

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський державний технічний університет

Рижов А.П.
Соколовська І.Є.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни
«КОНСТРУКЦІЙНІ ТА ВОГНЕСТІЙКІ МАТЕРІАЛИ
В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ»
для студентів денної та заочної форм навчання
за напрямом 6.050601 – Теплоенергетика

Затверджено редакційно-видавничою
секцією науково-методичної ради ДДТУ
протокол №__ від _____ 2016р.

Кам'янське
2016

Розповсюдження і тиражування без офіційного дозволу Дніпровського державного технічного університету **заборонено.**

Конспект лекцій з дисципліни «Конструкційні та вогнестійкі матеріали в теплоенергетиці» для студентів денної та заочної форм навчання за напрямом 6.050601 – Теплоенергетика / Укл. Рижов А.П., Соколовська І.Є. - Кам'янське, ДДТУ, 2016. - 83с.

Укладачі:

доцент, к.т.н. Рижов А.П.,

доцент, к.т.н. Соколовська І.Є.

Відповідальний за випуск:

проф., д.т.н. Горбунов О.Д.

Рецензент: доцент, к.т.н. Долгополов І.С.

/Дніпровський державний технічний університет/

Затверджено на засіданні кафедри

теплоенергетики протокол № _____

від _____ 2016р.

Конспект лекцій містить основні питання щодо металів і сплавів: їх атомно-кристалічну будову, структуру і властивості основних груп металевих виробів. Розглянуто також принципи термічної обробки металевих сплавів.

Особливу увагу приділено жаростійким і жароміцним сплавам чорних та кольорових металів, показникам якості вогнетривких та теплоізоляційних матеріалів.

ЗМІСТ

ВСТУП. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ.

1 БУДОВА І ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИПРОБУВАНЬ

- 1.1. Кристалічна будова металів
- 1.2. Основні властивості металів
- 1.3. Механічні властивості металів
- 1.4. Металографічні дослідження будови металів

2 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СПЛАВИ І ЇХ РІЗНОВИДИ

- 2.1. Основні відомості про сплави
 - 2.1.1. Діаграми стану сплавів
- 2.2. Термічна та хіміко-термічна обробка сталі
 - 2.2.1. Сутність термічної обробки
 - 2.2.2. Види термічної обробки
 - 2.2.3. Хіміко-термічна обробка
- 2.3. Класифікація і маркування сталей
 - 2.3.1. Вуглецеві сталі. Вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталей
 - 2.3.2. Леговані сталі. Вплив летючих елементів на властивості сталі
- 2.4. Низьколеговані будівельні сталі
- 2.5. Корозієстійкі сталі
- 2.6. Жаростійкі сталі
- 2.7. Жароміцні сталі і сплави
- 2.8. Чавуни і їх різновиди
- 2.9. Сплави кольорових металів
 - 2.9.1. Алюміній та його сплави
 - 2.9.2. Мідь і її сплави
 - 2.9.3. Магній та його сплави
 - 2.9.4. титан та його сплави

3. ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ

- 3.1. Загальні відомості
- 3.2. Види лакофарбових матеріалів і їх коротка характеристика
- 3.3. Методи нанесення лакофарбових покриттів
- 3.4. Маркування лакофарбувальних матеріалів

4. ВОГНЕТРИВКІ МАТЕРІАЛИ

- 4.1. Основні вимоги до них
- 4.2. Класифікація вогнетривів
- 4.3. Показники якості вогнетривких матеріалів
- 4.4. Виробництво і властивості вогнетривких матеріалів
 - 4.4.1. Шамотні вогнетривкі вироби
 - 4.4.2. Високоглиноземисті вогнетривкі вироби
 - 4.4.3. Фізичні властивості кремнезему
 - 4.4.4. Кремнеземисті вогнетривів. Динасові вироби.

4.4.5. Магnezіальні вироби

5. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

5.1. Призначення і класифікація теплоізоляційних матеріалів

5.2. Природні теплоізоляційні матеріали.

5.3. Штучні теплоізоляційні матеріали

ОСНОВНА ТА ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА

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: корозієстійкі, жаростійкі, холодностійкі, 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 стійкість.

