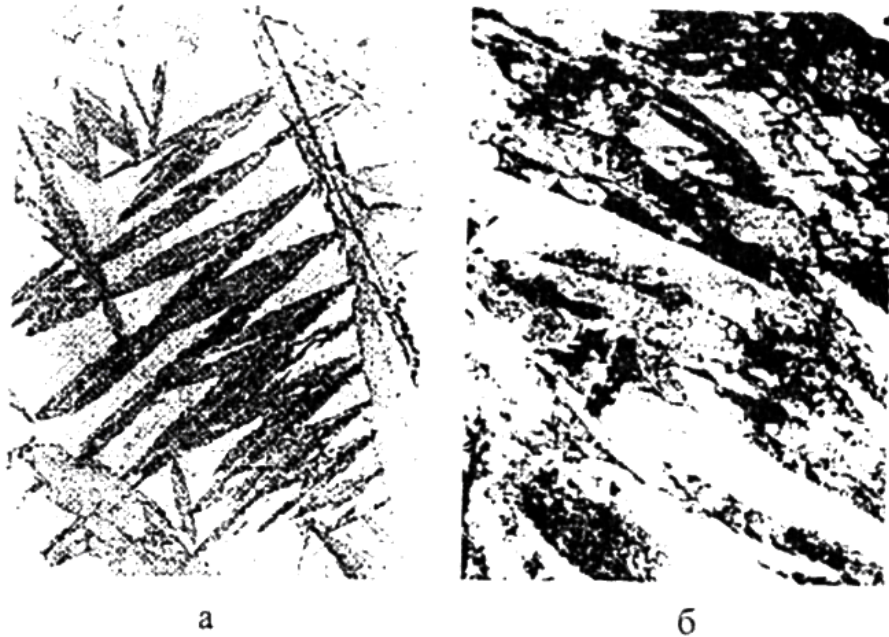
При ще дальшому збільшенні швидкості охолодження до 200 град/с частини аустеніту переохолоджується ще до нижчої температури  $A_r''$  з перетворенням на мартенсит.

Мартенсит являє собою твердий пересичений розчин вуглецю в  $\alpha$ -залізі. Внаслідок великого викривлення кристалічної решітки твердість мартенситу сягає HB 600-650, а ударна в'язкість зменшується до 0,1 МДж/м<sup>2</sup>.

Окремі кристали мартенситу мають вигляд широких тонких пластин, які шліфі виявляються у вигляді голок, розташованих паралельно одна до одної або під кутом, - пластинчастий мартенсит (рисунок 4.7, а). Крім того, він може мати структур; вигляді тонких рейок, зібраних у пакети - пакетний, або масивний мартенсит (рисунок 4.7, б). Пластинчастий мартенсит властивий високовуглецевим сталям, рейковий - конструкційним вуглецевим та легованим сталям.

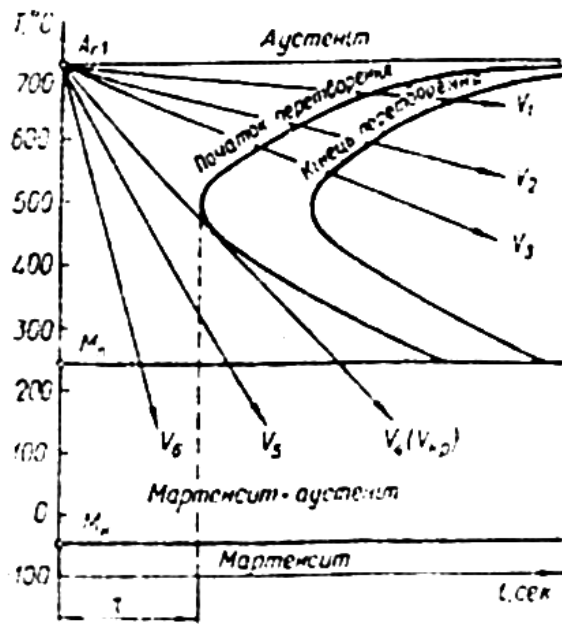
Температура мартенситного перетворення для евтектоїдної сталі не залежить від швидкості охолодження і становить 240 °С

Мінімальна швидкість охолодження, при якій у сталі відбувається лише мартенситне перетворення, називається *критичною швидкістю охолодження*  $V_{кр}$ . Для розглянутого нами випадку (дивись рисунок 4.8) вона становить 200 град/с.



**Рисунок 4.7 – Мікроструктура мартенситу (вуглецева сталь: а – пластинчастий  $\times 500$ , б – пакетний  $\times 2500$ )**

Більш повне розуміння кінетики розпаду аустеніту дає *діаграма ізотермічного перетворення аустеніту*, тобто перетворення при постійній температурі (рисунок 4.8).



**Рисунок 4.8 – Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту евтектоїдній сталі (У8)**

6

Діаграма отримується експериментальним шляхом при різних швидкостях охолодження і являє собою дві С-подібні криві, які відображають поча-

ток і кінець ізотермічного перетворення аустеніту при різних температурах, тобто залежно від ступеня переохолодження.

Як видно з малюнка, ізотермічне перетворення аустеніту починається через деякий проміжок часу, який визначається мірою його переохолодження, спочатку цей проміжок зменшується до деякої критичної величини  $t$ , а потім знову збільшується.

Перетворення аустеніту на мартенсит відбувається не при сталій температурі а в інтервалі між точками  $M_n$  і  $M_k$ .

Для евтектоїдної вуглецевої сталі точка  $M_k$  відповідає температурі мінус  $50^\circ\text{C}$  Тому при охолодженні до кімнатної температури перетворення аустеніту не закінчується і в структурі сталі поряд з мартенситом зберігається деяка частина аустеніту, що не розпався. Його називають залишковим ( $A_3$ ).

Розташування точок  $M_n$  і  $M_k$  визначається хімічним складом сталі.

#### 4.2.2. Види термічної обробки

Залежно від режимів нагрівання і охолодження розрізняють такі види термічної обробки сталі: відпал, нормалізація, гартування і відпуск.

*Відпал* - це операція, при якій сталь нагрівають вище критичних точок, витримують при цій температурі і охолоджують повільно разом з піччю. Після відпалу сталь отримує стійку структуру. Мета відпалу - підвищення пластичності і зменшення твердості сталі, зняття внутрішніх напруг після лиття, при зварюванні та інших процесах.

Відпал буває повний і неповний. Повний відпал здійснюють нагріванням вище точки  $A_{c3}$  (для доевтектоїдних сталей) або  $A_{c1}$  (для заевтектоїдних сталей) на  $30-50^\circ\text{C}$  з наступним охолодженням (рисунок 4.9). При повному відпалі отримується перлітно-феритна структура.

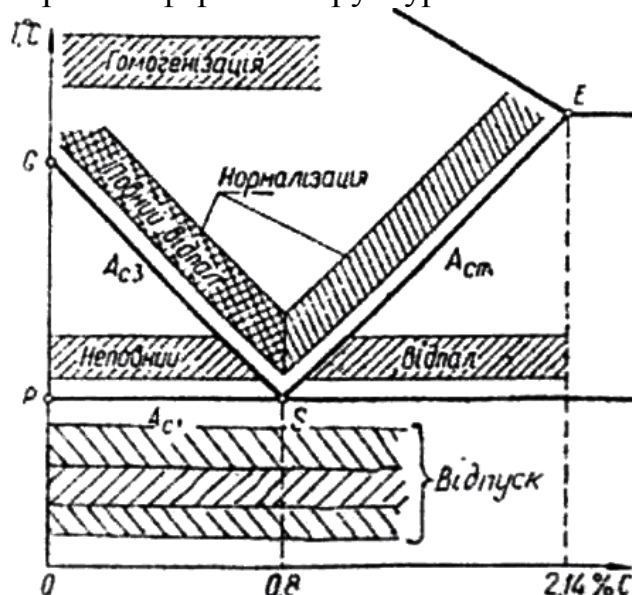


Рисунок 4.9 – Діапазон температур відпалу та нормалізація сталі

При неповному відпалі сталь нагрівають вище точки  $A_{c1}$ . При таких температурах відбувається тільки перекристалізація перліту, а ферит (у доевте-

ктоїдних сталях) і цементит (у заевтектоїдних) залишаються без змін. Переважною метою неповного відпалу є зняття внутрішніх напружень у сталі.

Сталеві заготовки і вироби тонкого перерізу часто виготовляють штампуванням, прокатуванням або волочінням. У холодному стані відбувається її поверхневе зміцнення - *наклеп*, що викликає значні внутрішні напруження; така сталь стає дуже міцною і твердою, але водночас дуже крихкою. Структура наклепаної сталі складається з витягнутих в одному напрямку зерен, її кристалічна решітка спотворена.

Щоб усунути наклеп, треба змінити структуру сталі, отримати рівноважні зерна. Цей процес відновлення структури називається *рекристалізацією*, а вид термічної обробки, за допомогою якої цей процес здійснюється - *рекристалізаційним відпалом*. Такий відпал відбувається при температурі 600-700°C. Після нетривалої витримки при зазначеній температурі виріб охолоджується на повітрі. Твердість і міцність сталі зменшуються, зате підвищуються її пластичність і в'язкість.

*Нормалізація* полягає в нагріванні сталі на 30-50°C вище лінії GS (точка  $A_{C3}$ ) або лінії SE (точка  $A_{C1}$ ) (рисунок 4.9), витримці при цій температурі і наступному охолодженні на спокійному повітрі. У маловуглецевих сталях (до 0,3%С) після нормалізації утворюється більш дрібнозерниста феритоперлітна структура, ніж після відпалу. У середньовуглецевих сталях (0,3-0,5% С) при нормалізації утворюється сорбітоподібний перліт. У нормалізованому стані ці сталі мають кращі механічні властивості. Тому цю операцію іноді називають операцією поліпшення.

*Гартуванням* називається термічна обробка, при якій сталь нагрівають до температур на 30-50°C вище точки  $A_{C3}$  (для доевтектоїдних сталей) або  $A_{C1}$  (для заевтектоїдних статей, неповне гартування), витримують деякий час при цій температурі і потім охолоджують зі швидкістю, рівною або більшою за критичну. Утворення після гартування нерівноважних структур забезпечує отримання більш високої міцності і твердості сталі.

Для досягнення максимальної твердості при гартуванні прагнуть отримати мартенситну структуру. Як уже говорилося раніше, найменша швидкість, необхідна для переохолодження аустеніту до мартенситного, називається критичною швидкістю гартування.

Швидкість охолодження сталі визначається охолодною здатністю гартівного середовища (дивись таблицю 4.1).

**Таблиця 4.1 - Інтенсивність охолодження сталі у різних гартівних середовищах**

Гартівне середовище	Швидкість охолодження сталі в інтервалі температур, (°C в с)	
	600...550°C	300...200°C
Вода, 18°C	600	270
Вода, 50°C	100	270
10%-ний розчин NaOH у воді при температурі	1200	300
Мінеральне масло	100...150	20...50
Повітря	3	1

Істотним недоліком води є те, що в момент аустенітно-мартенситного перетворення вона охолоджує сталь з великою швидкістю ( $\approx 300$  град/с), що призводить до великих внутрішніх напружень, які можуть викликати жолоблення, а іноді і розтріскування загартованих деталей.

Оскільки мінеральне масло охолоджує сталь приблизно в 10 разів повільніше за воду, то внутрішні напруження значно зменшуються. Але у верхньому інтервалі температур воно не забезпечує критичної швидкості охолодження. Тому після гартування в маслі сталі мають не мартенситну, а трооститно-мартенситну структуру.

*Відпуск.* Як відзначалось раніше, гартована сталь перебуває в напруженому стані і має високу крихкість. Для зменшення внутрішніх напружень і зниження твердості застосовують операцію *відпуск*. Зазвичай відпуск здійснюють після гартування деталей.

При цьому швидкість охолодження для більшості сталей не має особливого значення. Щоб прискорити процес, деталі звичайно охолоджують в воді або маслі. Розрізняють низький, середній і високий відпуск.

При низькому відпуску деталі нагрівають до  $150-200^{\circ}\text{C}$ . Після охолодження структура сталі практично не змінюється, зменшується напруження, дещо підвищується в'язкість, твердість суттєво не змінюється.

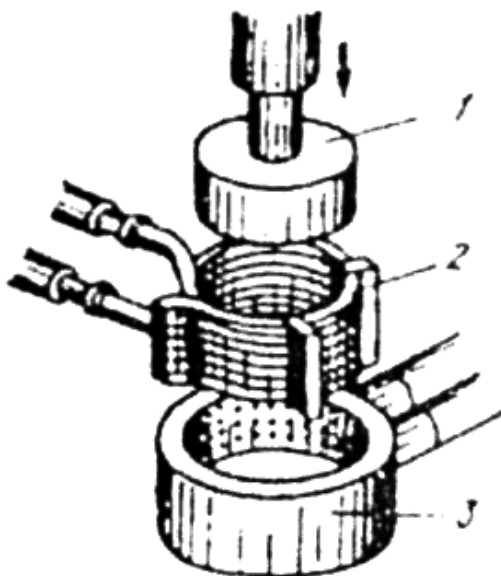
Середній відпуск здійснюють нагріванням сталі до  $350...450^{\circ}\text{C}$ . При цьому мартенсит перетворюється на троостит, твердість зменшується до 400 НВ, суттєво підвищується в'язкість. Середньому відпуску піддають деталі машин, які працюють при помірних ударних навантаженнях.

При високому відпуску гартовану деталь гріють до температури в межах  $450...650^{\circ}\text{C}$ . Таке нагрівання викликає утворення сорбітної структури і майже повністю знімає напруження при збереженні достатньої міцності, в'язкості і твердості сталі. Високому відпуску піддають такі деталі, як вали, шестерні тощо.

Поверхнєве гартування сталі. У багатьох випадках умови експлуатації не дозволяють використовувати деталі суцільно загартовані, які не витримують динамічних навантажень і можуть давати тріщини. Щоб зберегти в'язку серцевину і отримати твердий і зносостійкий поверхневий шар, застосовується *поверхнєве гартування*. При цьому серцевина, залишаючись в'язкою, добре сприймає ударні навантаження, а поверхневий шар має гарну працездатність (шийки валів, зуби шестерень, поршневі пальці т. ін.).

Найбільше поширений зараз у промисловості спосіб нагрівання для поверхневого гартування індукційним струмом високої частоти (СВЧ). До того ж, цей спосіб дає можливість повністю автоматизувати процес гартування. Для цих цілей використовують машинні генератори які дають струм частотою  $0,5-10$  кГц.

Принципова схема нагрівання за допомогою СВЧ наведена на рисунку 4.10.



**Рисунок 4.10 – Установка поверхневого гартування струмом високої частоти**

Індуктор являє собою спіраль або кільце з мідної трубки, що охолоджується. Через індуктор пропускається струм високої частоти, який отримується від машинного генератора. СВЧ утворює навколо виробу потужне перемінне магнітне поле, за допомогою якого в деталі індукуються вихрові струми. Оскільки вихрові струми концентруються в поверхневих шарах виробу, то при багаторазовому перемагнічуванні деталі вони обумовлюють швидке нагрівання поверхневих шарів і при охолодженні відбувається їх гартування.

Тривалість нагрівання СВЧ мала - вона вимірюється секундами. Потрібну глибину нагрівання отримують зміною частоти струму, а температуру поверхні деталі - тривалістю перебування її в індукторі.

Для гартування на глибину понад 2 мм використовують машинні генератори з частотою струму до 10000 Гц. Для гартування шару меншої товщини користуються ламповими генераторами, які створюють струм дуже високої частоти.

Для гартування СВЧ використовують вуглецеві сталі з вмістом вуглецю близько 0,4%, оскільки при меншому вмісті вуглецю поверхневий шар не набуде необхідної твердості.

#### **4.2.3. Хіміко-термічна обробка**

Хіміко-термічній обробці (ХТО) піддають деталі, що працюють в умовах, аналогічних до деталей з поверхневим гартуванням. ХТО - це процес насичення поверхневого шару різними хімічними елементами при відповідній температурі.

За рахунок ХТО досягається зміна хімічного складу поверхневого шару деталі і більша відмінність властивостей поверхні від серцевини деталей.

ХТО здійснюється шляхом дифузії атомів різних хімічних елементів у кристалічну решітку заліза при нагріванні деталей в середовищі, що містить ці елементи. Середовища можуть бути газоподібними, рідкими і твердими.

Найпоширенішими видами хіміко-термічної обробки є цементация (насичення вуглецем), азотування (насичення азотом) і нітроцементация (одночасне насичення вуглецем і азотом).

*Цементация* застосовується для деталей з вмістом вуглецю до 0,2%. Мета цементации - довести вміст вуглецю в поверхневому шарі сталевий деталі до такої кількості, коли цей шар стає здатним для гартування.

Як твердий карбюризатор (вуглецева суміш) застосовують суміш деревного вугілля з вуглекислими солями  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ . Для цементации деталей розмішують у герметично закритому карбюризаторі і витримують у печі протягом 5-25 годин при температурі 930-950°C. За цей час атомарний вуглець, що виділяється з карбюризатора, дифундує на глибину 0,5-2,5 мм.

Газова цементация здійснюється в газовому середовищі ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ) при температурі 930-1000°C.

Після цементации вироби піддають гартуванню і низькому відпуску, отримуючи таким чином зносостійкий твердий поверхневий шар деталі з в'язкою серцевиною, здатною сприймати удари навантаження.

*Азотування* - процес насичення поверхні сталевий деталі азотом. Він здійснюється в атмосфері аміаку  $\text{NH}_3$  при температурі 500-600°C. За рахунок дисоціації аміаку  $2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N} + 3\text{H}_2$  в поверхневому шарі утворюються дуже тверді і зносостійкі сполуки - нітриди ( $\text{Fe}_3\text{N}$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{MoN}$  та ін.).

Азотування на глибину 0,2-0,5 мм здійснюється за 25-60 год.

Азотуванню піддають леговану сталь, що містить алюміній, молібден, вольфрам, хром (наприклад, сталі марок 35ХМЮА). Азотування може застосовуватись для деталей з легованого чавуну.

### **4.3. Класифікація і маркірування сталей**

За своїм хімічним складом сталі поділяються на дві великі групи - вуглецеві і леговані.

#### **4.3.1. Вуглецеві сталі. Вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталей.**

Залежно від застосування ці сталі поділяються на конструкційні та інструментальні.

Конструкційні сталі умовно поділяються на будівельні (0,1-0,3% С) і машинобудівні (0,35-0,6% вуглецю).

Всі конструкційні сталі поділяються на сталі звичайної якості і якісні.

Вуглецеві сталі *звичайної якості* виготовляються гаряче- і холоднокатані таких марок: Ст0, Ст1кп, Ст1сп, Ст2сп, Ст3сп до Ст6сп. У маркіруванні цих сталей літери Ст означають сталь, цифри - умовний номер марки сталі залежно від хімічного складу і механічних властивостей сталі. Слід зазначити,

що номер у марках цих сталей не означає чисельний масовий вміст вуглецю, але зі збільшенням номера кількість вуглецю в сталях збільшується.

Ступінь розкислення сталі визначають індекси: "кп" - кипляча, "сп" - спокійна, "пс" – напівспокійна.

Марки і хімічний склад сталей звичайної якості наведені в таблиці 4.2.

**Таблиця 4.2 - Склад вуглецевих сталей звичайної якості (ГОСТ 380-94)**

Марка сталі	C, %	Mn, %	Si, %
Ст0	≤ 0,23	-	-
Ст1кп	0,06...0,12	0,25...0,5	≤0,05
Ст1 сп	0,06...0,12	0,25...0,5	0,12...0,3
Ст2кп	0,09...0,15	0,25...0,5	≤0,07
Ст2сп	0,09...0,15	0,25...0,5	0,12...0,3
Ст3кп	0,14...0,22	0,3...0,6	≤0,07
Ст3пс	0,14...0,22	0,4...0,65	0,05...0,17
Ст3сп	0,14...0,22	0,4...0,65	0,12...0,3
Ст4кп	0,18...0,27	0,4...0,65	≤0,07
Ст4сп	0,18...0,27	0,4...0,7	0,12...0,3
Ст5пс	0,28...0,37	0,4...0,7	0,05...0,17
Ст5сп	0,28...0,37	0,5...0,8	0,15...0,35
Ст6пс	0,38...0,49	0,5...0,8	0,05...0,17
Ст6сп	0,38...0,49	0,5...0,8	0,15...0,35

Сталі звичайної якості використовуються для виготовлення будівельних конструкцій, арматури, кріпильних деталей та не навантажених деталей машин.