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, легкої 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 БУДОВА І ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИПРОБУВАНЬ

1.1. 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) (рис. 1);
- кубічна гранецентрована (ГДК) (рис. 2);
- гексагональна щільноупакована (ГЩУ) (рис. 3).

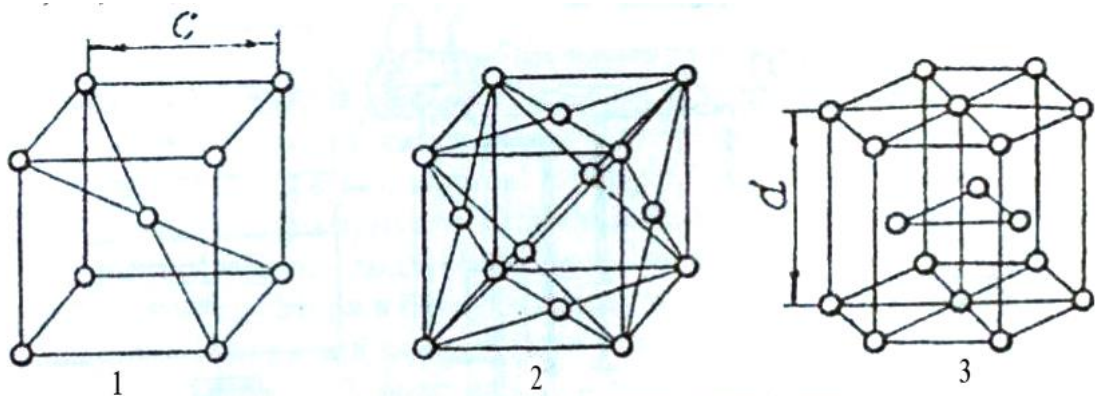


Рис. 1,2,3 Форми кристалічних решіток.

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 рис.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 α, γ, δ . В інтервалі температур 1539-1392°C існує δ -залізо з ОЦК решіткою і періодом 0,293 нм. В інтервалі температур 1392-911°C стійким є γ -залізо, яке має ГЦК решітку і параметр 0,356 нм, а густина його становить 8,0 г/см³, α -залізо, яке існує при температурах нижчих за 911°C, має ОЦК решітку з періодом 0,286 нм і густиною 7,68 г/см³.

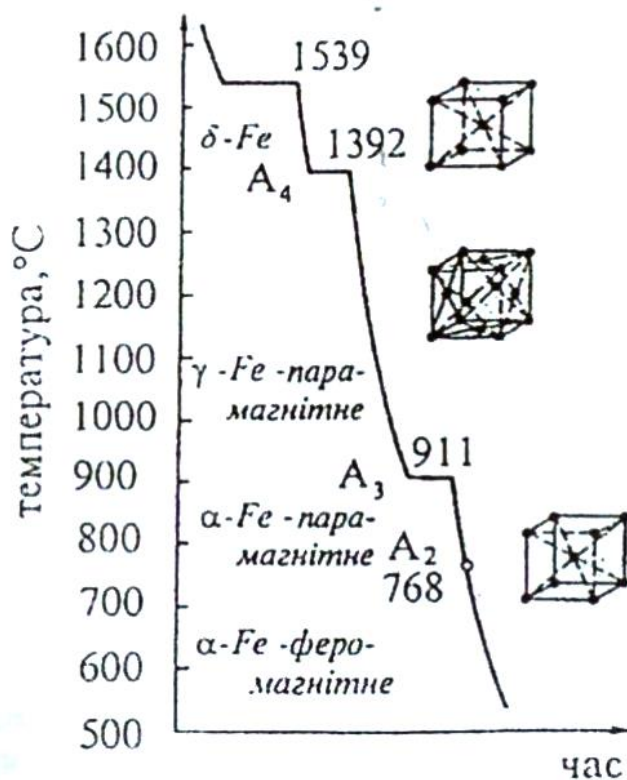


Рис. 4. Крива охолодження заліза.

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*.

1.2. 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 рис. 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 будівельних сталей, з яких виготовляють різні будівельні конструкції. Про зварюваність сталей детально мова йтиме в розділі "Зварювання металів".