*Вуглецеві якісні сталі* випускаються гарячекатані і ковани. Виплавляються ці сталі в електричних та мартенівських печах і в кисневих конвертерах за ГОСТ 1050-94. Якісні сталі різні за хімічним складом або за механічними властивостями.

Маркуються ці сталі так: 05кп, 08пс, 10, 20пс, 30, 45 та інші. Марки і хімічний склад деяких марок вуглецевих якісних сталей наведено в таблиці 4.3.

Двозначні числа в марках цих сталей означають масовий вміст вуглецю в сотих частках процента. Тобто в сталі марки 08 - 0,08%С, в сталі 45 - 0,45%С.

Якісні сталі чистіші за вмістом сірки і фосфору (вміст сірки - не більше 0,035%, фосфору - не більше 0,030%) і за вмістом вкраплень.

За вмістом вуглецю якісні сталі поділяються на маловуглецеві (до 0,25% С), середньовуглецеві (0,3-0,5% С), і високовуглецеві (до 0,65% С).

При необхідності позначення киплячої чи напівспокійної сталі в кінці марок, як і для сталей звичайної якості, вказуються індекси "кп" та "пс".



Таблиця 4.3 - Склад вуглецевих якісних сталей (ГОСТ 1050-94)

Марка сталі	C, %	Mn, %	Si, %	Cr, % не більше
08	0,05...0,12	0,35...0,65	0,17...0,37	0,10
10	0,07...0,14	0,35...0,65	0,17...0,37	0,15
15	0,12...0,19	0,35...0,65	0,17...0,37	0,25
20	0,17...0,24	0,35...0,65	0,17...0,37	0,25
25	0,22...0,30	0,50...0,80	0,17...0,37	0,25
30	0,27...0,35	0,50...0,80	0,17...0,37	0,25
35	0,32...0,4	0,50...0,80	0,17...0,37	0,25
40	0,37...0,45	0,50...0,80	0,17...0,37	0,25
45	0,42...0,50	0,50...0,80	0,17...0,37	0,25
50	0,47...0,55	0,50...0,80	0,17...0,37	0,25
55	0,52...0,60	0,50...0,80	0,17...0,37	0,25
60	0,57...0,65	0,50...0,80	0,17...0,37	0,25

До інструментальних вуглецевих сталей належать сталі з вмістом вуглецю від 0,7 до 1,3%. Їх маркують, наприклад, У7, У13, де літера "У" означає вуглецеву сталь, а цифри - вміст вуглецю в десятих частках процента. В наших прикладах це -0,7 та 1,3% С. Оскільки з інструментальних сталей виготовляється високоміцний токарний та ріжучий інструмент, до їх якості пред'являються більш жорсткі вимоги. Тому їх частіше виготовляють як *високоякісні* - з ще нижчим вмістом сірки і фосфору. У такому випадку в кінці марки додається літера "А", яка вказує на високу якість. Наприклад, У8А, У10А.

Вуглець (С) змінює технологічні властивості сталі: оброблюваність різанням, тиском, зварюваність. Збільшення С обумовлює погіршення оброблюваності різанням внаслідок зміцнення сталі і зменшення її теплопровідності. При відокремленні стружки від більш міцної сталі збільшується кількість виділяємої теплоти, що викликає відпускання і зниження стійкості інструмента. Крашу оброблюваність різанням мають сталі, які містять 0,3-0,4% С.

Із збільшенням С знижується технологічна пластичність – здатність деформуватися у гарячому і особливо холодному стані. Для складної холодної штамповки вміст С обмежується 0,1%.

Хорошою зварюваністю відрізняються низьковуглецеві сталі. Зварювання середньо- і особливо високовуглецевих сталей потребує застосування підогріву, уповільненого охолодження та інших технологічних операцій, що запобігають утворенню гарячих і холодних тріщин.

Постійні домішки в сталі: Mn, Si, S, P, а також газу: O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>.

Mn – корисна домішка, вводиться в сталь для розкислювання і залишається в ній в кількості 0,3-0,8%. Mn зменшує шкідливий вплив O<sub>2</sub> і S, збільшує міцність сталі при порівняно невисоких температурах (до 300°C), сприяє підвищенню тимчасового опору і межі текучості сталі.

Si – корисна домішка, вводиться в сталь в якості активного розкислювача і залишається в ній в кількості до 0,4%, підвищує окалиностійкість сталі.

S – шкідлива домішка, спричиняє червоноламкість сталі – крихкість при гарячій обробці тиском. Сульфід FeS утворюють із залізом евтектику, яка відрізняється низькою температурою плавлення (988°C) і розташовується по границям зерен. При гарячій деформації границі зерен оплаваються і сталь крихко руйнується. Від червоноламкості сталь уберігає Mn, який зв'язує S у сульфід MnS, виключаючи таким чином утворення легкоплавкої евтектики. Усуваючи червоноламкість, сульфід MnS також, як і інші неметалеві включення (оксиди, нітриди і т.ін.) порушують однорідність структури сталі, знижують пластичність і в'язкість, погіршують зварюваність і корозійностійкість. Тому вміст S у сталях суворо лімітується.

P – шкідлива домішка. Він розчиняється у фериті, зміцнює його, але зменшує в'язкість при понижених температурах, тобто спричиняє холодноламкість. Крихкість сталі обумовлена P, тим вища, чим більше в ній вуглецю. Верхня межа вмісту P в котельних сталях – 0,04%.

O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> – шкідливі приховані домішки. Їх вплив проявляється у зниженні пластичності і підвищенні схильності сталі до крихкого руйнування.

O<sub>2</sub> і N<sub>2</sub> розчиняються у фериті в дуже малій кількості і забруднюють сталь неметалевими включеннями (оксидними і нітридними).

H<sub>2</sub> знаходиться у твердому розчині, або накопичується в порах і на дислокаціях. Крихкість, обумовлена H<sub>2</sub>, проявляє себе тим гостріше, чим вище міцність матеріалу. Сильне збільшення крихкості спостерігається в загартованих сталях з мартенситною структурою і відсутнє в аустенітних сталях.

Підвищена кількість H<sub>2</sub> може спричинити флокени. Це внутрішні надриви, які утворюються в результаті високих тисків, що розвиває водень, який виділяється в пори внаслідок зниження розчинності. Цей дефект зазвичай зустрічається у великих поковках, хромистих і хромонікелевих сталей. Для його попередження сталі після гарячої деформації повільно охолоджують і тривалий час видержують при температурі 250°C. За таких умов H<sub>2</sub>, який має велику швидкість дифузії, не накопичується в порах, а видаляється із сталі.

#### 4.3.2. Леговані сталі. Вплив легуючих елементів на властивості сталі

До легованих належать сталі, в які у значних кількостях додаються різні хімічні елементи (метали і неметали), для надання їм тих чи інших властивостей, які вимагаються умовами експлуатації цих сталей. У відповідності з ГОСТом легуючі елементи позначаються літерами:

<b>Х</b> - хром	<b>М</b> - молібден
<b>Н</b> - нікель	<b>Ф</b> - ванадій
<b>Г</b> - марганець	<b>К</b> - кобальт
<b>С</b> - кремній	<b>Т</b> - титан
<b>В</b> - вольфрам	<b>Ю</b> - алюміній
<b>Д</b> - мідь	<b>П</b> - фосфор
<b>Р</b> - бор	<b>Б</b> - ніобій
<b>А</b> - азот	<b>Ц</b> - цирконій

Хром (Х) – підвищує корозійну стійкість і окалиностійкість сталі. Трохи підвищує її жароміцність. Він відноситься до недефіцитних легуючих елементів, що зумовило його широке застосування в конструкційних сталях.

Нікель (Н) – найбільш цінний і в той же час дефіцитний легуючий елемент, підвищує корозійну стійкість сталі, збільшує її пластичність і міцність, здрібнює зерно.

Титан (Т) – спричиняє підвищення жароміцності сталей всіх структурних класів, підвищує стійкість хромонікелевих аустенітних сталей проти міжкристалевої корозії, поліпшує зварюваність сталі.

Ванадій (Ф) – активний стабілізатор жароміцності, який забезпечує стабільність властивостей сталі на протязі тривалого строку служби. Як модифікатор сприяє отриманню дрібнозернистої структури.

Вольфрам (В) – сприяє підвищенню жароміцності сталі. В хромонікелевих сталях аустенітного класу підвищує жароміцність і корозійну стійкість.

Молібден (М) – є зміцнювачем сталей. Його зміцнюючі дія підсилюється при одночасному введенні в сталь інших легуючих елементів.

Молібден і вольфрам коштовні і дефіцитні карбідоутворюючі елементи, які більшою часткою розчиняються в цементиті.

Ніобій (Б) – міститься в сталях в межах 0,1-1%. Його вводять у високолеговані сталі для підвищення корозійної стійкості.

Бор (Р) – вводять в мікродозах (0,002-0,005%) в якості зміцнювача всіх видів сталі. Мікролегування бором еквівалентно 1% Ni, 0,5% Cr, 0,2% Mo. Граничний вміст його в котельних сталях не перевищує 0,005%.

Класифікація легованих сталей здійснюється за такими ознаками: а) за структурою, б) за якістю і в) за призначенням.

За структурою леговані сталі поділяються на п'ять класів: перлітний, мартенситний, аустенітний, карбідний і феритний.

За якістю легована сталь поділяється на якісну (з вмістом сірки і фосфору не більше 0,035%), високоякісну (не більше 0,025%) і особливо високоякісну (не більше ще 0,015 %S і 0,025 %P).

За призначенням леговані сталі поділяються на конструкційні загального та спеціального призначення (з особливими властивостями) та інструментальні.

До конструкційних сталей загального призначення належать будівельні, машинобудівні, а також сталі, що поліпшуються, цементуються, і сталі підвищеної оброблюваності (автоматні сталі).

Залежно від вмісту легуючих елементів леговані сталі поділяють на три групи низьколеговані - з вмістом легуючих добавок менше 2,5%, середньолеговані - від 2,5 до 10% і високолеговані - понад 10%.

Принцип маркірування легованих сталей. У конструкційних легованих сталях спочатку пишуться дві цифри, що вказують на середній вміст вуглецю в сотих частках процента. Якщо ж вміст вуглецю менше 0,1%, то перша цифра буде 0, наприклад 06, 08. Літерні символи вказують на наявність у сталі

відповідних хімічних елементів, а цифри після них - вміст цих елементів у процентах. Якщо вміст легуючого елемента не більше 1,5%, то після тієї літери цифра не ставиться. Наприклад, марка 40X означає леговану сталь з вмістом вуглецю близько 0,35% і хрому до 1,5%.

Літера А, що означає вміст азоту, пишеться тільки всередині марки, бо в кінці марки вона означатиме, що сталь високоякісна.

Так, марка 12X2H4A - легована сталь з вмістом близько 0,12% С, 2-2,5% Cr, 4-4,5% Ni, високоякісна.

Інструментальні леговані сталі маркуються в основному так, як і конструкційні, але вміст вуглецю вказується першою цифрою в десятих частках процента. Наприклад, 9X2ГС - 0,9%С, ≈2% Cr, близько 1% Mn і Si. Якщо ж спереду цифра відсутня, то сталь містить близько 1% вуглецю: ХВСГ.

Для деяких груп сталей застосовуються додаткові позначення: автоматні сталі починаються з літери А, підшипникові - з літери Ш (ШХ15), швидкорізальні з літери Р, електротехнічні - з літери Е.

Окремо існує маркування сталей для будівельних конструкцій: С235, С345, 90К та ін. В даних марках С означає сталь будівельну, цифри - границю текучості (Па), К - варіант хімічного складу.

До конструкційних сталей спеціального призначення належать шарико-підшипникові сталі, ресорно-пружинні, зносостійкі, корозійностійкі, жаростійкі і жароміцні тощо.

### **4.3.3. Низьколеговані будівельні сталі**

Ці сталі містять в собі вуглецю 0,1-0,25%.

Порівняно з вуглецевими сталями вищі міцнісні характеристики низьколегованих сталей досягаються за рахунок легування в малих кількостях кремнієм і марганцем, а також хромом, нікелем, міддю та деякими іншими елементами.

Ці сталі використовуються для формування залізобетону, виготовлення зварних конструкцій в будівництві, в мостобудуванні, для виготовлення магістральних газо- і нафтопроводів.

Головна вимога до будівельних сталей - добра зварюваність. Чим більше в сталі вуглецю, тим більша небезпека утворення холодних тріщин. Тому бажано, щоб в сталях для будівельних конструкцій було вуглецю не більше 0,25%.

До низьколегованих будівельних сталей, які ідуть для виготовлення будівельних конструкцій, належать сталі марок 14Г2, 17ГС, 14ХГС, 15ХСНД. Введення в сталь хрому, нікелю і міді підвищує корозійну стійкість сталі. Додання до складу будівельних сталей в невеликих кількостях ванадію і ніобію (до 0,1%) разом з азотом (0,015-0,025%) забезпечує додаткове зміцнення за рахунок утворення карбонітридів цих елементів і подрібнення зерна. До таких сталей належать сталі марок 4Г2АФ, 17Г2АФБ та ін. Ці сталі в будівництві і машинобудуванні використовують у вигляді листів, сортового фа-

сонного прокату для виготовлення зварних конструкцій без додаткової термічної обробки.

Будівельні сталі для металоконструкцій поділяються за категоріями міцності на класи (таблиця 4.4). Кожний клас міцності характеризується мінімально гарантованими значеннями тимчасового опору розриву та границі текучості.

**Таблиця 4.4 - Деякі класи міцності сталей для будівельних метало-конструкцій СНІП 11-23-81**

Клас міцності	Механічні властивості на розтягування (не менше)			Градація міцності
	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	
C235	235	380	24	Звичайна
C285	285	440	21	Підвищена
C345	345	460	21	-
C390	390	520	19	Висока
C440	440	600	16	-
C590	590	700	12	-
C740	740	850	10	-

Для армування звичайного і попередньо напруженого залізобетону використовується арматура із сталей з більшим вмістом вуглецю: 25Г2С, 30ХГСА.

У мостобудуванні застосовуються сталі високої міцності ( $\sigma_{0,2} > 600$  МПа): 10ХСНД, 15ХСНД, 16Г2АФ та ін.

Додаткове підвищення механічних властивостей і зниження порогу холодноламкості будівельних сталей досягається за допомогою контрольованої прокатки яка полягає в здійсненні деформації при більш низьких температурах (800-850°C) зі збільшенням ступеня деформації на останніх проходах.

Ефект контрольованої прокатки полягає в значному подрібненні зерна, а також у дисперсному зміцненні частками карбонітридів.

#### 4.4. Корозієстійкі сталі

Корозія - процес поверхневої руйнації металу речовиною хімічного впливу навколишнього середовища.

За механізмом протікання процесу розрізняють два види корозії: хімічну й електрохімічну. Сталі стійкі проти електрохімічної корозії, називають корозієстійкими (що не іржавіють). У рідких середовищах на поверхні металу виникають ділянки з різноманітним електрохімічним потенціалом. При цьому процеси, що розвиваються при електрохімічній корозії подібні процесам, що протікають у гальванічному елементі. Швидкість протікання процесів визначається величиною електричного струму, що виникає в корозійному елементі. Для підвищення корозійної стійкості сталі легують хромом або хромом разом із нікелем.

Хром має негативний електрохімічний потенціал, але в окисних середовищах переходить у пасивний стан, тобто, набуває високої корозійної стійкості за рахунок виникаючих на поверхні тонких окисних плівок або адсорбованого  $O_2$ . При легуванні хромом залізо теж стає пасивним, набуваючи в окислювачі позитивний потенціал. При переході в пасивний стан корозійний струм різко знижується й анодне розчинення заліза припиняється.

Хромисті сталі корозієстійкі у вологій атмосфері і водяній парі, водопровідній і річковій воді, у добре аерованій морській воді і вологому ґрунті, в азотній і деяких органічних кислотах. Структура і властивості хромистих сталей залежать від кількості хрому і вуглецю. Хромисті сталі, в котрих  $Cr > 12.5\%$  є не тільки корозієстійкими, але і жаростійкими. Звичайно, хромисті сталі містять  $\sim 13\%$  хрому і менш  $0,4\%$  С. При такому співвідношенні елементів корозієстійкі сталі під час нагрівання і охолодження зазнають фазового перетворення  $\gamma \leftrightarrow \alpha$ , тому можуть зміцнюватись за допомогою термічної обробки, не втрачаючи корозійної стійкості. Хромисті сталі 12Х13 і 20Х13 у відпаленому стані пластичні, можуть піддаватись холодній обробці тиском і зварюванню. Їх застосовують для виготовлення зварних місткостей, взаємодіючих із малоагресивними середовищами, лопаток гідравлічних і парових турбін, компресорів при температурах нижче  $450^\circ C$ , а також як жаростійкі (до  $700^\circ C$ ) для деталей печей.

Хромонікелеві корозієстійкі сталі належать до аустенітного, аустенітно-феритного або аустенітно-мартенситного класу.

Сталі аустенітного класу з  $18\%$  Cr і  $9-10\%$  Ni мають корозієстійкість в багатьох середовищах і не тільки при кімнатній температурі; в умовах атмосферної корозії в промислових містах, киплячих розчинах фосфорної, азотної і лимонної кислот.

Їх істотна перевага - технологічність у відношенні обробки тиском і зварюванням. Погані ливарні властивості і оброблюваність різанням обмежують застосування цих сталей у відливках і виготовленні виробів різанням.

Сталі 04Х18Н10, 08Х18НЮ, 08Х18Н10 і 12Х18Н10Т внаслідок малого вмісту вуглецю і додаткового легування титаном не схильні до міжкристалової корозії. Такі сталі називають *стабілізованими*.

Хромонікелеві сталі застосовують у конструкціях з листової сталі (обшивки, оболонки, трубопроводи і т.ін.).

Із сталі 12Х18Н10Т виготовляють корпуси і деталі, що працюють під тиском при температурах від  $-196^\circ C$  до  $+600^\circ C$ , а при наявності агресивних середовищ – до  $350^\circ C$ . Сталі аустенітно-феритного класу використовуються як заміник аустенітних сталей. Володіючи тими ж механічними і достатньо високими корозієстійкими властивостями в окисних середовищах, вони більш технологічні і містять менш дефіцитного нікелю (12Х21Н5Т). Недолік - нестабільність властивостей при коливаннях хімічного складу в межах марки, а також збільшення крихкості при нагріванні.

Сталі аустенітно-мартенситного класу, наприклад, сталі 09Х15Н8Ю використовують як корозієстійкий і міцний конструкційний матеріал. Вони

значно міцніші сталей аустенітного класу. Недолік - складність термічної обробки.

#### 4.5. Сталі та сплави для теплоенергомашинобудування.

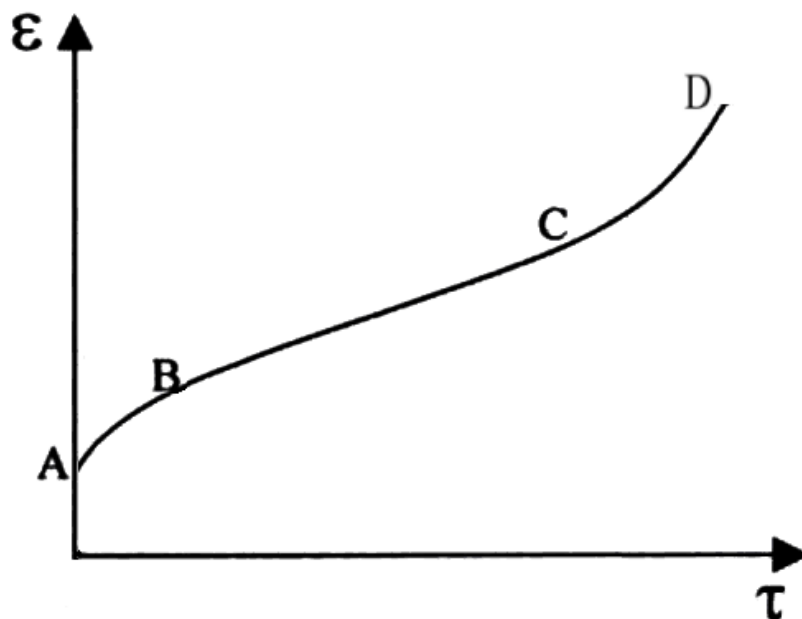
##### 4.5.1. Закономірності поведінки металевих матеріалів в умовах нагріву і характеристики жароміцності

Під жароміцністю розуміється спроможність матеріалу чинити опір деформації і руйнації в області високих температур. Багато деталей машин відчують великі напруги і нагріваються до високих температур. Це деталі двигунів внутрішнього згорання, реактивних двигунів, парових і газових турбін, парових котлів, металургійних печей і т.ін. Вимоги, запропоновані до деталей, що працюють при високих температурах, відрізняються за температурним режимом і часом роботи. Якщо деталі паросилових установок повинні працювати сотнями тисяч часів, турбореактивних двигунів - сотні часів, то деталі ракет хвилини. Тому потрібно розглядати не тільки температурні навантаження, але і тривалість навантаження.

Нагрів послабляє міжатомні зв'язки. При високих температурах зменшуються модулі пружності, тимчасовий опір, межа текучості, твердість. Чим нижче температура плавлення основи сплаву, тим при більш низьких температурах настає різке падіння міцності.

Повзучість являє собою повільне нарощування пластичної деформації під дією напружень менших межі текучості. Типова залежність деформації ( $\epsilon$ ) від тривалості навантаження ( $\tau$ ) представлена на рисунку 4.11.

Явище повзучості полягає у безперервному змінюванні розмірів тіла під впливом тривало діючого сталого напруження (нижче межі текучості) при сталій температурі (нижче температури плавлення).



*Рисунок 4.11. Типова залежність деформації від тривалості навантаження*

Крива повзучості складається з трьох ділянок, кожна з яких відповідає певній стадії. Перша стадія так званої неусталеної повзучості на ділянці АВ відрізняється поступовим загасанням швидкості деформації до певної сталої величини. Друга стадія усталеної повзучості на ділянці ВС характеризується сталою швидкістю деформації. На третій стадії швидкість деформації наростає до моменту руйнування. Третя стадія повзучості (ділянка СД), як правило, нетривала і для деталей неприпустима, оскільки в цьому випадку неминуче швидке руйнування. Відносний розвиток кожної стадії залежить від температури і величини напруження. При одному і тому ж напруженні підвищення температури скорочує тривалість другої стадії і прискорює руйнування.

*Межа повзучості* - напруження, під дією якого матеріал деформується на певну величину за певний час при заданій температурі. В позначенні межі повзучості указують температуру, величину деформації і час, за який вона виникає.

Наприклад,  $(\sigma_{1/10000}^{550} = 100 \text{ МПа})$  означає, що під дією напруження 100 МПа при температурі 550°C на усталеній ділянці має місце швидкість деформації 1% за 10000 годин.

*Межа тривалої міцності* - напруження, яке викликає руйнування матеріалу при заданій температурі за означений час. У позначенні межі тривалої міцності указують температуру і час до руйнування. Наприклад,  $\sigma_{10000}^{600} = 130 \text{ МПа}$  означає, що при температурі 600°C матеріал витримує дію напруження 100 МПа на протязі 10000 годин. Більшість жароміцних матеріалів полікристалічні. У таких матеріалах деформація повзучості розвивається завдяки переміщенню дислокації в зернах, зерногранічному ковзанню і дифузійному переносу.

*Зерногранічне ковзання* - зрушення зерен один щодо одного вздовж спільних кордонів у вузькій прикордонній області. Ковзання розвивається під дією дотичних напружень. Деформація тим більша, чим дрібніші зерна. Дифузійний перенос пов'язаний з переміщенням вакансій вздовж кордонів і всередині зерен. Основний шлях підвищення жароміцності - створення в матеріалах крупнозернистої структури з однорідним розподілом дрібних частинок зміцнюючих фаз всередині зерен і на їх кордонах. З цією метою в жароміцні сталі і сплави вводять малі добавки (0,1 - 0,01%) легуючих елементів, які концентруються на межах зерен. Ці елементи сповільнюють зерногранічне ковзання і нейтралізують дію шкідливих домішок. Часто для зміцнення кордонів використовують бор, цезій та інші рідкоземельні метали. Межі зерен у нікелевих жароміцних сплавах зміцнюють карбідами, додаючи з цією метою в сплави близько 0,1% вуглецю.

Додатковими заходами підвищення жароміцності служать:

1. Термомеханічна обробка;
2. Збільшення міцності міжатомного зв'язку в сталях, коли завдяки легуванню ОЦК решітка замінюється ГЦК решіткою;
3. Створення анізотропної структури.



#### 4.5.2. Теплостійкі сталі

Теплостійкі сталі застосовують в енергетичному машинобудуванні для виготовлення котлів, пароперегрівачів, паропроводів і інших деталей, що працюють при температурах до 650°C. Ресурс експлуатації повинен досягати 100000-200000 годин. У зв'язку з цим основною вимогою до таких сталей є задані значення тривалої міцності і опір повзучості за період роботи енергетичної установки. В залежності від умов роботи деталей в якості теплостійких використовують *вуглецеві, низьколеговані і хромисті сталі*.

*До вуглецевих теплостійких сталей* відносяться котельні 12К, 15К, 16К, 18К, 20К, склад яких регламентується ГОСТ 5520-79. Котельні сталі поставляються у вигляді листів товщиною від 4 до 60мм і труб.

Для отримання стабільної структури котельні сталі піддають нормалізації, а сталь 20К і 22К – загартуванню і високому відпуску. При цьому температура відпуску повинна бути не менш, ніж на 100-120°C вищої робочої температури.

Вуглецева котельна сталь 20К зберігає тривалу міцність на рівні 60-70МПа при температурах до 500°C.

*Низьколеговані сталі* 12ХМ, 12Х2МФСР, 20Х3ВМФ використовують для більш відповідальних деталей, що працюють при температурах до 585°C і тиску до 25,5МПа. Основними легуючими елементами в цих сталях є карбидоутворюючі елементи – хром, вольфрам, молібден, ванадій.

*Хромисті сталі* 15Х5М, 15Х5ВФ, 14Х12В2МФ і 12Х8ВМ1БФР застосовують для виготовлення деталей енергетичного машинобудування (лопатки, труби, деталі турбін, кріпильні деталі та ін.), що працюють при температурах 600-650°C.

#### 4.5.3 Жароміцні сталі і сплави

*Основні групи жароміцних матеріалів.* Перлітні, мартенситні і аустенітні жароміцні сталі використовуються при температурах 450 - 700°C і за масштабами застосування займають провідне місце. Нижче 450°C цілком придатні звичайні конструкційні сталі і немає необхідності замінювати їх жароміцними сталями.

*Перлітні сталі* призначені для тривалої експлуатації при температурах 475 - 580°C і використовуються головним чином у котлобудуванні. Перлітні сталі містять до 0,15% вуглецю, пластичні в холодному стані, задовільно обробляються різанням та зварюванням. Сталі із вмістом вуглецю до 0,15% використовують в паросилових установках для виготовлення труб, пароперегрівників, паропроводів та інших деталей, температура яких не перевищує 580 °C.

*Мартенситні сталі* призначені для виробів, що працюють при температурах до 600 °C і від перлітних сталей відрізняються підвищеною стійкістю до окислювання в атмосфері пари або топкових газів. За своєю жароміцністю вони перевищують перлітні сталі. Мартенситні сталі мають різноманітне за-

стосування в парових турбінах: з них виготовляють диски, лопатки, бандажі, діафрагми, ротори, труби та кріплення. Із сталей мартенситного класу найбільш високу жароміцність має сталь 30X13N7C2, тому вона і застосовується для клапанів двигунів внутрішнього згоряння підвищеної потужності. Межі повзучості, визначені при різних температурах, дозволяють конструктору мати вихідні данні для розрахунку елементів теплоенергетичних установок, що зазнають одночасний тривалий вплив напружень і температур.

*Аустенітні сталі* по міцності перевершують перлітні і мартенситні сталі і використовуються при температурах  $> 600^{\circ}\text{C}$ . Основні легуючі елементи: Cr та Ni. Так, наприклад, сталь 45X14H14B2M аустенітного класу вважається кращою клапанною сталлю і застосовується у потужних двигунах внутрішнього згоряння, сталь 09X14H16B застосовується для пароперегрівників і трубопроводів надвисокого тиску, а сталь 09X14H19B2BP для роторів, дисків і лопаток турбін.

Кріпильні деталі (болти, шпильки) котлотурбінних установок повинні забезпечувати щільність фланцевих з'єднань і не потребувати частих перетяжок. Для фланців трубопроводів, котлів високого тиску і фланцевих з'єднань парових турбін кріпильні деталі виготовляють з легованих середньовуглецевих сталей, частіш хромомолібденових і хромомолібденванадієвих (30XM35XH3MA, 38XHЮA, 25X2MФА) і ін. Межа текучості для легованої сталі 25X2MФА при температурі  $500^{\circ}\text{C}$  у 4 рази вище, ніж для вуглецевої сталі 30, що застосовується у кріпильних деталях в трубопроводах низького і середнього тиску.

Для виготовлення деталей з тривалим терміном служби при температурах  $650-850^{\circ}\text{C}$  застосовують жароміцні сплави на основі нікелю, так звані *німоніки*. Найбільш широко застосовується нікелевий сплав ХН77ТЮР. Після загартування і старіння при  $700^{\circ}\text{C}$  сплав набуває високої жароміцності.

Сплави на *кобальтовій основі* застосовуються головним чином для виготовлення деталей, що працюють при більш високих температурах, ніж німоніки, наприклад, лопатки турбореактивних двигунів. Найбільш жароміцні кобальтові сплави зберігають роботоспроможність при температурах до  $1100^{\circ}\text{C}$ . Вітчизняний жароміцний сплав на основі кобальту ЭИ-416 містить 0,35-0,45% С, 18-21% Cr, 3,5-5,8% Мо, 3,8-5,8% W, 18-22% Ni, решта - Со.

#### 4.5.4 Жаростійкі (окалиностійкі) сталі

Ці сталі застосовуються для виготовлення теплообмінників, деталей апаратури хімічних виробництв, пічного устаткування та інших виробів які не зазнають значних навантажень і працюють при високих температурах тривалий час.

При високих температурах сталі вступають у реакцію з навколишнім газовим середовищем, у результаті чого відбувається корозія. У більшості випадків газова корозія відбувається в результаті взаємодії металу з киснем. Спроможність металу чинити опір окислюванню в газовому середовищі при високих температурах називається *жаростійкістю*. З підвищенням темпера-

тури швидкість окислювання металу зростає. По мірі утворення поверхневих плівок процес корозії уповільнюється. Щоб окисна плівка мала захисні властивості, вона насамперед повинна бути суцільною, що можливо за умови, якщо об'єм металу, витраченого на її створення, буде меншим об'єму окису, що утворився. Проте ця умова не завжди забезпечує гарні захисні властивості плівок, якщо вони крихкі, то легко утворюються тріщини. Особливо багато тріщин утворюється, якщо питомий об'єм окису значно перевищує питомий об'єм основного металу. У вольфраму і молібдену питомий об'єм окису перевищує об'єм металу більш, ніж у трічі. З цієї причини окисні плівки цих металів навіть при невеличкій їхній товщині розтріскуються і відшаровуються від металу, відкриваючи доступ кисню. Ці метали інтенсивно окислюються при температурі більш  $500^{\circ}\text{C}$ .

На захисні властивості окисної плівки впливає різниця коефіцієнтів температурного розширення.

Метали Fe, Cr, Al, Cu дають суцільні захисні плівки з невеличким об'ємом і тому зростання плівки в цих металах в основному визначається швидкістю дифузії металу і кисню через плівку. Іонний радіус  $\text{O}_2$  ( $1,32\text{A}$ ) значно більший іонних радіусів металу, тому стовщення окисних плівок при газовій корозії в основному відбувається внаслідок дифузії іонів металу через прошарок окисів до межі розподілу.

Гарними захисними плівками володіють Cr і Al. Залізо з киснем при температурах більш  $570^{\circ}\text{C}$  може утворити три окисла:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{FeO}$ . Наявність великої кількості вакансій у Fe відрізняє проходження дифузійних процесів. Окисли  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  містять малу кількість вакансій і тому вони мають кращі захисні властивості. Кількість  $\text{FeO}$  в окалині, отриманій при температурі вище  $570^{\circ}\text{C}$  у 10 разів більш, ніж окису  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  і у 100 разів більш, ніж окису  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Для одержання гарної захисної плівки заліза при температурі більш  $570^{\circ}\text{C}$  необхідно створити такі умови, щоб виключалося утворення  $\text{FeO}$  і стимулювалося утворення  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Для цього необхідно до Fe добавляти елементи, що з  $\text{O}_2$  утворюють з'єднання ізоморфні  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і мають більшу спорідненість з  $\text{O}_2$ , чим Fe. До таких елементів належать Cr і Al, які утворюють окиси  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . При нагріванні Cr і Al, що знаходяться у розчині заліза, у першу чергу з'єднуються з  $\text{O}_2$  і створюють надійний захисний прошарок. Тому для підвищення жаростійкості заліза, яке не може експлуатуватися в окисних середовищах при температурах більших  $570^{\circ}\text{C}$ , легують хромом або алюмінієм.

Сплави з високим вмістом Si або Al незручні в технологічному відношенні, вони крихкі і погано обробляються тиском, тому їх добавляють у сталі у невеликих кількостях. Жаростійкі сплави - переважно сплави заліза з хромом. Для збільшення жаростійкості їх додатково легують Al і Si, але не у великих кількостях ( $< 4\%$ ). Сталі, леговані Cr і Si називають *сілъхромами*, Cr і Al – *хромалями*, Cr- Si- Al- *сілъхромалями*.

Нижче наведені допустимі температури експлуатації декотрих жаростійких сталей :

X6M	- 650°C	08X17T	-900°C
40X9C2	- 850°C	12X18H9T	-800°C
10X13CЮ	- 850°C	36X18H25C2	-1100°C

Сталі 40X9C2 і 10X13CЮ застосовуються для виготовлення клапанів двигунів внутрішнього згорання і пічного устаткування, сталі 08X17T – теплообмінників. Сталі 12X18H9T і 36X18H25C2 належать до аустенітного класу, мають хороші технологічні властивості (пластичні і добре зварюються), а також підвищену міцність при високих температурах. Через добавку Si сталь 36X18H25C2 має високу жаростійкість, особливо у середовищах з підвищеним вмістом сірки і застосовується для пічних конвеєрів і інших навантажених деталей, а також для соплових апаратів і жарових труб ГТУ.

#### 4.6. Чавуни і їх різновиди

Як уже зазначалось раніше, до чавунів належать сплави заліза з вуглецем, що містять понад 2,14% вуглецю. Як постійні домішки чавуни містять кремній, марганець, сірку та фосфор.

Структуру і властивості чавуну визначає вуглець. Він у чавуні може бути в зв'язаному з залізом стані і вільним (графіт). Графіт у чавуні може мати різноманітну форму: пластинчасту, сфероїдальну (кулясту) і пластівчасту.

На рисунку 4.12 наведено класифікацію чавунів з різними формами графіту.

За різних умов кристалізації в чавунах виникають різні високовуглецеві фази, що зумовлюють існування білих, сірих і половинчастих чавунів. Завдяки великій кількості цементиту ( $Fe_3C$ ) білі чавуни мають дуже велику твердість і зносостійкість, тому їх використання обмежується виготовленням прокатних валків, мелючих тіл (кулі циліпебси) рудо-, цементно- і борошномельних млинів та деяких зносостійких деталей машин.

За структурою до білих чавунів належать переробні чавуни.

*Сірим* (ливарним) називається чавун, у якому вуглець міститься у формі пластинчастого графіту. Взагалі він має сірий колір, меншу твердість і крихкість порівняно з білим чавуном. Але через низьку пластичність і ударну в'язкість використання сірого чавуну як конструкційного матеріалу для навантажених деталей обмежене.

Згідно з існуючим стандартом сірі чавуни бувають різних марок у вилках: від СЧ10 до СЧ35. У маркіруванні цих чавунів літери означають "сірий чавун", число за цими літерами - межу міцності при розтягуванні  $\sigma_B$  (МПа), зменшену в 10 разів. Дані про марки сірих чавунів наведені в таблиці 4.5.

Межі застосування сірого чавуну - верстатобудування й важке машинобудування (станини, корпусні деталі), будівництво (радіатори, каналізаційні труби, архітектурні елементи), автомобільна і тракторна промисловість (картери, блоки циліндрів, кришки тощо).


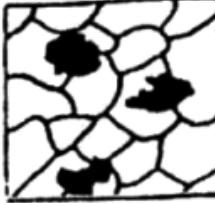
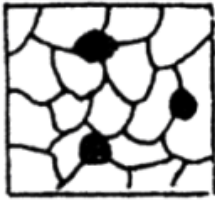









Металічна основа чавуну	Форма графітових вкраплень			
	Пластинчаста	Пластівчаста	Куляста	
Ферит				
Ферит+перліт				
Перліт				
				

Рисунок 4.12 – Різновиди чавуну залежно від металічної основи і форми включень графіту: а – пластинчастої, б – пластівчастої, в – кулястої

Таблиця 4.5 - Хімічний склад і властивості сірих чавунів (ГОСТ 1412-85)

Марка чавуну	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа, не менше	Твердість НВ, не більше	C	Si	Mn	P	S
						не більше	
СЧ-10	100	190	3,5...3,7	2,2...2,6	0,5...0,8	0,3	0,15
СЧ-15	150	210	3,5...3,7	2,0...2,4	0,5...0,8	0,2	0,15
СЧ-20	200	230	3,3...3,5	1,4...2,4	0,7...1,0	0,2	0,15
СЧ-25	250	245	3,2...3,4	1,4...2,4	0,7...1,0	0,2	0,15
СЧ-30	300	260	3,0...3,2	1,3...1,9	0,7...1,0	0,2	0,12
СЧ-35	350	275	2,9...3,0	1,2...1,5	0,7...1,0	0,2	0,12

Різновидом сірого чавуну є *ковкий* чавун. Така назва цього чавуну умовна, через його більшу м'якість і в'язкість порівняно з сірим чавуном, але він не кується.

Ковкі чавуни отримують шляхом відпалювання виливків з білого чавуну протягом 50-80 год. Залежно від режиму відпалювання отримують феритний або перлітний ковкі чавуни. Для отримання феритного ковкого чавуну здійснюють двостадійне відпалювання - спочатку при 950°C, а потім при 750°C. Відпалювання на перлітний ковкий чавун здійснюється одностадійно при 950-1000°C.

Маркують ковкі чавуни літерами КЧ і двома числами, з яких перше означає границю міцності при розтягуванні, а друге - відносне видовження. Наприклад, КЧ 35-10 означає ковкий чавун з  $\sigma_B=350$  МПа,  $\delta = 10\%$ .

Чавуни КЗО-6, КЧ35-10, КЧ37-12 належать до феритного класу; КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ65-3, КЧ70-2, КЧ80-1.5 - до перлітного.

Крім сірих та ковких, існує окрема група чавунів - *високоміцних*. Вони отримуються шляхом модифікування сірого чавуну магнієм. Такий чавун має включення графіту кулькоподібної форми. Маркуються високоміцні чавуни літерами ВЧ і числом, що характеризує тимчасовий опір при розтягуванні, наприклад ВЧ40 має  $\sigma_B=400$  МПа ( $\delta= 15\%$ ).

Для порівняння: високоміцні чавуни мають ударну в'язкість  $KC=200-600$  кДж/м<sup>2</sup>, а сірий чавун з пластинчастим графітом - 20-50 кДж/м<sup>2</sup>.

Із жаростійких чавунів в теплоенергетиці найбільш широко застосовують хромисті і кременисті чавуни марок ЖЧХ-0,8; ЖЧХ-1,5; ЖЧХ-2,5; ЖЧС-5,5; і ЖЧСШ-5,5. В їх манкіровці ЖЧ означає належність до жаростійких чавунів, наступні літери – основні легуючі елементи. Літера Ш наприкінці марки означає, що графіт в структурі чавуну має кулясту форму. Цифри показують середній вміст основних легуючих елементів у %.

ЖЧХ-0,8 застосовується для деталей, що функціонують в середовищі повітря або димових газів при температурах до 550 °С (кокосники, пальники, охолоджуючі рами вікон мартенівських печей і т.ін.)

ЖЧХ-1,5 – в тих самих умовах при температурах до 600 °С.

ЖЧХ-2,5 – в тих самих умовах при температурах до 650 °С.

В котло- і пічбудуванні застосовується кременистий чавун, що містить 5-6% кремнію (так званий «силал»). З нього виготовляють голчасті рекуператори, дросельні клапани, підколосникові балки для парових котлів і т.ін.

Переваги «силала» наступні: висока жаростійкість, ростотривкість, добрі ливарні властивості (рідко текучість) і простота виплавки в електричних, полум'яних печах і вагранках.

ЖЧС-5,5 забезпечує хороший спротив окисленню в середовищі продуктів згоряння при температурі до 850 °С. Жаростійкість чавуну ЖЧСШ-5,5 вища, ніж ЖЧС-5,5. Якщо в ньому міститься менш 5,5% Si, то його застосовують для роботи при температурі нагріву метала до 950 °С, а при вмісті Si більш 5,5% - до 1000 °С.

## 4.7. Сплави кольорових металів

Останнім часом в різних галузях промисловості й особливо в енергетиці зростають обсяги використання кольорових металів і їх сплавів. Це, перш за все сплави алюмінію, міді, магнію і титану. Головна причина цього - висока корозійна стійкість цих металів і естетичні властивості.

Застосування алюмінієвих та титанових сплавів дає можливість суттєво зменшити вагу конструкцій і значно збільшити їх довговічність.

### 4.7.1. Алюміній та його сплави

Алюміній - один з найпоширеніших металів у надрах землі (8,8%). Густина чистого алюмінію  $\gamma=2,7$  г/см<sup>3</sup>. Механічні властивості чистого алюмінію:  $\sigma_b = 110$  МПа,  $\delta = 40\%$ , твердість - 25 НВ. Алюміній хімічно активний метал, але утворювана щільна поверхнева плівка  $Al_2O_3$  надійно захищає його від корозії. Температура плавлення алюмінію 660°C.

Кристалічна решітка Al-ГЦК за параметром 40 нм.

Постійними домішками алюмінію є залізо і кремній, які зменшують його пластичність.

Рудами для виготовлення алюмінію слугують породи, багаті на глинозем  $Al_2O_3$ . До них належать боксити, нефеліни, алуніти і каоліни.

Отримують алюміній шляхом електролізу глинозему, розчиненого в криоліті ( $Na_2AlF_6$ ). Для отримання 1 кг алюмінію витрачається 60-70 МДж електроенергії та близько 2 кг глинозему.

Отриманий електролізом алюміній має велику кількість домішок, тому його піддають наступному рафінуванню. Очищають алюміній від домішок звичайно в закритому ковші продуванням хлору протягом 10-15 хвилин при температурі 750-770°C. Після цього розливають у чушки.

Для виробництва алюмінію більш високої чистоти його додатково піддають електролітичному рафінуванню, при якому забруднений домішками алюміній є анодом, а чистий - катодом. Як електроліт використовуються рідкі хлористі і фтористі солі.

Алюміній високої чистоти маркірується А99 (99,999%), А8, А7, А6, А0 (з вмістом Al від 99,85 до 99%).

Оскільки Al високопластичний і маломіцний, його як конструкційний матеріал використовують рідко. Широке застосування в техніці і будівництві мають алюмінієві сплави з міддю, марганцем, магнієм, кремнієм.

За технологічними властивостями сплави Al поділяються на три групи:

I - сплави, що деформуються і не зміцнюються термічною обробкою;

II - сплави, що деформуються і зміцнюються термічною обробкою;

III - ливарні сплави.

*Сплави, що деформуються і не зміцнюються термічною обробкою.* До них належать сплави типу Al-Mn (група АМц) і AlMg (група АМг). Тут у маркіруванні літера А означає алюмінієвий сплав, Мц і Мг - відповідно Mn і Mg. Після цих літер вказується вміст зазначеного елемента в %. Якщо його кількість не перевищує 1,5% то цифра не ставиться.

Хімічний склад і механічні характеристики цих та деяких інших алюмінієвих сплавів наведено в таблиці 4.6.

Сплави I групи добре оброблюються тиском, добре зварюються і мають високу корозійну стійкість.

*Алюмінієві сплави, що деформуються і термічно зміцнюються.* До них належать сплави алюмінію з міддю, які називають дюралюмінами. Найпоширеніші марки дюралюмінію Д1, Д6, Д16. Склад і механічні властивості їх наведені в таблиці 4.6.

Цифри після літери "Д" є умовними номерами цих сплавів. Першим дані про сплав, що нині відповідає сплаву Д1, опублікував у 1906 році німецький вчений А. Вільям.

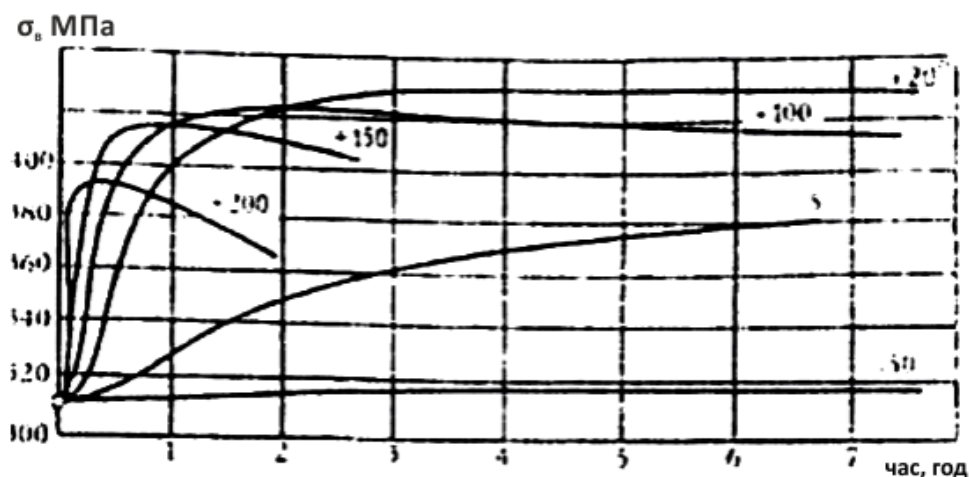
Перевагою дюралюмінів є висока питома міцність. Їх використовують при виготовленні будівельних конструкцій, в авіабудуванні, харчовій та холодильній промисловостях, в автомобілебудуванні тощо. Деталі з дюралюмінію гартують (температура гартування = 500°C), а для іншого зміцнення потім піддають штучному старінню (витримці) при 100-200°C.

Характер зміни границі міцності дюралюмінію залежно від тривалості і температури старіння наведено на рисунку 4.13.

**Таблиця 4.6 - Хімічний склад та механічні властивості алюмінієвих сплавів**

Марки сплавів	Хімічний склад, %					Механічні властивості		
	Cu	Mg	Mn	Si	інші	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta$
						МПа		%
<b>Сплави що не зміцнюються термічною обробкою</b>								
АМц	-	-	1,0...1,6	-	-	30(170) <sup>x</sup>	50(130)	23 (10)
АМг3	-	3,2...3,8	0,3...0,6	0,065	0,06 Ti	190(240)	90(100)	15 (20)
АМг5	-	4,8...5,8	0,5...0,8	-	-	270	120	18
<b>Сплави, що зміцнюються термічною обробкою</b>								
Д1	3,8...4,9	0,4...0,8	0,4...0,8	0,8	-	410	250	15
Д16	3,8...4,9	1,2...1,8	0,3...0,9	0,5	-	520	380	11
Д6	4,6...5,2	0,65	0,5...0,9	до 0,5	-	220(460)	300(110)	15
<b>Ковкі алюмінієві сплави</b>								
АК6	1,8..2,6	0,4...0,8	0,4...0,8	0,7-1,2	-	420	300	13
<b>Високоміцні алюмінієві сплави, що деформуються</b>								
В95	1,4...2,0	1,8...2,8	0,2...0,6	0,5	до 7 Zn	560	530	8
В96	2,2...2,8	2,5...3,2	0,2...0,5	-	до 7 Zn	670	630	7
<b>Ливарні алюмінієві сплави</b>								
АК12	-	-	-	10... 13	-	180	90	5
АК9ч <sup>xx</sup>	-	0,2...0,4	0,2...0,5	8...11	-	180	140	2
АК7ч <sup>xx</sup>	-	0,2...0,4	-	6...8	-	200	110	6
<sup>x</sup> В дужках - після наклепу. <sup>xx</sup> Сплав підвищеної частини.								





**Рисунок 4.13 – Залежність властивостей дюралюмінію від тривалості та температури старіння**

Оскільки дюралюмінію мають знижену корозійну стійкість, їх піддають поверхневому плакуванню алюмінієм. Плакування полягає в тому, що на обидві поверхні листа чи полоси дюралюмінію наносять шар чистого алюмінію і здійснюють спільне їх прокатування.

Найбільшу міцність серед деформівних алюмінієвих сплавів на основі Al-Zn-Mg-Cu мають типи В95, В96,  $\sigma_b$  у яких дорівнює 500-750 МПа, але пластичність них невисока ( $\delta=7-10\%$ ). Ці сплави переважно використовуються в літакобудуванні для важконавантажених деталей.

У групі деформівних сплавів окремо виділяються ковкі алюмінієві сплави. З них виготовляють деталі шляхом кування чи штампування.

Ці сплави позначаються літерами АК і цифрами, які означають номер марки сплаву. До них належать такі марки АК1, АК3, АК4, АК5, АК6, АК8. Оскільки склад і механічні властивості цих сплавів близькі між собою, в таблиці 7 наведено лиш один сплав - АК6.

Деталі зі сплавів АК1, АК5, АК6, АК8 експлуатують при температурах до 100°C. АК3 і АК4 - приблизно до 300°C, їх відносять до жароміцних. До їх складу додатково входять Ni і Ti. Так, у сплаві АК4: 1,9 - 2,5% Cu; 1,4 - 1,8% Mg; 0,8-1,3% Ni; 0,02-0,1% Ti; 0,8-1,3% F. З цих сплавів виготовляють картери двигунів внутрішнього згорання, лопаті гвинтів теплоходів тощо.

*Ливарні алюмінієві сплави.* Типові ливарні алюмінієві сплави - силуміни (Al-Si). Кремній має густину близьку до алюмінію (2,4 г/см<sup>3</sup>), тому його добавка не збільшує маси алюмінієвих сплавів. Є багато ливарних сплавів алюмінію різного хімічного складу. Як видно з таблиці 4.6, силуміни за своїми властивостями відрізняються від дюралюмінію. Ці сплави мають гарні ливарні властивості і не піддаються природному старінню, а максимальної міцності набувають після штучного старіння протягом 10-20 годин при температурі 150-180°C

Силуміни використовують для мало- і середньонавантажених деталей. З них виготовляють деталі приладів, корпуси турбонасосів тощо. Маркують ливарні сплави літерою А, за якою йде літера, що означає легуючий елемент, за нею цифри, що означають його вміст в %, наприклад, АК12 (10-13% Si).

#### 4.7.2. Мідь і її сплави

Мідь - пластичний метал. Густина чистої міді  $8,94 \text{ г/см}^3$ , температура плавлення  $1083^\circ\text{C}$ , міцність  $\sigma_b=250 \text{ МПа}$ , твердість НВ 45, пластичність  $\delta=50\%$ . Характерною особливістю міді є її широке використання в електротехнічній промисловості. Мідь має кристалічну решітку ГЦК з параметром  $0,36 \text{ нм}$ . Технічно чиста мідь маркується: М00 (99,99% Cu), М0 (99,95% Cu), М2, М3, М4 (99% Cu).

У цілому в земній корі вміст міді становить близько  $0,01\%$ . Мідні руди зустрічаються у вигляді сполук з сіркою  $\text{CuS}$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{CuFeS}_2$ , оксидів  $\text{CuO}$  і  $\text{Cu}_2\text{O}$  або карбонатів. Мідні руди містять міді від 1 до 5%.

Найпоширеніший спосіб виготовлення міді - пірометалургійний. Процес виплавляння міді складається з таких етапів:

- збагачення та випал руди;
- виплавка напівпродукту, який має назву штейн;
- отримання з штейну чорної міді;
- рафінування чорної міді.

Збагачення мідної руди здійснюють флотаційним методом. Після флотації отриманий концентрат випалюють при  $750-850^\circ\text{C}$  в спеціальних печах у "киплячому" шарі. Концентрат, отриманий після відпалу, переплавляють у полумєневих відбивних печах на штейн, який має такий склад: сплав  $\text{Cu}_2\text{S}$  і  $\text{FeS}$  з вмістом 25-60% Cu, 10-50% Fe і до 25% S. Чорнову мідь отримують у конвертері шляхом продування повітря через розплавлений штейн. Рафінування міді здійснюють вогневим способом (чистота до 99,5%) і електролітичним способом у водному розчині сірчаної кислоти і сірчаної кислоти міді (чистота до 99,95%).

Як конструкційний матеріал чиста мідь у машинобудуванні використовується рідко. Підвищення механічних властивостей досягається утворенням різних сплавів на мідній основі.

Розрізняють дві групи мідних сплавів: латуні - сплави міді з цинком; бронзи - сплави міді з іншими елементами.

*Латуні.* Латуні можуть мати в своєму складі до 45% Zn. Збільшення вмісту цинку до 45% в латуні підвищує характеристики міцності сплаву ( $\sigma_b$  досягає 450 МПа). Максимальна пластичність має місце при вмісті цинку близько 37%. Залежність  $\sigma_b$  і  $\delta$  від кількості в сплаві цинку наведено на рисунку 4.14.

При сплавленні міді з цинком утворюється ряд твердих розчинів  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$ , з яких  $\alpha$  являє собою твердий розчин цинку 39%. Аналіз діаграм Cu-Zn свідчить, що залежно від складу утворюються однофазні латуні, які складаються з  $\alpha$ -твердого розчину, і двофазні ( $\alpha+\beta$ )-латуні.

Мікроструктуру таких сплавів наведено на рисунку 4.15. Наявність у структурі міцнішої і твердішої  $\beta$ -фази сприяє підвищенню міцності латуні, проте знижує її пластичність. Тому однофазні латуні використовують для обробки тиском, а двофазні - для лиття або для обробки тиском. Сплави з вмістом цинку понад 45% крихкі, тому застосовуються дуже рідко.

Латуні маркуються літерою Л, за якою йде число, що показує вміст міді в %; наприклад, у сплаві марки Л80 міститься 80% міді і решта - цинк. Якщо крім міді і цинку в сплаві є ще інші елементи, то після Л ставляться початкові літери назви елементів: А - алюміній, О - олово, С - свинець, Мц - марганець, Ф - фосфор, Ж - залізо і т.д.

Отже, перші дві цифри вказують на вміст міді, наступні - вміст інших елементів(решта - цинк). Наприклад, марка ЛЖС-58-1-1 означає латунь з вмістом 58% Cu; 1% Fe та 1% Pb, решта 40% Zn.

Маркування ливарних латуней робиться дещо інакше. Так, марка ЛЦ40МцЗЖ позначає латунь з вмістом 40% Zn, 3% Mn, 1% Fe, решта - Cu.

У таблицях 4.7 та 4.8 наведено склад та механічні властивості відповідно подвійних і складних латуней.

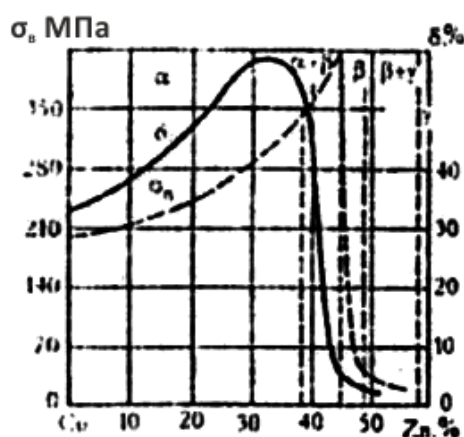


Рисунок 4.14 – Залежність механічних властивостей латуні від вмісту цинку

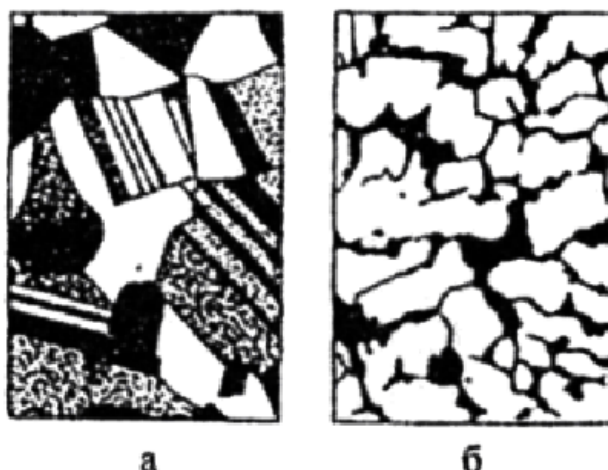


Рисунок 4.15 – Мікроструктури: а -  $\alpha$ -латуні, б -  $(\alpha+\beta)$ -латуні

Таблиця 4.7 - Хімічний склад та механічні властивості подвійних латуней

Марка латуні	Вміст елементів, %		Механічні властивості		
	міді	домішки	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа	$\delta$ , %
Л96	96...97	0.2	240		50
Л90	88...91	0,2	260	120	45
Л85	84...86	0,3	280	100	45
Л80	79...81	0.3	310	110	52
Л69	69...72	0.2	320	90	55
Л62	60,5...63.5	0,5	360	110	49

**Таблиця 4.8 - Хімічний склад та механічні властивості складних латуней**

Марка латуні	Вміст елементів, %		Механічні властивості		
	міді	домішки	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %
ЛЦ40С	57...60	0,2	215	-	12...20
ЛЦ40Мц3А	66...68	0,2	372...390	-	15
ЛЦ30А3	66...68	0,2	294...392	-	12...15
ЛЦ23А6Ж3Мц2	64...68	0,2	686...705	-	7
ЛАН59-3-2	57...60	0,9	380	300	30
ЛМцА57-3-1	55...58	1,3	550	-	25
ЛЖМц59-1-1	57...60	0,25	450	170	50

Однофазні латуні використовують для виготовлення деталей деформуванням у холодному стані. З них виготовляють латунні стрічки, радіаторні трубки, дріт тощо. Для виготовлення деталей деформуванням при температурі вище 500°C використовуються ( $\alpha+\beta$ )-латуні. З двофазних латуней виготовляють листи, прутки та інші заготовки з яких подальшою механічною обробкою виготовляють деталі. Приклади використання деяких марок латуні наведено в таблиці 4.9.

Латуні мають високу корозійну стійкість. Ця властивість поліпшується добавкою невеликої кількості олова. Латунь ЛО70-1 стійка проти корозії в морській воді і називається "морською латунню".

Найкращу рідкоплинність має ливарна латунь марки ЛК80-3Л, дещо гірші ливарні властивості у латуней типу ЛА, ЛАЖ і ЛАЖМц.

Конструкції, виготовлені з латуней, непогано працюють при мінусових температурах. Наприклад, латунь ЛС59-1 при -78°C має  $\sigma_B = 493$  МПа; при -256°C  $\sigma_B = 680$  МПа при відносному видовженні близько 30%.

**Таблиця 4.9 - Приклади використання латуней**

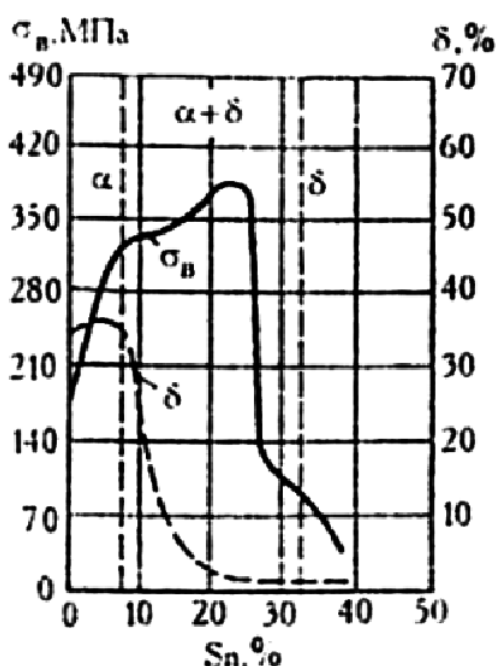
Марка латуні	Сфера використання
Л90, Л80	Деталі трубопроводів, фланці
Л68	Теплообмінні агрегати, які працюють при $t^\circ$ нижче 250°C
ЛС59-1	Втулки, арматура, фасонне литво
ЛМцС58-2-2	Антифрикційні детхії - підшипники, втулки
ЛМцЖ55-3-1	Арматура, то працює при температурі близько 300°C
ЛА67-2.5	Корозійностійкі деталі і арматура
ЛАЖМц66-6-3-2	Черв'ячні гвинти, які працюють у важких умовах

Деталі, виготовлені з латуней деформуванням, при вмісті понад 20% Zn схильні до "сезонного" розтріскування у вологому повітрі при наявності в атмосфері слідів сірчаних газів. Для попередження розтріскування деталі відпалюють при температурі нижче температури рекристалізації (в більшості випадків при температурі 175...300°C).

*Олов'янисті бронзи* - це сплави міді з оловом та іншими елементами. Бронза має високу стійкість проти корозії, гарні ливарні й антифрикційні властивості. Вона добре обробляється різанням.

Маркірування бронз здійснюється за тим же принципом, що й латуней. Спочатку пишуться літери "Бр" (бронза), після них йде позначення складових елементів сплаву та їх процентний вміст. Наприклад, марка бронзи БрОЦС5-5-5 вказує на те, що бронза вміщує по 5 % олова, цинку і свинцю, решта 85% міді. За хімічним складом бронзи діляться на олов'янисті і безолов'янисті, а за технологічним призначенням - на ливарні та деформівні. Широке використання в практиці машинобудування знайшли олов'янисті бронзи

При сплавленні міді з оловом утворюються тверді розчини і електронні сполуки, аналогічні тим, що мали місце в сплавах Cu-Zn.



**Рисунок 4.16 – Графік залежності властивостей бронзи від вмісту в ній олова.**

Олов'янисті бронзи належать до типових антифрикційних сплавів. Слід відзначити, що ліквация в бронзах - явище позитивне, оскільки завдяки їй вдається отримати оптимальну структуру при відносно невисокому вмісті дуже дефіцитного олова. Через те, що олов'янисті бронзи мають низьку об'ємну усадку (близько 0,8%), вони з успіхом використовуються в художньому литті. Гарну рідкоплинність забезпечує наявність фосфору в складі бронз. Пластичність литих сплавів Cu-Sn, починаючи від 6% Sn і вище, знижується через появу крихкого евтектоїда в структурі сплаву. Міцність знижується при вмісті олова понад 20%, коли кількість  $\beta$ -фази стає надто великою (рисунок 4.16).

Технічні сплави Cu-Sn зазвичай не мають у своєму складі більше 12% олова. В основному намагаються використовувати сплави з меншим вмістом олова через його великий дефіцит.

Залежно від хімічного складу деформівні бронзи відзначаються високими механічними, антикорозійними, антифрикційними і пружними властивостями і використовуються в різних галузях промисловості.

Ливарні бронзи застосовуються переважно для антифрикційних деталей типу втулок, вінців черв'ячних зубчастих коліс, вкладишів підшипників.

У таблиці 4.10 наведено марки, механічні властивості і галузі використання деяких олов'янистих бронз.

**Таблиця 4.10 - Марки, склад, механічні властивості і галузі використання олов'янистих бронз**

Марки бронзи	Вміст елементів *, %				Механічні властивості		Основне призначення
	Sn	Zn	Pb	P	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	
БрО 10	9...11	-	-	-	-	-	Складне фасонне литво
БрО 10-1	9...11	-	-	0,8...1,2	200...300	3	Підшипники
БрОЦ 10-2	9...11	2...4	-	-	250...350	10...20	Вкладиші
БрОІ 1 8-4	7...9	4..6	-	-			Парова й водяна арматура
БрОЦС 5-5-5	4...5	4...6	4...6	-	150..200	10...15	
БрОЦС 6-6-3	5...7	5...7	2...4	-	150...200	8...12	Антифрикційні деталі
БрОЦС 3-6-5	3...4.5	5...7	4...6	-	-	-	-
<b>* Решта - мідь.</b>							

Як уже відзначалось, олов'яністі бронзи дорогі через дефіцит і вартість олова, тому зараз знайшли застосування бронзи на основі сплавів міді з іншими елементами, які за своїми характеристиками не поступаються, а в деяких випадках і перевищують олов'яністі бронзи.

*Алюмінієві бронзи.* Ці сплави мають гарні технологічні і механічні властивості і не містять у собі дефіцитних матеріалів. При нормальній температурі в міді може бути розчинено до 9% Al з утворенням  $\alpha$ -твердого розчину. Оптимальні властивості мають алюмінієві бронзи з вмістом алюмінію 5-8%.

Бронзи з вмістом понад 10% Al можна піддавати гартуванню, нагріваючи їх до 900°C після чого утворюється орієнтована структура, яка має голчастий вигляд і нагадує мартенсит. Після гартування збільшуються міцність і твердість, а пластичність зменшується.

При вмісті >9% Al в сплаві утворюються частинки металічної сполуки з міддю, яку називають  $\delta$ -фазою, сплав стає двофазним.

Позитивними властивостями алюмінієвих бронз (порівняно з олов'яністими) є менша схильність до внутрікристалічної ліквідації, більша густина відливків, більш висока міцність і жаростійкість, менша схильність до холодноламкості.

Механічні властивості і призначення деяких марок алюмінієвих бронз наведені в таблиці 4.11.

Основні недоліки: значна усадка, схильність до утворення стовбчастих кристалів і до росту зерна при нагріві, що робить сплав більш крихким, силь-

не газопоглинання рідким розплавом. Алюмінієві бронзи звичайно леговані не тільки алюмінієм, а і залізом, нікелем, марганцем, наприклад, БрАЖ9-4, БрАЖМц10-3-1,5. Бронзи БрАЖН 10-4-4 і БрАЖН 11-6-6 мають найбільшу міцність серед алюмінієвих бронз. Поєднання міцності, високої хімічної стійкості та антифрикційних властивостей роблять алюмінієві бронзи цінним конструкційним матеріалом.

**Таблиця 4.11 - Механічні властивості і призначення алюмінієвих марок бронз**

Марки бронз	Механічні властивості		Призначення
	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	
БрАЖ9-4	600(850)	40(5)*	Прутки, поковки
БрАЖ9-4Л	550	15	Фасонне литво
БрАЖН 10-4-4	650(800)	35(9)	Прутки, поковки, труби
БрАМц9-2Л	450	20	Деталі, що працюють у морській воді (гвинти, лопаті)

**В дужках - у деформованому або гартованому стані.**

Кремнієві бронзи використовують як замітники олов'янистих бронз (БрК4). Вони мають більшу усадку, ніж олов'яністі, але перевершують останні за корозійною стійкістю і механічними властивостями, мають високі пружні властивості.

#### 4.7.3. Магній та його сплави

Магній - дуже легкий метал. Серед використовуваних металів він має найменшу густину - 1,7 г/см<sup>3</sup>. Температура плавлення магнію становить 650°C. Механічні властивості Mg:  $\sigma_b=180$  МПа,  $\delta=18\%$ . Магній хімічно дуже активний, аж до самозаймання в повітрі. У зв'язку з такою властивістю електроліз хлоридів магнію здійснюють у герметичних ваннах.

Для виробництва магнію використовують магнезит (MgCO<sub>3</sub>), доломіт (MgCO<sub>3</sub>·CaCO<sub>3</sub>), карналіт (MgCl<sub>2</sub> · KCl·6H<sub>2</sub>O) і бішофіт (MgCl<sub>6</sub>·H<sub>2</sub>O).

Виробництво Mg здійснюють електролітичним або термічним способами з наступним рафінуванням.

Магнієві сплави поділяють на дві групи - ливарні і деформівні. Зміцнюють їх гартуванням з наступним штучним старінням. Гартують при температурі ~ 400°C старять - при 200-300°C. I

У холодному стані магнієві сплави деформуються погано. Для гарячої обробки тиском з метою підвищення пластичності магнієві сплави нагрівають до 360-520°C.

Магнієві сплави широко застосовуються в літако- та автомобілебудуванні, для виготовлення деталей двигунів, приладів, побутової техніки.

Хімічний склад і механічні властивості деяких сплавів магнію наведено в таблиці 4.12.

**Таблиця 4.12 - Хімічний склад і механічні властивості магнієвих сплавів**

Марка сплаву	Хімічний склад, %				Механічні властивості		
	Al	Zn	Mn	інші	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %
<b>Деформовні сплави</b>							
МА1	-	-	1,3...2,5	До 0,02 Be	210	120	8
МА5	7,8...9,2	0,2...0,8	0,15...0,5	-	250	180	9
МА9	0,4...0,8	-	1...1,8	0,8...0,3Ca	270	240	10
М65-1	-	5,6		0,3...0,9	335	280	9
<b>Ливарні сплави</b>							
МА3	2,5...3,5	0,5...1,5	0,15...0,5	-	180	55	8
МА5	7,5...9	0,2...0,8	0,15...0,5	-	240	120	3
МА1	-	-	0,5...1	0,5...4	200	45	6

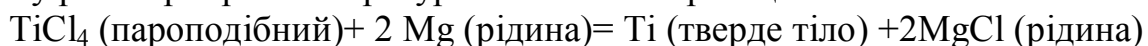
#### 4.7.4 Титан та його сплави

Титан - сріблясто-білий метал, що має високу корозійну стійкість, межа міцності титану  $\approx 340$  МПа (до речі, у заліза 280 МПа), густина титану становить  $4 \text{ г/см}^3$ ,  $\delta=25\%$ , твердість 100-140 НВ, температура плавлення  $1668^\circ\text{C}$ .

Високі механічні характеристики та корозійна стійкість дають підстави передбачати широке використання титану і його сплавів у майбутньому. Поки що використання титану стримується складністю технології виробництва і високою вартістю. Та все ж обсяги його виробництва з року в рік збільшуються. Цікавий приклад: якщо світове виробництво титану в 1948 році складало всього 2, то в 1966 році воно сягнуло 22 000 тонн. До цього слід додати, що в надрах землі вміст титану становить 0,6%. Це четверте місце після алюмінію, заліза та магнію.

Основні титанові руди - рутил  $\text{TiO}_2$ , ільменіт  $\text{FeOTiO}_2$  і титаномagnetит - суміш ільменіту з оксидами заліза.

Технологія виготовлення титану двостадійна: вироблення  $\text{TiCl}_4$  і виділення металевого титану. Процес відновлення титану відбувається в спеціальному реакторі при температурі  $800-850^\circ\text{C}$  за реакцією:



Отриманий металічний титан проходить подальші способи очищення, а потім плавлення електродугових печей у вакуумі.

Технічно чистий титан марки ВТ-1 містить по масі не більше 0,30% Fe; 0,12% Si; 0,08% C; 0,05% Ni; 0,012% H.

Титан має низький модуль пружності ( $E = 112 \text{ ГПа}$ ), це майже вдвічі менше, ніж у заліза, що утруднює його використання при виготовленні жорстких конструкцій. Для підвищення їх жорсткості доводиться збільшувати переріз деталей та їх масу.

За структурою титанові сплави поділяють на  $\alpha$ -сплави,  $(\alpha+\beta)$ -сплави та  $\beta$ -сплави.  $\alpha$ -сплави - малопластичні, це в основному сплав з Al.  $\beta$ -сплави -



найбільш пластичні, але менш міцні. ( $\alpha+\beta$ )-сплави титану більш міцні, ніж однофазні, добре куються і штамнуються, піддаються термічній обробці.

За способами виробництва деталей сплави титану поділяють на ливарні та деформівні. У таблиці 4.13 наведено деякі марки сплавів титану та їх властивості.

**Таблиця 4.13 - Склад і властивості титанових сплавів**

Марка сплаву	Хімічний склад, %				Механічні властивості	
	Al	Mn	V	Mo	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
<b>Деформівні <math>\alpha</math>-титанові сплави</b>						
BT4*	4	1,5	-	-	850...1050	10...15
BT18*	7,5	11	0,7	1	1100	9
<b>Деформівні (<math>\alpha + \beta</math>)-титанові сплави</b>						
BT6*	6,25	-	5	-	1100...1300	8
BT9*	6,5	2	0,2	3,5	1100...1300	8...14
BT22*	5	1	5	5	1300...1600	4...12
<b>Деформівні <math>\beta</math>-титанові сплави</b>						
BT15**		11	-	8	1300...1500	6
ИВТ**		5,5	-	7	1420...1700	7...10
<b>Ливарні титанові сплави</b>						
BT31Л*		2		2	1050	5
BT21Л*	6,6	0,35	1,2	0,7	1000	4

\*У відпаленому стані.

\*\*У загартованому і зістареному етапі.

Головні галузі використання сплавів титану на сучасному етапі такі:

- авіація і ракетобудування;
- космічні апарати;
- хімічна промисловість;
- морське і річкове суднобудування;
- криогенна техніка.

Є підстави вважати, що з розвитком і вдосконаленням технологій виробництва титанових сплавів вони посядуть належне місце і в теплоенергетиці.

## 5. ДОПОМІЖНІ МАТЕРІАЛИ

### 5.1 Матеріали для ущільнень роз'ємних нерухомих і рухомих з'єднань

*Прокладки.* Для герметизації нерухомих з'єднань між фланцями застосовують прокладки з м'якого і еластичного матеріалу. Прокладки повинні бути достатньо пружними, щоб сприймати внутрішній тиск і температурне розширення трубопроводу. Крім того прокладки повинні зберігати свої фізико-механічні властивості. В залежності від параметрів і агресивності середовища в якості прокладочних матеріалів застосовують пароніт, картон, азбест (листовий), гуму, поліхлорвініловий пластикат, фібру, кольорові метали та сталі. Для трубопроводів, що працюють під тиском більше 10МПа переважно застосовують металеві рифлені та зубчасті (гребінчасті) прокладки.

*Пароніт* (ГОСТ 481-80) – найбільш розповсюджений і універсальний листовий матеріал, що виготовляється з таких компонентів, %: волокна азбесту – 65, синтетичного каучуку – 12, графіту – 10, каоліну – 5 та інших мінеральних домішок. Листи пароніту випускають завтовшки 0,3...2 мм; якщо склеїти кілька тонких листів, товщину можна збільшити до 6 мм. Випускають пароніт таких марок: уніфікований (У), латексний (Л), уніфікований вулканізований (УВ). Пароніт уніфікований і латексний призначається для ущільнення фланців трубопроводів пари та води, що працюють при температурі до 450°C і тиску 5МПа. Пароніт уніфікований вулканізований застосовують для ущільнення деталей, що працюють у бензиновому, газовому та масляному середовищах під тиском до 7,5МПа.

Густина пароніту 1,5-2 г/см<sup>3</sup>, розміри листів – 300x400, 400x500, 500x500, 750x1000, 1000x1500, 1500x1500, 3000x1500 мм. Перед установкою прокладки змочують у гарячій воді і змазують графітом замішаним на натуральній оліфі, бо інакше прокладки прилипають до фланців і при потребі з'єднання важко розбирати

При вирубванні прокладок з листового пароніту гострим штампом вони не повинні розшаровуватися і кришитися. Щоб перевірити якість листового пароніту, застосовуваного для прокладок, його згинають на 180° навколо валика діаметром 12 мм – для пароніту завтовшки 0,5...0,8 мм і діаметром 42 мм – для пароніту завтовшки до 2мм. Пароніт вважається придатним, якщо в процесі перевірки його поверхня буде рівною і без слідів розшарування. Пароніт із зломами й тріщинами, з хвилястістю не застосовується.

При вирізуванні прокладок для гладких фланців необхідно дотримуватися таких умов: зовнішній діаметр прокладки має бути на 1,5...2 мм менше діаметра кола, описаного навколо внутрішніх кромek болтових отворів фланця; внутрішній діаметр прокладки (отвору) має бути більшим внутрішнього діаметра труби на 3...5 мм. Ці розміри забезпечують добре центрування прокладки, встановлюваної у фланцевому з'єднанні, і запобігають зменшенню перерізу трубопроводу прокладкою, що виступає. Прокладки, встановлені на маслопроводах, змазують шелаком або бакелітовим лаком.

Рекомендації по застосуванню пароніту подано в таблиці 5.1.

**Таблиця 5.1 - Характеристики і межі застосування різновидів прокладок з пароніту**

<b>Назва та марка (товщина, мм)</b>	<b>Робоче середовище</b>	<b>Тиск, МПа (кг/см<sup>2</sup>)</b>	<b>Температура середовища, °С</b>
Загального призначення (0,4; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0)	Перегрита вода	6,4 (64)	250
	Насичена й перегрита пара	8,4 (64)	450
	Повітря	1,0 (10)	Від -50 до +100
	Сухі нейтральні інертні гази	6,4 (64)	Від -50 до +450
	Розчини солей	2,5 (25)	Від -15 до +100
	Рідкий і газоподібний аміак	2,5 (25)	Від -40 до +150
	Важкі нафтопродукти	6,4 (64)	200
	Легкі нафтопродукти	2,5 (25)	150
Загального призначення ПОН-1 (2,0, 2,5, 3,0)	Перегрита вода	4,5 (45)	250
	Насичена й перегрита пара	4,5 (45)	450
	Рідкий і газоподібний аміак	2,5 (25)	Від -40 до +150
	Важкі нафтопродукти	2,3 (23)	120
	Легкі нафтопродукти	1,2 (12)	175
Маслобензостійкий МПБ (0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0)	Водні розчини солей	2,5 (25)	Від -15 до +100
	Розсоли	10 (100)	Від -40 до +50
	Рідкий і газоподібний аміак	2,5 (25)	Від -40 до +150
	Повітря	1,6 (16)	Від -50 до +200
	Газоподібний кисень, азот	3,0 (50)	150
	Важкі нафтопродукти	2,0 (20)	300
	Легкі нафтопродукти	2,5 (25)	200
Масляні фракції	2,5 (25)	150	
Маслобензостійкий ПМБ-1 (0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0)	Насичена і перегрита пара	4,0 (40)	250
	Прісна вода	10 (100)	100
	Легкі нафтопродукти	16 (160)	Від -40 до +250
Кислотостійкий ПК	Масляні фракції	2,5(25)	200
	Сірчана,	2,5(25)	200

(0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0)	азотна, соляна Повітря Органічні розчинники, кислоти, луги та інші аг- ресивні середовища	1,0(10) 7,5(25)	150 250
Армований сіткою ПА (0,8; 1,0; 1,2)	Перегрита вода Насичена перегрита пара Повітря і нейтральні сухі гази Важкі нафтопродукти Легкі нафтопродукти Масляні фракції	10(100) 10(100)   7,5(75)	250 450  250 400 200 200
Електролізний (1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,5)	Луги з концентрацією 300-400г/л, водень кисень Рідкий та газоподібний аміак Азотна кислота (10% розчин)	2,5(25)  2,5(25)  2,5(25)	180  Від -15 до +150  100

*Картон прокладний* (ГОСТ 9347-74) марки А (просочений) виготовляють завтовшки 0,3; 0,5; 0,8 та 1,5мм; марки Б (непросочений) – завтовшки 0,3; 0,5; 0,8, 1,25; 1,5; 1,75; 2,25 та 2,5мм. Густина картону 0,7—0,75 г/см<sup>3</sup>. Прокладки перед установкою змочують водою й проварюють в оліфі.

*Картон азбестовий* (ГОСТ 2850-80) застосовують як тепло- і вогнезахисний матеріал при температурі до 500°С. Для прокладок використовують картон марки КАП. Товщина цього картону 1,3; 1,6; 1,9; 2,5 мм, розміри листів 780x460 мм, густина 1-1,3 г/см<sup>3</sup>.

*Фібру листову* використовують як ущільнювальні прокладки арматури гарячого водопостачання в нейтральних газових середовищах (кисень, двоокис вуглецю і т. п.), при високих тисках і нормальних температурах. Фібру виготовляють восьми марок (ГОСТ 14613-83).

*Гумові та гумовотканинні пластини* (ГОСТ 7338-77) застосовують для виготовлення ущільнювальних прокладок фланцевих з'єднань і різноманітних клапанів. Теплостійку гуму використовують при температурі води або пари до 140°С, гумовотканинні пластини — при температурі до 100°С.

Залежно від призначення гуму випускають чотирьох типів: кислотолужностійку КЩ (-30...+50°С), теплостійку Т (-35...+90°С), морозостійку і маслобензостійку БМ марок А і Б. Залежно від ступеня твердості розрізняють гуму

м'яку М, середньої С і підвищеної П твердості. Прокладки з маслобензостійкої гуми забезпечують надійну щільність фланцевих з'єднань маслопроводів. Для прокладок трубопроводів холодної та теплої води виготовляють гуму суцільну або комбіновану з металевими сітками чи прошарками з парусини у вигляді листів завтовшки 1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 6 та 8 мм. При роботі з маслами й нафтою застосовують спеціальні сорти гуми.

*Металеві прокладки.* Для трубопроводів високого тиску (6,4...40МПа) застосовують лінзові, зубчасті (гребінчасті) прокладки, виготовлені із спеціальних сталей. Прокладки із сталі 1X13 надійні при температурі не вище 300°C, а із сталі 12 X181810T - до 570°C. Робочі поверхні металевих прокладок виконують зубчастими; товщина прокладки 3...4 мм, крок - 1,5...2мм, ширина зуба 0,2 мм. Різниця товщини металеві прокладки, виміряної у двох діаметрально протилежних точках, не повинна перевищувати 0,1 мм. Зубці мають бути однакової висоти (допуск 0,1 мм). Для трубопроводів живильної води з температурою 230 °С застосовують прокладки із сталі 10 та м'яких сортів електротехнічної сталі Армко.

Рекомендації по застосуванню прокладок (за винятком пароніту) наведено в таблиці 5.2.

**Таблиця 5.2 – Рекомендації по застосуванню прокладок**

Матеріал	Розмір, мм	Робоче середовище	Температура, °С, не більш	Робочий тиск, МПа (кг/см <sup>2</sup> ), не більш
Картон (непросочений)	Товщина 0,2-1,5	Вода питна, пара, органічні розчинники й вуглеводи	90	1,6(16)
Картон (просочений)	Лист 800x900, товщина 0,3-1,5	Вода, бензин, гас, мазут	120	1,6(16)
Картон латексний	Товщина 1-2	Вода	425	0,5(5)
Пластикат (полівінілхлоридний)	Лист 1000x600, товщина 3,3-3,5	Кислоти, розчини лугів, спирти, легкі нафтопродукти, агресивні гази	40	1,6(16)
Гума кислото-лужностійка (КЩ)	Пластини 250x1000, рулони завдовжки 0,5-10м, завширшки 0,2-1,75м, товщина пластин 2-50 у рулонах 0,5-50	Вода, повітря, слабкі(20%) розчини кислот і лугів (крім оцтової та азотної)	Від -30 до +80	1,6(16)
Гума теплостійка (Г)	Пластини 250x1000, рулони завдовжки 0,5-10м, завширшки 0,2-1,75м,	Повітря	Від -35 до +90	1,6(16)
Гума морозостійка(М)		Пар Повітря і нейтральні гази	Від -45 до +50	

Гума маслобензостійка(МБ)	товщина пластин 2-50 у рулонах 0,5-50	Масла, легкі нафтопродукти, повітря, нейтральні гази	Від -30 до +50	
Гума вакуумна	Рулони й листи 1500x750, товщина 2-6	Повітря й нейтральні гази	Від -30 до +90	1,6(16)
Фібра	Лист 1800x1200 товщина 0,3-1	Бензин, гас, масла, кисень	100	15(150)
Алюміній АД1-М	Лист 2000x800, товщина 0,3-1	Гази та інертна пара	100	16(160)
Латунь Л-62	Стрічка довжина 7-20м, ширина 20-50, товщина 0,5-2	Газоподібні й рідкі неагресивні середовища	250	15(150)
Мідь МЗ	Лист 1410x710, товщина 0,4-10	Вода, пара, кисень	300	15(150)
Свинець С-2	Рулони 5000x2800, товщина 1-15	Сірчана кислота, сірчистий газ, розчини кислот	100	0,6(16)
Сталь 12Х18Н10Т	Лист 1410x710, товщина 0,4-10	Вода, пара	570	25(250)
Прокладка стальна рифлена	Для умовних проходів $D_v=20...450$	Вода, пара	570	40(400)

*Набивки сальникові.* Герметизацію щілин між рухомими деталями (вал, шток) і нерухомими забезпечують за допомогою податливих елементів – сальникових набивок, що закладаються у виїмки чи поглиблення кришок, корпусів та інших нерухомих деталей. Сальникову набивку виготовляють у вигляді шнура, сплетеного з азбестових ниток, просочених антифрикційною речовиною. Заздалегідь підготовлені кільця сальникової набивки укладають в сальникову камеру на таку висоту, щоб прижимна втулка сальника після затяжки входила в гніздо не більш ніж на 30% своєї висоти. Сальникову набивку під час експлуатації підтягують, а при ревізії арматури і устаткування як правило замінюють на нову.

*Набивки сальникові* поділяють на такі типи (ГОСТ 5152—84Е): бавовняні сухі (ХБС) і просочені (ХБП); прядив'яні сухі (ПС) й просочені (ПП); азбестові просочені (АП) і маслостійкі (АМ). Набивки використовують для арматури трубопроводів води, стиснутого повітря, мастильних масел під тиском до 16МПа і при температурі до 100°C, а для нафтопродуктів — під тиском до 3МПа.

**Таблиця 5.3 - Характеристика сальникових набивок для арматури і насосів (ГОСТ 5152—84)**

Марка	Назва та особливість	Переріз і розміри, мм	Робоче середовище	Тиск середовища, МПа	Температура середовища, С
ХБТС	Бавовняна, талькова, суха	Круглий і квадратний від 50 до 60	Промислова вода, нейтральні розчини солей, слабокислі розчини, водяна пара	1,0	130
ХБТП*	Бавовняна просочена антифрикційною речовиною				
ХБС	Бавовняна, суха	Круглий і квадратний від 4 до 50	Повітря, мінеральні масла, вуглеводні, питна вода, спирти, нейтральні розчини солей Рідкий та газоподібний аміак	20 20	100 Від -40 до +100
ХБП	Бавовняна, просочена антифрикційною речовиною, графітована	Те саме	Повітря, мінеральні гази, нейтральна пара, мінеральні масла, вуглеводні, нафтове паливо, промислова вода	16	100
ЛС	3 луб'яних волокон, суха		Повітря, мінеральні масла, вуглеводні, нафтове світле паливо, промислова вода, водяна пара Рідкий і газоподібний аміак	16 16	100 Від -40 до +100
ЛП	3 луб'яних волокон, просочена антифрикційною речовиною, графітована		Повітря, інертні гази, мінеральні масла, вуглеводні, нафтове темне паливо, промислова вода, солоняна вода, розчини лугів	16	100
УС	3 вуглецевих ниток, суха	Квадратний від 5 до 19	Сірчана, соляна, азотна, й фосфорна кислоти Пара водяна Нафтопродукти	3,0 10 4,5	100 300 300
АС	Азбестова, суха	Круглий і квадратний від 4 до 50	Повітря, інертні гази, нейтральна пара, водяна пара,	4,5	400

			промислова вода, розчини лугів		
АП	Азбестова, просочена антифрикцій ною речовиною, графітована		Рідкий і газоподібний аміак Повітря, паливо нафтове важке, нафтопродукти, слабокислотні розчини, гази й агресивна пара	4,5  4,5	Від -40 до +120 300
АГ	Азбестова, проклеєна с графітом	Квадратний від 4 до 25 Прямокутний, від 4*6 до 22*25	Повітря, азот інертні гази Пара водяна Аміак рідкий і газоподібний Вода питна, вода для котлів, аміак, розчинники	20  35 30  32	325  565 Від -70 до +140 280
АФ	Азбестова просочена суспензією фторопласту	Квадратний від 4 до 25	Рідке паливо, масла, важкі й легкі нафтопродукти	20	Від -40 до +160
АФВ	Азбестова просочена суспензією фторопласту й конденсат- ним мастилом з додаванням графіту	Квадратний від 6 до 25	Лужне середовище будь якої концентрації	2,0	180

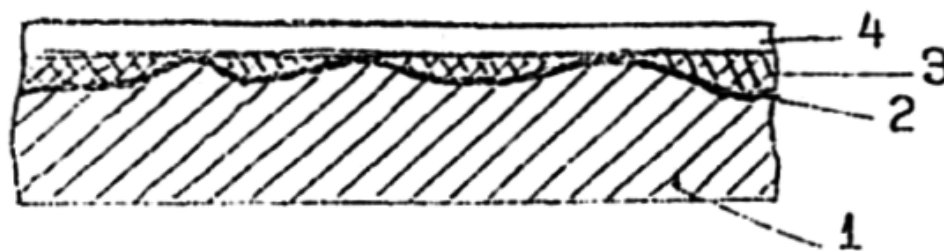
## 5.2 Лакофарбові матеріали

### 5.2.1. Призначення і склад лакофарбових матеріалів

Для захисту металевих і неметалевих виробів та конструкцій від руйнівної дії навколишнього середовища та надання їм потрібного декоративного вигляду застосовують лакофарбові матеріали — речовини, здатні після висихання залишати тонкі плівки, міцно зчіплюватися з поверхнею, на яку вони нанесені.

Лакофарбові покриття, як правило, складаються з кількох шарів - від двох до шести. Нижній шар має назву ґрунтувальний. Цей шар повинен мати надійне зчеплення з оброблюваною поверхнею матеріалу. Потім наноситься проміжний шпаклювальний шар для вирівнювання поверхні. Схема лакофарбового покриття наведена на рисунку 5.1.





**Рисунок 5.1 – Схема будови лакофарбового покриття: 1- метал, 2 – шар ґрунту, 3 – шпаклівка, 4 – шар фарби**

Лакофарбові матеріали складаються із плівкоутворюючих речовин, розчинників, пігментів, наповнювачів, пластифікаторів, сикативів та інших добавок.

*Плівкоутворюючі речовини* – основні компоненти лакофарбових матеріалів. Ними можуть бути: рослинна олія (оліфа), природні (янтар, шелак, каніфоль, асфальти) і синтетичні смоли, ефіри целюлози.

*Розчинники* – легкі органічні речовини, призначені для розчинення плівкоутворюючих компонентів. Вони також впливають на швидкість плівкоутворення і фізико-механічні властивості плівки, не змінюючи її хімічних властивостей. До них належать вуглеводні (уайт-спірит, толуол), ефіри (етилацетат, бутилацетат), спирти (бутиловий, етиловий), кетони (ацетон, метилетилкетон, циклогексанон) тощо.

*Пігменти* – порошкові речовини, які надають лакофарбовим матеріалам певного кольору, а також підвищують захисні властивості плівки - термо-, водо-і хімічну тривкість. До них належать білі пігменти (білила цинкові, свинцеві, титанові), жовті (свинцевий крон, охра), червоні (сурик свинцевий і залізний), зелені (оксид хрому) тощо.

*Наповнювачі* – порошкові речовини, що надають лакофарбовому покриттю необхідних фізико-механічних властивостей, а також зменшують вартість покриття (тальк, каолін, магнезія, гіпс тощо). У ряді випадків наповнювачі одночасно можуть бути і пігментами.

*Пластифікатори* – органічні речовини, які протягом тривалого часу зберігають еластичність покриття, гнучкість плівки при низьких температурах. Пластифікаторами є дибутилфталат, трикрезилфталат тощо.

*Сикативи* – солі деяких органічних кислот (резинати і нафтенати кобальту, свинцю, цинку). Вони діють як каталізатори в процесі полімеризації плівко утворювача і підвищують у 7-8 разів швидкість висихання масляних матеріалів при кімнатній температурі.

Лакофарбові матеріали можуть мати також інші добавки: стабілізатори, анти статика тощо.

### **5.2.2. Види лакофарбових матеріалів та їх коротка характеристика**

Лакофарбові матеріали - це багатокомпонентні рідкі речовини, які після нанесення на поверхню тонким шаром утворюють плівки, міцно з'єднані з поверхнею.

В залежності від призначення лакофарбові матеріали ділять на основні і допоміжні. До основних відносяться лаки, фарби, емалі. Для забезпечення міцного зчеплення покриттів, їх вирівнювання і усунення деяких дефектів поверхні використовують такі допоміжні матеріали як ґрунти, шпаклівки, підмазки. До необхідної в'язкості лакофарбові матеріали доводяться розчинниками і розріджувачами.

**Лаки** – це рідкі розчини плівкоутворюючих речовин в органічних розчинниках (що швидко випаровуються), здатні при нанесенні їх на поверхню утворювати при певних умовах тверді або матові покриття з хорошим зчепленням із матеріалом виробу. Назви лаків відповідають назвам розчинників (спиртові) або плівкоутворюючих речовин (наприклад, олійні, нітроцелюлозні, поліефірні тощо.). Залежно від виду смоли і розчинника їх поділяють на спиртові, целюлозні (нітролаки) та олійні (масляні).

*Спиртові лаки* – це розчини природних або синтетичних смол (30...35% до маси лаку) у спиртах (переважно в етиловому спирті 92...96%). В деякі лаки додають пластифікатори і підсвічують барвниками. Найчастіше для виготовлення спиртових лаків беруть шелак, берестяну, гліфталеву та перхлорвінілову смоли. Кращими спиртовими лаками є шелачні. Вони утворюють гарні, блискучі і тверді плівки, які добре шліфуються і поліруються, але не зовсім водостійкі, вони мають різні номерні марки, оздоблення ними вимагає багато часу. Процес виготовлення шелачного лаку простий. Подрібнений шелак засипають у посудину і заливають чистим спиртом, підігрівають до 40°C і витримують до повного розчинення шелаку. Розчин фільтрують крізь кілька шарів марлі, і лак готовий.

*Целюлозні або нітролаки* виготовляють на основі нітроцелюлози і суміші різних летких розчинників з добавкою природних або синтетичних смол, пластифікаторів і розріджувачів. В нітролаках плівкоутворювачами є: нітроцелюлоза (від 4 до 20% від маси лаку), смола (від 5 до 8%), пластифікатори (від 1 до 12%). Смола збільшує товщину нітролакової плівки, твердість, підсилює її блиск, атмосферотривкість, адгезію.

Розрізняють нітролаки холодного і гарячого (при нагріванні до 70...75°C) нанесення. Нітролаки холодного нанесення до робочої в'язкості доводять розрідженням розчинниками, тому кількість плівкоутворюючих речовин в одиниці об'єму лаку зменшується, а витрата цих нітролаків (при однаковій товщині нанесення) збільшується приблизно на 30% порівняно з лаками гарячого нанесення.

До нітролаків холодного нанесення відносяться лаки НЦ-216, Щ-218, НЦ-221, НЦ-222, НЦ-224, і НЦ-228, а гарячого нанесення лаки НЦ-225. Всі ці лаки дають глянцеvu плівку. Основними способами їх нанесення служать розпилювання і налив, деякі з них (НЦ-221, НЦ-224, НЦ-228) можна також наносити пензликами і тампонами (способи нанесення нітролаку на поверхні виробів вказано в інструкціях).

До лаків холодного нанесення відноситься і лак НЦ-49, який дає матову плівку.

Нітролакові покриття добре шліфуються і поліруються.

Нітролаки гарячого нанесення в навчальних майстернях шкіл і педучилищ застосовувати не рекомендується.

*Лаки із синтетичних смол* дають плівки високої міцності з матовим блиском, надійно зчіплюються з деревиною або шаром ґрунтівки. Плівкоутворення в них відбувається двояко: в результаті випаровування розчинників і розріджувачів або в результаті продовження хімічної реакції в нанесеному шарі лаку, що, в основному, складається із синтетичної смоли. Розчинниками для цих лаків служать ацетон, толуол, дихлоретан, бутиловий спирт.

Серед лаків, виготовлених на основі синтетичних смол, особливе місце займають поліефірні. Життєздатність поліефірних лаків невелика (20...30 хв.), тому промисловість випускає їх у вигляді 2...3 компонентів, упакованих в окремих посудинах: напівфабрикатний лак, до якого входять плівкоутворювачі та пластифікатори; прискорювач; затверджувач.

Компоненти поліефірних лаків у роздрібненому вигляді можуть зберігатися тривалий час. Перед нанесенням на оздоблювані поверхні компоненти змішують і негайно застосовують за призначенням. Знайшли велике застосування гліфталевий, пентафталевий та поліефірні лаки.

*Олійні лаки* - розчини природних або синтетичних смол у висихаючих оліях з добавкою сикативів і розріджувачів. Основними їх компонентами є висихаючі олії (ляна, конопляна, тунгова). До їх складу входять також смоли - каніфоль, копали і гліфталеві смоли. Розчинниками є скипидар, уайт-спирит, ксилол і ін.

Для високоякісного оздоблення дерев'яних виробів їх полірують з використанням різних політур. У столярному виробництві широко використовують два види політур: спиртову і нітроцелюлозну. Для першої з них розчиняють 7...12% смоли в чистому спирті. Високоякісне оздоблення дає шелачна політура, що містить близько 11% шелаку і 89% етилового спирту. Промисловість випускає шелачні політури під номерами: світла - № 14, червона - № 15, чорна - № 16 та нефільтрована ґрунтівна - № 13. Для оздоблення деревини цінних порід найкращою є політура № 14. Іноді замість шелачної політури застосовують дешевшу берестяну. До складу берестяної політури входять берестяна смола - 12%, етиловий спирт - 66% і бутиловий спирт-22%. Нітрополітура відрізняється від нітролаків меншим вмістом плівкоутворюючих речовин. Нею полірують нітролакові покриття.

**Фарба** - це суспензія пігмента або суміші пігментів з наповнювачами у плівко-утворюючій речовині, яка після висихання утворює непрозору однорідну плівку. За призначенням фарби поділяють на будівельні, поліграфічні, художні і спеціальні. До будівельних фарб відносяться олійні, алкідні, емалеві і водорочинні.

*Олійні і алкідні фарби* одержують в результаті перетирання на фарботерточних машинах сумішей пігментів, наповнювачів і оліф. Фарби випускаються двох видів: густотерті і готові до застосування. Густотерті олійні і алкідні фарби виготовляють як на натуральних, так і на алкідних (гліфталевій

або пентафталевій) оліфах. Фарби на алкідних оліфах, називають алкідними. Олійні і алкідні фарби, готові до застосування, отримують в результаті розведення оліфою густотертих фарб з введенням сикативу і добавок (або без них).

Олійні фарби утворюють міцні водо- і атмосферотривкі покриття високої адгезії, які, як правило, висихають за добу. Міцність плівок олійних фарб переважає міцність плівок, утворених чистими оліфами і лаками. Світлотривкість фарб залежить від виду і якості пігменту. Зберігати фарби потрібно без доступу повітря; відкриті посудини з фарбою заливають тонким шаром води.

Окрему групу матеріалів складають леткосмоляні фарби, процес висихання яких полягає у випаровуванні розчинника і затвердненні смоли. Збільшена кількість зв'язуючих в таких фарбах надає покриттям підвищеного блиску і покращує "розлив". Такі фарби називаються *емаліями*. Вони швидко висихають (1...3 год.) їх виготовляють на основі перхлорвінілових, полівінілхлоридних, нітроцелюлозних і інших смол. На відміну від леткосмоляних випускають емалеві фарби, що складаються із пігментів, перетертих із синтетичними або масляними лаками. Висихають (тверднуть) емалі в міру випаровування розчинника. У емалевих фарб поряд з фізичним процесом випаровування розчинника відбувається також хімічні процеси, які роблять плівку незворотною, тобто плівка не піддається повторному розчиненню розчинником. Емалеві фарби, що містять лак, бувають алкідні, епоксидні і ін. Вони висихають порівняно повільно (24 год. і більше). Випускають їх, як і емалі, готові до застосування, і емалі, і емалеві фарба застосовують для зовнішніх і внутрішніх робіт по металу, деревині і штукатурці; вони світлостійкі, стійкі до впливу зовнішнього середовища, дають рівну, гладку, міцну глянцеvu або матову плівку. Оскільки плівки емалей і емалевих фарб зовні однакові (вони схожі на плавлені), тому для скорочення їх називають емаліями.

*Водорозчинні фарби* - це вапняні, водоемульсійні, цементні, клеєві, , силікатні. Водоемульсійні фарби, крім пігментів і наповнювачів, містять водну дисперсію полімерів.

*Порозаповнювачі* добирають відповідно до матеріалу або породи деревини. Вони повинні добре заповнювати пори на поверхні, після висихання не давати усадки, не створювати тріщин, не викришуватись, не розм'якшуватись при нагріванні і не змінювати свого кольору й кольору деревини під дією світла.

Для оздоблення деревини дрібнопористих порід застосовують плівкоутворюючі матеріали в чистому вигляді; наприклад, оліфу, лак, густу політуру, або добавляють до них трохи пемзової пудри. Для оздоблення деревини великопористих порід вводять більше пемзової пудри, тальку, відмучену крейду, віск, синтетичні смоли, широко застосовують готові порозаповнювачі, що їх випускає лакофарбова промисловість. В умовах невеликих виробництв як порозаповнювач нерідко застосовують воскову мастику, яку можна виготовити за одним з таких рецептів (у вагових відношеннях): бджолиного воску - 40%, скипидару - 60%, парафіну - 60%, бензину-розчинника - 40%. Воскові

мастики яскраво виділяють і оживляють текстуру, але малотривкі проти тепла, вологи, механічних впливів тощо.

*Шпаклівки* - густа, в'язка маса, що складається із суміші пігментів з наповнювачами в зв'язуючій речовині і призначена для вирівнювання поверхні. Для зарівнювання місцевих дефектів (тріщин, сучків), що випали, застосовують густі шпаклівки та рідкі, які наносять суцільним шаром. Рідкі шпаклівки одночасно виконують роль порозаповнювачів. Найпростіші шпаклівки виготовляють за одним з таких рецептів, в яких складові частини взято в , процентах до ваги. Олійна: крейда відмучена і пігмент- 65%, оліфа - 5%, клей кістковий - 30%; лакова - крейда відмучена і пігмент 70%, лак олійний - 30%. Нітролакові шпаклівки висихають швидко. їх виготовляють за таким рецептом: крейда відмучена - 30,2%, літопон - 39%, трепел 7,2%, рицинова олія - 11,8%, сольвент - 11,8%. Утворюється густа паста, яку потім розводять нітролаком до потрібної консистенції. Щоб шпаклівка була однорідною, всі складові її частини старанно перемішують і розтирають.

Готуючи поверхні дерев'яних виробів під прозоре оздоблення замість шпаклівки застосовують замазки, які випускає промисловість. А можна й самому виготовити її за таким рецептом: каніфолі - 60% (за вагою), окису магнію - 25%, деревного борошна - 15%. Каніфоль розплавляють і, помішуючи, додають до неї інші компоненти. Перемішують, поки утвориться однорідна маса. Цю масу виливають у форми, де вона твердне. Перед уживанням тверду замазку розігрівають.

Для зменшення витрати матеріалів і поліпшення якості поверхонь їх попередньо грунтують. *Грунтівка* - це суспензія або суміші пігментів з наповнювачами в зв'язуючій речовині, яка утворює після висихання непрозору однорідну плівку з хорошою адгезією (зчепленням, прилипанням) до основи. Грунтівки утворюють нижчі шари покриттів, створюючи надійне зчеплення верхніх шарів покриттів з поверхнею. Крім того, вони захищають метал від корозії, виявляють текстуру деревини, закривають пори матеріалу, вирівнюють і створюють однорідну поверхню перед фарбуванням. Висушену і загрунтовану поверхню покривають фарбою або лаком.

Як ґрунти під непрозоре оздоблення застосовують недорогі густотерті фарби, розведені до потрібної консистенції, а іноді натуральну і напівнатуральну оліфу в чистому вигляді.

### 5.2.3. Маркування лакофарбових матеріалів

Лакофарбові матеріали маркуються п'ятьма групами літеро-цифрових знаків. Перша група - назва лакофарбувального матеріалу - лаки, фарби, порошкові фарби, емалі, ґрунтівки і шпаклівки. Друга група, що позначається двома літерами, вказує тип основного плівкоутворювача за хімічним складом:

АС — алкідно-акрилові,  
 АТ — алкідно-уретанові,  
 АЦ — ацетилцелюлозні,  
 БТ — бітумні,

АБ — ацетобутиратцелюлозні,  
 ВН — вініл- і дівінілацетиленові ;  
 КФ — каніфольні,  
 КП — копалові,

ГФ — гліфталеві,  
 КЧ — каучукові,  
 КС — кремнійорганічні,  
 МС — олійно- і алкідно-стирольні,  
 МА — олійні,  
 МЧ — мочевинні,  
 ПФ — пентафталеві,  
 АК — пол іакрилові,  
 АД — поліамідні,  
 ВЛ — полівінілацетатні,  
 УР — поліуретанові,  
 ПЗ — поліефірні ненасичені,  
 ВС — сополімеровінілацетатні,  
 ФА — фенолалкідні,  
 ФП — фторопластові,  
 ХП — хлоровані поліетиленом,  
 ЗП — епоксидні,  
 ЗЦ — етилцелюлозні,

КТ — ксифталеві,  
 МЛ — мелаїнові,  
 НЦ — нітроцелюлозні,  
 ХВ — перхлорвінілові і полівінілхлоридні,  
 ВА — полівінілацетати,  
 ИД — поліамідні,  
 ПЛ — поліефірні насичені,  
 ХС — сополімеро-вінілхлоридні,  
 КС — сополімеро-карбональні,  
 ФЛ — фенольні,  
 ФР — фурилові,  
 ЦГ — циклогексанові,  
 ШЛ — шелачні,  
 ЗФ — епоксидноефірні,  
 ЗТ — етрифталеві,  
 НП — нафтополімерні.  
 Ян — янтарні.

Для лакофарбових матеріалів, що мають специфічні властивості, між першою і другою групами знаків через дефіс ставлять індекси: В - водорозчинні, П - порошкові, З - емульсійні, Б - без активного розчинника.

Третя група, яка відділяється від другої також через дефіс, визначає основне призначення лакофарбувального матеріалу і маркується цифрами від 1 до 9 в маркуванні емалей, 0 - в маркуванні ґрунтівок, 00 - в маркуванні шпаклівок.

Цифра 1 означає, що емаль атмосферотривка, тобто тривка до атмосферних впливів в різних кліматичних умовах, експлуатується на відкритих майданах; 2 - обмежено атмосферотривка, експлуатується під навісом і всередині приміщень, які не обігріваються; 3 - консерваційна, використовується для тимчасового захисту поверхонь в процесі виробництва, транспортування і збереження виробів; 4 - водотривка, тривка до дії прісної води і її парів, а також морської води; 5 - спеціальна, тривка до випромінювань тощо, 6 - маслобензотривка, тривка до дії мінеральних масел, бензину тощо; 7 - хімічно-тривка, тривка до дії кислот, лугів і інших рідких реагентів і їх парів; 8 - термотривка, тривка до дії підвищених температур; 9 - електроізоляційна, здатна витримувати вплив електричного струму, електричної дуги і поверхневих зарядів.

Четверта група визначає порядковий номер, присвоєний даному лакофарбовому матеріалу, і позначається однією, двома або трьома цифрами. При наявності деяких специфічних особливостей лакофарбового матеріалу можливий додатковий буквенний індекс. Наприклад, «ГС»- і «ХС»-емалі гарячої і холодної сушки відповідно; «ПГ»-зниженої горючості.

Для олійних фарб замість порядкового номера ставиться цифра, визначаюча і вид оліфи, на якій виготовлена фарба: 1 - натуральна, 2 - оксоль, 3 - гліфталева, 4 - пентафталева, 5 - комбінована.

П'ята група знаків означає колір лакофарбувального матеріалу і дається повним словом. При великій різноманітності відтінків одного ж і того ж кольору колір вказується з порядковим номером, наприклад, зелена - 1, зелена - 2 тощо.

### **Приклади позначення лакофарбових матеріалів:**

Лак БТ-783: БТ - бітумний, 7 - хімічно тривкий, 83 — порядковий номер.

Фарба МА-025 зелена: МА - олійна, 0 - густотерта, 2 - обмежено атмосферотривка; 5 - комбінована оліфа; зелена - колір фарби.

Емаль ХВ-113 синя; ХВ - перхлорвінілова, 1 — атмосферотривка, 13 - порядковий номер; синя - колір емалі

Грунтівка ГФ-020 червоно-коричнева; ГФ — гліфталева, 0 — грунтівка, 20 — порядковий номер, червоно-коричнева - колір.

Шпаклівка 311-0010 коричнева; ЗП - епоксидна, 00 - шпаклівка, 10 - порядковий номер, коричнева - колір.

## **5.3 Мастильні матеріали**

### **5.3.1 Класифікація мастильних матеріалів**

За *фізичним станом* мастильні матеріали поділяють на дві групи: рідкі мінеральні масла і консистентні (пластичні) мастила.

За *призначенням масла* поділяються на:

- моторні: для авіаційних, газотурбінних, карбюраторних і дизельних двигунів;
- спеціальні – турбінні, компресорні, індустриальні, циліндрові і ізоляційні;
- трансмісійні (трансмісія – сукупність пристроїв для передачі на відстань механічної енергії і розподілу її в місцях споживання) включно масла для гідропередач, в яких масло служить робочим середовищем, що передає крутний момент від двигуна на ведучу системи машини;
- машинні та масла різного призначення.

У свою чергу за *призначенням мастила* поділяють на чотири основні групи: антифрикційні (для зниження тертя і зношування спряжених пар), консерваційні (для запобігання корозії металевих поверхонь, механізмів, при зберіганні, транспортуванні, експлуатації), канатні (для запобігання зношування і корозії сталевих канатів), ущільнювальні (для герметизації зазорів, поліпшення складання і розбирання арматури та інших будь-яких рухомих з'єднань).

Мінеральні масла отримують з нафти шляхом її перегонки на спеціальних установках. Процес містить дві послідовні стадії:

а) первинна перегонка при атмосферному тиску, під час якої з нафти отримують світлі нафтопродукти (бензин, гас, дизельне паливо і т. ін.), а в залишку одержують мазут;

б) вакуумна перегонка мазуту з метою отримання дистильованих, залишкових та змішаних моторних масел.

Консистентні мастила отримують додаванням до масел спеціальних загусників і стабілізаторів структури. При звичайних температурах мастила являють собою колоїдні системи. Зовнішньо – це мазеподібні речовини від світло-жовтого (іноді білого) до темно-коричневого і чорного кольору.

Рослинні і тваринні мастила і жири використовуються лише при виготовленні певних сортів пластичних мастил і як добавка до деяких мінеральних масел.

Переваги мастил перед маслами наступні: здатність утримуватись в негерметичних вузлах тертя, кращі мастильні якості, більш високі захисні якості, висока економічність використання.

Консистентні мастила використовуються там, де немає змоги використовувати рідкі масла.

При використанні мастил не потребуються масляні насоси, фільтри, трубопроводи і т. ін. це дозволяє спростити конструкцію, зменшити її масу і підвищити надійність.

Недоліки мастил це – погана охолоджуюча здатність деталей тертя, відсутність виносу продуктів зносу із зони тертя, складніша подача до вузла тертя та деякі інші.

### **5.3.2 Основні характеристики масел. Вимоги до них.**

Основними характеристиками масел є в'язкість, температура спалаху, температура застигання, стабільність, вміст домішок.

*В'язкість* має велике практичне значення. Від неї залежить здатність масла утримуватись у вигляді шарів необхідної товщини між тертьовими поверхнями і забезпечувати режим рідинного тертя. Застосування оливи з надто високою в'язкістю приводить до збільшення втрат потужності на тертя, а також може бути причиною підвищення температури тертьових поверхонь. При використанні масел з надто малою в'язкістю на тертьових деталях утворюються дуже тонкі плівки, після розриву яких тертьові поверхні переходять в режим граничного або сухого тертя і збільшуються їх зношування.

В стандартах або ТУ на масла в якості основного показника наводяться норми на в'язкість в одиницях кінематичної в'язкості, рідше в одиницях динамічної, а інколи в одиницях умовної в'язкості. Масла вибирають в залежності від умов роботи механізмів: більше навантаження – вищою має бути в'язкість, вища швидкість рухомих частин – менша в'язкість, нижча температура оточуючого середовища – менша в'язкість і навпаки.

При виборі масел важливе значення має характер змінювання їх в'язкості з температурою. Для нормальної експлуатації різноманітних машин і механізмів, які працюють у широкому діапазоні температур, необхідно, щоб в'язкість масел не суттєво змінювалась при збільшенні температури. Позитивною якістю масел є полого в'язкісно-температурна крива. Ступінь пологості температурної кривої для масел наближено оцінюється за відношенням



в'язкості при двох температурах (звичайно при 50 і 100°C) величиною температурного коефіцієнта в'язкості (ТКВ)

$$\text{ТКВ} = v_{50}/v_{100}$$

У міжнародній практиці для оцінки в'язкісно-температурної характеристики масел прийнято кількісний критерій, що називається індексом в'язкості ІВ. Індекс в'язкості є умовним показником, який визначають порівнянням досліджуваного масла з двома еталонними, в'язкісно-температурні властивості одного з яких прийняті за 0, а другого за 100 одиниць. Чим вищий ІВ, тим більш полого в'язкісно-температурна характеристика і тим краще масло для експлуатації в різні періоди року. Практично ІВ визначають по номограмі наведеній в ГОСТ 2531-82.

Температура втрати рухомості масел в стандартних умовах (за ГОСТ 20287-74) називається *температурою застигання*. Цей показник умовний, але ним користуються для приблизного визначення низькотемпературних властивостей робочих температур і масел. Температура експлуатації повинна бути на 20°C вище температури застигання масла. Масло, що застигло, не тільки не потрапляє до насосу, а й не прокачується по масляній системі. На маслі, що застигло, не можливий запуск двигуна, механізму та будь-якого агрегату.

Стійкість масел проти окислювання киснем повітря (*хімічна стабільність*) є одним з найважливіших параметрів, що визначають поведінку масла у вузлах тертя при експлуатації, лімітують термін його служби тощо. В процесі роботи в маслі утворюються з'єднання, розчинні і нерозчинні. В результаті окислювання масла утворюються лакові та вуглисті відкладення, низькотемпературні відкладення, органічні кислоти й інші продукти. Усе це погіршує якість масел, а також порушує нормальну роботу двигуна. Глибокі зміни якості масел викликають необхідність їх заміни.

Фізико-хімічні властивості масел регулюються введенням в масляну основу спеціальних присадок, що регулюють в'язкість, температуру застигання, підвищують стійкість масел проти окиснення, надають їм антикорозійні властивості. Крім того для зменшення відкладень на деталях вводять спеціальні миючі присадки.

У загальному випадку до мастильних матеріалів пред'являють наступні вимоги: наявність антифрикційних і антизадирних властивостей; висока хімічна і фізична стабільність в умовах експлуатації; здатність захищати конструкційні матеріали від хімічних агресивних речовин (захисні властивості); здатність відводити теплоту і продукти зносу від поверхонь тертя; максимальний ресурс, мінімальна токсичність і гарні протипожежні характеристики.

### 5.3.3 Маркування і асортимент пластичних мастил

Умовне позначенні кожного мастила складається з його найменування (літол, солідол і т. ін.) та індексів, що характеризують призначення, тип загу-

сника, температурний інтервал застосування, дисперсійне середовище, консистенцію мастила. Приклади:

- Мастило МЛи4/13-3, де М – багатоцільове мастило; Ли – загусник – літєве мило; 4/13 – температурний діапазон застосування від -40 до +130°C; 3 – клас консистенції.
- Мастило КТ6/5к-г-4, де К – канатне мастило; Т – загусник – тверді вуглеводні; 6/5 – температурний інтервал експлуатації від -60 до +50°C; к – мастило виготовлене на основі кремнійорганічної речовини; г – в якості добавки використано графіт; 4 – клас консистенції.

*Антифрикційні мастила*, що призначені для зменшення зношування і тертя пар, складають більше 80% загальної кількості мастил.

Найбільш розповсюдженими водостійкими мастилами для змащування вузлів тертя різних машин та механізмів є кальцієві мастила - солідоли.

*Синтетичні солідоли* СКa2/7-2(ГОСТ 4636-76) виготовляють загусненням масел середньої в'язкості гідратованими кальцієвими милами синтетичних жирних кислот, отриманих окисленням парафіну. Температура використання синтетичних солідолів не перевищує 50-70°C. Вище цієї температури вони розпадаються. Солідол С можливо заправляти в вузли тертя до температури - 10°C, а прес-солідоли С - до температури - 20°C.

Синтетичні солідоли володіють доброю колоїдною стабільністю. Їх використовують як консервативні мастила, тому що вони практично не змиваються дощем з відкритих поверхонь.

Прес-солідоли використовують для змащування вузлів тертя шасі автомобілів; солідол С - в якості літнього та зимового мастила в різних вузлах тертя. Недоліком останнього є відносно низька механічна стабільність.

*Жирові солідоли* (ГОСТ 1033-79) на відмінність від синтетичних згущуються кальцієвими милами жирних кислот, які входять в склад природних жирів. Жирові солідоли виготовляють двох марок: прес-солідол Ж та солідол Ж. Жирові солідоли взаємозамінні з синтетичними.

*Графітна змазка* СКa 2/6-г3 (УСеА) (ГОСТ 3333-80) виготовляється з високов'язкого циліндрового масла з введенням кальцієвого мила і графіту. Ці мастила застосовуються для важконавантажених тихохідних механізмів, в ресорах, різьбових з'єднаннях, торсіонних підвісках і т.д. Температурна межа використання – 20-60°C.

*Жировий консталин* (досконале тугоплавке мастило УТ ГОСТ 23258-78) двох марок: консталин - 1-ОНa 2/11-3 та консталин - 2-ОНa2/11-4, котрі розрізняються температурою краплепадіння та значенням пенетрації. Отримують жирові консталини згущенням очищеного або вилуженого мінерального масла натрієвими милами. Використовуються для підшипників кочення з температурою до 120°C.

*Автомобільне мастило* ОНаКа 3/10-2(ГОСТ 9432-60) призначене для змащування підшипників маточин коліс, черв'ячного валу коробки передач та інших вузлів автомобіля. Воно майже нерозчинне, але емульгується при довгому перебуванні у вологій атмосфері. У вигляді відносно м'якої консис-

тенції та пониженої в'язкості при звичайних температурах це мастило добре змащує підшипники кочення. Температура краплепадіння - не нижче 150°C.

*Мастило МЛш 4/12-3* (Літол-24 ГОСТ 21150-75) - антифрикційне, багатоцільове, водостійке. Призначене для використання в вузлах тертя колісних та гусеничних транспортних засобах та виробничого обладнання, працюючих при температурах – 40-120°C.

*Мастило Літол-24* виготовляється згущенням мінерального масла літієвими милами 12-оксистеаринової кислоти з добавкою антиокисної присадки.

*Мастило УЛш4/13 (13-31)* (ГОСТ 24300-80) представляє собою синтетичне масло, згущене стеарином літію та містить в'язкісну, антиокисну та антикорозійну присадки. Призначення мастила - закриті підшипники кочення, які працюють в інтервалі температур від - 40 до 130°C.

*Мастило ЦИАТИМ-201* (ГОСТ 6267-74) призначене для змащування пристроїв та механізмів, які працюють з малим навантаженням зсуву при температурах -60-90°C.

*Карданне мастило УНа2/10-2 (АМ)* (ГОСТ 5730-51) використовується для змащування поворотних цапф переднього ведучого моста автомобілів. Температура краплепадіння - не нижче 115°C, penetрація 220...270 при 25°C.

*Мастило Уніол* відноситься за своїм складом до комплексних кальцієвих мастил, які виготовляються на милах високо- та низькомолекулярних кислот. Уніол водостійке навіть у киплячій воді. Мінімальна температура використання Уніола однакова з мастилами 1-13 та солідолом С, а за максимальною температурою переважає їх та добре витримує робочу температуру 150-160°C. Володіє доброю колоїдною стійкістю та високими протизадирними властивостями. Недоліком Уніола є його гігроскопічність, що вимагає зберігання його в герметичній тарі. Ці недоліки виключені в Уніолі-1, яке виготовляється на в'язкому авіаційному маслі. Уніол може використовуватися в якості одного автомобільного мастила в заміну солідолу, мастил 1-13, ЯНЗ-2 та ін.

*Високотемпературні мастила* призначені для вузлів тертя які працюють при температурі 150-200°C. До цих мастил відносяться літакомоторне тугоплавке СТ (ГОСТ 5573-67), ЦИАТИМ -221 (ГОСТ 9433-80) та ін.

*Низькотемпературні мастила* призначені для змащення при низьких температурах. До них відносять мастила ЦИАТИМ201 та 203, МС-70, ГОИ-54п та ін.

*Мастило ЦИАТИМ-203* (ГОСТ 8773-73) призначене для змащування механізмів, працюючих при високих навантаженнях та при температурі – 50-90°C.

*Консерваційні мастила* - це мастила з вуглеводними загусниками: НТ 5/5-3 (ГОИ-54п), ПВК, які містять загусник церезин. Мастило НТ 5/5-3 (ГОИ 54п) (ГОСТ 3276-74) використовується для змащування пристроїв механізмів, працюючих при температурах – 40-50°C, та захисту механічних поверхонь від корозії.

*Пластичне мастило ЗТ 5/5-5 (ПВК)* (ГОСТ 19537-74) призначене для захисту від корозії металічних виробів при температурах - 50.50°C в умовах складного зберігання на відкритих майданчиках під навісом та чохлами. Змазка ПВК виробляється сплавленням петрулатума з в'язким залишковим маслом, куди додатково вводять 5% церезима та присадки. Воно володіє високою водостійкістю та стійкістю, нерозчинне у воді що дозволяє захищати деталі у воді на протязі 10 років.

#### **5.3.4. Асортимент, властивості і область застосування енергетичних масел**

До енергетичних масел прийнято включати *турбінні, компресорні та електроізоляційні*.

*Турбінні масла* призначені для змащування і охолодження вузлів тертя парових, газових турбін, їх турбокомпресорів, турбоповітродувок, турбонасосів та генераторів електричного струму, а також виконують функції гідравлічних масел у системах регулювання роботи турбіни. Ці масла також використовують у циркуляційних та гідравлічних системах різноманітних промислових механізмах.

У турбінних установках змащувальні масла працюють у жорстких умовах при високій температурі (60-100°C), при високому навантаженні й кратності циркуляції масла, контактуючи при цьому з киснем повітря, вологою, металами й різноманітними хімічними активними речовинами. Тому турбінні масла повинні мати хорошу стабільність проти окислення, не утворювати стійких емульсій з водою та піни, мати добрі змащувальні, протиспрацювальні та протизадирні властивості і захищати металеві поверхні від корозії.

Основний асортимент турбінних масел Т<sub>П</sub>-22<sub>С</sub> (ТУ 38, 101821-83), Т<sub>П</sub>-30 і Т<sub>П</sub>-46 (ГОСТ 9972-71) одержують з парафінових нафт із застосуванням очищення селективним розчинником з додаванням антиокислювальних та інших присадок. При легких умовах роботи по навантаженню й температурі застосовують масла без присадок. Основні фізико-хімічні властивості турбінних масел й область їх застосування наведені в табл. 5.4.

*Компресорні масла* використовують для змащення різноманітних вузлів та деталей компресорних машин, їх охолодження, а також для герметизації компресорного обладнання. Умови роботи масла в компресорі залежить від особливостей його конструкції, ступеня стиску й температури нагрівання.

Поршневі компресори забезпечують найвищі ступені стиску, тому при їх експлуатації ставлять підвищені вимоги до масла. Температура в зоні тертя сучасних теплонапружених вузлах компресорів досягає 220°C. Під час роботи компресора масло, стикаючись з нагрітим повітрям, зазнає окислюючої дії кисню. Тому компресорне масло повинно мати високу температуру спалаху. Застосування нестабільних масел може викликати відкладення нагару на клапанах, поршнях, поршневих кільцях, що порушує нормальну роботу компресора. Утворення відкладень коксу поряд з термічною стабільністю масла залежить також від його в'язкості. Масла з меншою в'язкістю утворюють

менше відкладень в системі нагнітання. Від в'язкості масла залежить також втрати енергії на тертя, спрацювання тертьових поверхонь деталей, ущільнення поршневих кілець, швидкість запуску компресора, температура поверхонь тертя.

**Таблиця 5.4 - Фізико-хімічні властивості й область застосування турбінних масел**

Марка масла	Кінематична в'язкість при 50°C, мм <sup>2</sup> /с	Індекс в'язкості	Температура, °C		Кислотне число, мг КОН/г, не більш	Область застосування
			спалаху, не нижче	застигання, не вище		
Тп-22с	20...23	90	186	-15	0,10	Високооборотні парові турбіни турбокомпресорні машини, відцентрові компресори, гідросистеми металорізального обладнання
Тп-22	20...23	70	180	-15	0,02	
Тп-30	28...32	90	190	-10	0,50	Газотурбіни, низькооборотні парові турбіни, турбо- і відцентрові компресори в парі з високооборотними навантаженими редукторами
Т-30	28...32	65	180	-10	0,02	
Тп-46	44...48	90	220	-10	0,5	Допоміжні системи турбоустановок з частотою обертання до 1500 хв. <sup>-1</sup>
Т-46	44...48	60	195	-10	0,02	

Масла для компресорів одержують у вузькому діапазоні температур кипіння з нафтової сировини у вигляді вакуумних дистилятів, ретельно очищених від асфальтенів та інших нестабільних компонентів. Масла для компресорів невеликої продуктивності не містять присадок. При використанні в теплонапружених поршневих компресорах масла містять антиокислювальні, антикорозійні, миючі та інші присадки.

Класифікація компресорних масел передбачає поділ їх на 4 групи залежно від умов застосування й температури нагрівання:

- помірний режим роботи при температурі нагнітання <160°C;
- те ж, при температурі нагнітання <180°C;
- важкі умови роботи при температурі нагнітання <200°C;
- компресори високого тиску при важких умовах роботи й температурі нагнітання <200°C.

Відповідно до класифікації в маркуванні масел літера “К” означає приналежність до компресорних масел. Цифра після “К” за винятком першої групи, вказує групу масел, і наступна після дефісу цифра характеризує кінематичну в’язкість при 100°C.

Приклади позначень:

К-12 - масло компресорне, першої групи з класом в’язкості 12 при 100°C;

К3-10 - масло компресорне, третьої групи з класом в’язкості 10 при 100°C.

Основні фізико-хімічні властивості і область застосування компресорних масел наведені в таблиці 5.5.

**Таблиця 5.5 - Характеристика компресорних масел**

Марка масла	Кінематична в’язкість при 100 0С, мм <sup>2</sup> /с	Індекс в’язкості	Кислотне число, мг КОН/г не вище	Температура, °С		Область застосування
				спалаху, не нижче	застигання, не вище	
К-12 ГОСТ 1861-73	11...14	-	0,15	216	-25	Поршневі компресори низького і середнього тиску (до 4 МПа) при температурі оточуючого повітря - 25 °С
К-19 ГОСТ 1861-73	17...21	-	0,10	245	-5	Поршневі компресори середнього і високого тиску
КС-19 ГОСТ 9243-75	18...22	92	0,02	260	-15	Поршневі компресори середнього і високого тиску
К-28 ОСТ 38 012282-82	26...30	80	0,04	275	-10	Багатоступінчасті поршневі компресори високого тиску в тому числі для повітрярозподільних установок
К3-10 ТУ 38 401724-88	8,8...10,5	90	0,2	205	-10	Поршневі тепло напружені компресори, а також ротаційні компресори де необхідні підвищені змащувальні властивості

У холодильних установках масла застосовують для змащування вузлів тертя компресорів, що перекачують холодоагенти - аміак, діоксид вуглецю, галогеноподібні (фреони) та ін.

Окрім змащення, вони забезпечують також відведення тепла від третьових поверхонь та ущільнення компресійної камери. Діапазон застосування масел для компресорів холодильних машин дуже широкий: від невеликих холодильників з постійним завантаженням холодоагенту на весь строк служби до холодильників промислових установок.

До масел для холодильних компресорів ставлять специфічні вимоги, обумовлені безперервним контактом з холодоагентом та постійною зміною температури і тиску середовища. У таких умовах експлуатації особливе значення має хімічна стабільність масла в суміші з холодоагентом та розчинність масла в ньому при низьких температурах. Компресори холодильних установок працюють без доступу повітря, тому окислювальні процеси в маслі незначні. Однак термічні навантаження на масло досягають великих значень. При стиску холодоагенту температура масла в камері стиснення може досягти 160°C та вище, тому воно повинно мати достатньо високу в'язкість. У той же час, враховуючи можливість попадання масла у випарник, підвищені вимоги ставлять до низькотемпературних властивостей системи масло-холодоагент.

При низьких температурах масло повинно бути плинним, не виділяти кристали парафіну та мати низьку температуру застигання, щоб не застигати на охолоджених поверхнях випарника. На низькотемпературні властивості негативно впливає волога, тому перед застосуванням масла для холодильних установок повинні бути ретельно висушені.

Для компресорів холодильних установок нафтопереробні підприємства випускають масла серії ХА та ХФ (ГОСТ 5546-86) (таблиця 5.6). Крім того застосовують синтетичне масло ВНИИНЛ ХС-40 (ТУ 38 101763-78) і нафтове масло ХМ-35 (ТУ 38 1011158-88).

**Таблиця 5.6 - Характеристика масел для компресорів холодильних установок**

Марка масла	Кінематична в'язкість при 50°C, мм <sup>2</sup> /с	Температура, °C		Область застосування
		спалаху, не нижче	застигання, не нижче	
ХА (фригус)	11,5...14,5	190	-37	Компресори, які працюють на аміаку або СО <sub>2</sub> .
ХА-30	28...32	185	-38	Компресори, які працюють на фреоні 12 з температурою конденсації не вище -50°C.

ХФ-12-16	≥16	174	-42	Компресори, які працюють на фреоні 12 з температурою конденсації не вище -50°C.
ХФ-22-24	24,5...28,4	130	-55	Компресори, які працюють на фреоні 22 з при температурі кипіння до -70°C.
ВНИИ НП ХС-40	37...42	200	-45	Компресори, які працюють при температурах від -50°C до 150°C.
ХМ-35	32...37	190	-37	Для компресорів судових холодильних машин.

*Електроізоляційні масла.* Як рідкі діелектрики їх застосовують в ролі ізолюючих засобів струмонесучих частин електрообладнання (силових трансформаторів, конденсаторів, кабелів, масляних вимикачів тощо). Такі масла забезпечують відведення теплоти, а також сприяють швидкому гасінню електричної дуги в масляних вимикачах.

*Трансформаторні масла.* Характерні для сучасних трансформаторів жорсткі умови роботи - вплив електричного поля, нагрівання масла - поряд з вимогами забезпечення високої надійності й довговічності обладнання обумовлюють підвищення вимог до якості застосовуваного масла.

Під час роботи трансформатора в його осерді та обмотках виникають втрати електричної енергії, внаслідок яких трансформатор нагрівається. Тому особливою функцією трансформаторного масла, крім ізоляції, є відведення тепла шляхом примусової циркуляції або термосифонного охолодження. Для забезпечення ефективного тепловідведення в трансформаторах застосовують малов'язкі мінеральні масла з хорошими низькотемпературними властивостями. Температура застигання вітчизняних трансформаторних масел відповідно до вимог міжнародної електричної комісії (МЕК) не перевищує -45 °С.

При змінному електричному полі в трансформаторному маслі, як у будь-якому діелектрику, виникають втрати енергії, пов'язані з процесами поляризації атомів і молекул. Утворені в маслі продукти окислення погіршують його електроізоляційні та тепловідводні властивості. Тому до найважливіших якісних характеристик трансформаторних масел належить висока стійкість проти окислення. Для підвищення стабільності масел проти окислення в них додають антиокислювальну присадку іюнол, яка не впливає помітно на діелектричні властивості масел.

Тангенс кута діелектричних втрат є показником якості масла, чутливим до наявності в ньому різноманітних забруднень.

Масла для вимикачів застосовують для захисту контактів вимикачів високовольтних ланцюгів від перегорання, викликаного іскрінням, а також для швидкого вимикання електроенергії. Лише малов'язкі електроізоляційні мас-



ла, що мають достатню плинність при робочих температурах, здатні охолоджувати електричну дугу, яка виникає при розмиканні електродів. Щоб уникнути корозії контактів, масла для вимикачів не повинні мати корозійно-агресивне середовище. У високовольтних кабелях як просочувальне та ізоляційне середовище застосовують спеціальні масла. Як і всі електроізоляційні масла, вони повинні мати хороші діелектричні властивості. Електрична міцність (напруга пробою), як міра ізоляційної властивості для вітчизняних масел залежно від області застосування, складає 150...210 кВ/см.

Тривала експлуатація кабельних масел без зміни діелектричних властивостей забезпечується потрібною стабільністю їх проти окислення.

Основні властивості та області застосування електроізоляційних масел наведені в таблиці 5.7.

**Таблиця 5.7 - Характеристика електроізоляційних масел**

Марка масла	Кінематична в'язкість при 50оС, мм <sup>2</sup> /с	Кислотне число, мг КОН/г, не більш	Температура, °С	
			спалаху, не нижче	застигання, не вище
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<b>Трансформаторні:</b>				
ТКп	9	0,02	135	-45
Масло адсорбційної очистки	5...9	0,02	135	-45
Масло селективної очистки	<9	0,02	150	-45
Т-750	<8	0,01	135	-55
Т-1500	<8	0,01	135	-45
ГК	9	0,01	135	-45
<b>Масла для вимикачів:</b>				
МВ	>2	0,02	94	-70
<b>Кабельні:</b>				
КМ-25	>23 при 50°С	0,06	225	-10
С-220	>50	0,02	180	-30
МН-4	<10	0,44	135	-45
<b>Конденсаторні:</b>				
Масло сірчаноокислотної очистки	12	0,02	135	-45
Масло фенольної очистки	9	0,02	150	-45

*Продовження таблиці 5.7.*

Тангенс кута діелектричних втрат (ідо) при 100°C, не більше	Область застосування
6	7
<b><i>Трансформаторні:</i></b>	
2,2	Обладнання напругою до 500 кВ.
0,5	Обладнання напругою до 220кВ
1,7	Обладнання напругою до 220кВ.
0,5	Обладнання напругою до 750кВ
0,5	Обладнання напругою до 1500кВ
0,5	Обладнання вищих класів напруги
<b><i>Масла для вимикачів:</i></b>	
0,5	Вимикачі зовнішньої установки, що не мають підігріву в зимовий період
<b><i>Кабельні:</i></b>	
0,01	Для варіння просочувальних мас силових кабелів напругою до 35 кВ з паперовою ізоляцією
0,002	Для заливання кабелів високого тиску
0,003	Маслонаповнювальні кабелі низького і середнього тиску, з'єднувальні муфти підживлювальної апаратури
<b><i>Конденсаторні:</i></b>	
0,005	Заповнення і просочування ізоляції паперово-масляних конденсаторів
0,005	Заповнення і просочування ізоляції паперово-масляних конденсаторів

**БИБЛИОГРАФИЧНИЙ СПИСОК.**

1. Горлов Ю.П., Еремин Н.Ф., Седунов Б.У. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы. Учебное пособие. – М., Стройиздат, - 1976, 192 с.
2. В.А.Арутюнов и др. Metallургическая теплотехника. Т.И. Теоретические основы, топливо и огнеупоры.- М.: Metallургия, 1974.-с.671
3. Топливо, огнеупоры и metallургические печи. Вагин А.А., Кривандин В.А., Прибытков И.А., Перлов Н.И.-М.- Metallургия, 1978,-432с.
4. Стрелов К.К., Мамыкин П.С. Технология огнеупоров. М.: Metallургия, 1978.
5. Огнеупорные изделия, материалы и сырье. Справочник / Под ред. А.К.Карклита- М.: Metallургия, 1990.-416с.
6. Справочник строителя промышленных печей /Под ред. А.В.Чернова. – М.: Госстройиздат, 1952. – 663с.
7. ГОСТ 5338-80 Мертели огнеупорные динасовые пластифицированные. Технические условия.
8. ГОСТ 6137-97 Мертели огнеупорные алюмосиликатные. Технические условия
9. Огнеупоры и футеровки / Под ред. И.С.Кайнарского.- М.: Metallургия, 1976.- 416с.
10. Тепловые и атомные станции. Справочник / Под ред. В.А.Григорьева и В.М.Зорина.-М.: Энергоиздат, 1982.- 624с.
11. К.К.Стрелов. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов.- М.: Metallургия, 1985.- 480с.
12. Материаловедение. Учебник для вузов. Травин О.В., Травина Н.Т.- М.: Metallургия, 1989.-384с.
13. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Войткун Ф. Материаловедение: учебник для вузов. Изд-е 2-е перераб. и доп. СПб.: Химиздат, 2002. – 696 с.
14. Конструкционные материалы. Справочник / Под ред. Б.Н.Арзамасова.- М.: Машиностроение, 1990.- 686с.

15. Г.Ф.Лепин. Ползучесть металлов и критерии жаропрочности. М.: Металлургия, 1976.- 344с.
16. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В.Г.Сорокина. М.: Машиностроение, 1989,-640с.
17. Стали и сплавы для высоких температур. Справ. Изд. С.Б.Масленков, Е.А.Масленкова.- М.: Металлургия, 1991.-832с.
18. Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник / Под ред. А.И.Голубева, Л.А.Кондакова.- М.: Машиностроение, 1986.-464с.
19. Е.А.Эминов, А.А.Козорезова. Смазка оборудования промышленных предприятий.- М.: Химия, 1996.- 176с
20. Справочник по применению и нормам расхода смазочных материалов / Под ред. Е.А.Эминова . Химия.- 1977.- 384 с.

Навчальне видання

Конспект лекцій з дисципліни «Конструкційні та вогнестійкі матеріали в теплоенергетиці»  
для студентів V курсу заочної форми навчання за напрямом 6.050601- Теплоенергетика

Укладач: Анатолій Якович Проскурня

Підписано до друку \_\_\_\_\_ 2014р.

Формат \_\_\_\_\_. Обсяг \_\_\_\_\_ др.арк.

Тираж \_\_\_\_\_ екз. Заказ \_\_\_\_\_

51918, м.Дніпродзержинськ,

вул.Дніпробудівська,2