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 зносостійкість, холодостійкість, жаростійкість, корозійна стійкість. Експлуатаційні характеристики визначають тривалість роботи механізмів машини чи елементів конструкції залежно від зовнішніх умов або характеру навантаження деталей.

1.3. 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 рис. 5 наведено характер деформацій металу при різних видах навантажень.

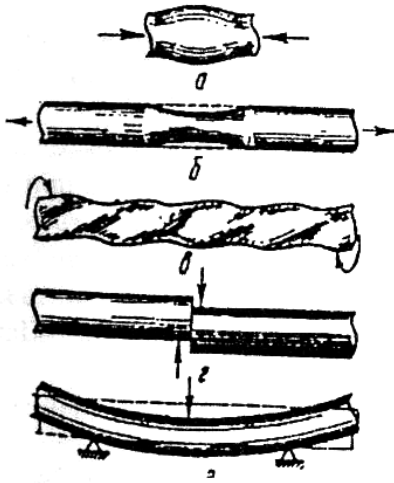


Рис. 5. Види деформацій металу при різних навантаженнях: а – стиснення, б – розтягування, в – крутіння, г – зріз, д – вигин.

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

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

За методом Брінелла дослідження здійснюються на спеціальному приладі вдавленням сталеві кульки діаметром D (див. рис. 6, а). Після зняття навантаження на зразку залишається відбиток діаметром d у вигляді кульового сегмента.

Твердість за Брінеллом позначається HV . Її величина визначається за формулою:

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

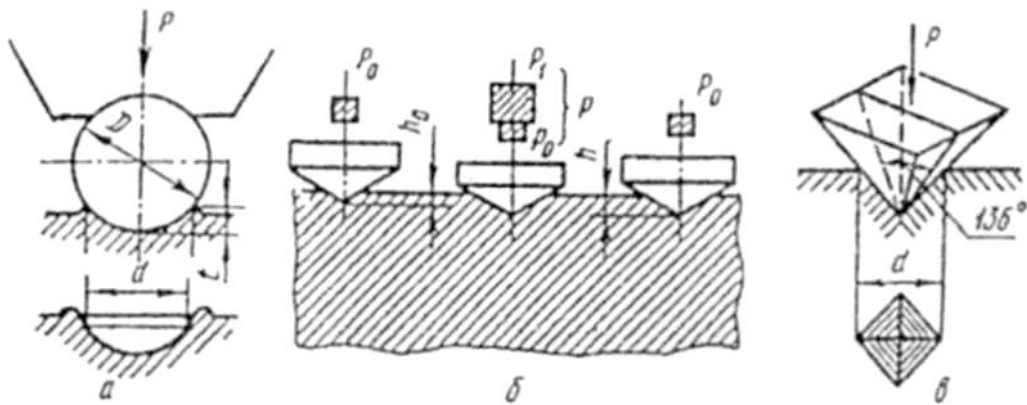


Рис. 6. Схеми способів визначення твердості металів.

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

На приладі Брінелла використовують кульки діаметрами 10, 5 або 2,5 мм під навантаженням до 30 кН (3000 кг). Зазвичай навантаження на кульку ви-

бирають 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 Брінеллом 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 Брінелла не рекомендується виміряти величину $HB>450$, наприклад гартованої сталі, оскільки при вимірюванні кулька деформуватиметься і показники будуть викривлені.

Для дослідження більш твердих матеріалів застосовують метод Роквелла. За методом Роквелла (мал. 6, б) в зразок вдавлюють алмазний конус з кутом при вершині 120° 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 А і С використовують при випробуванні дуже твердих матеріалів, шкалу В - 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 Брінеллом і Роквеллом не збігаються, то для порівняння твердості металів, визначеної різними методами користуються спеціальними таблицями (див. додаток № 1).

При визначенні твердості за Віккерсом як вдавлюваний наконечник використовують чотиригранну алмазну піраміду з кутом при вершині 136° (мал. 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 m^2) в місці надрізу $KC=W/F$.

Випробування на ударну в'язкість здійснюють за допомогою маятникового копра (рис. 7, а). Для досліджень використовуються квадратні зразки з надрізом і робиться це так:

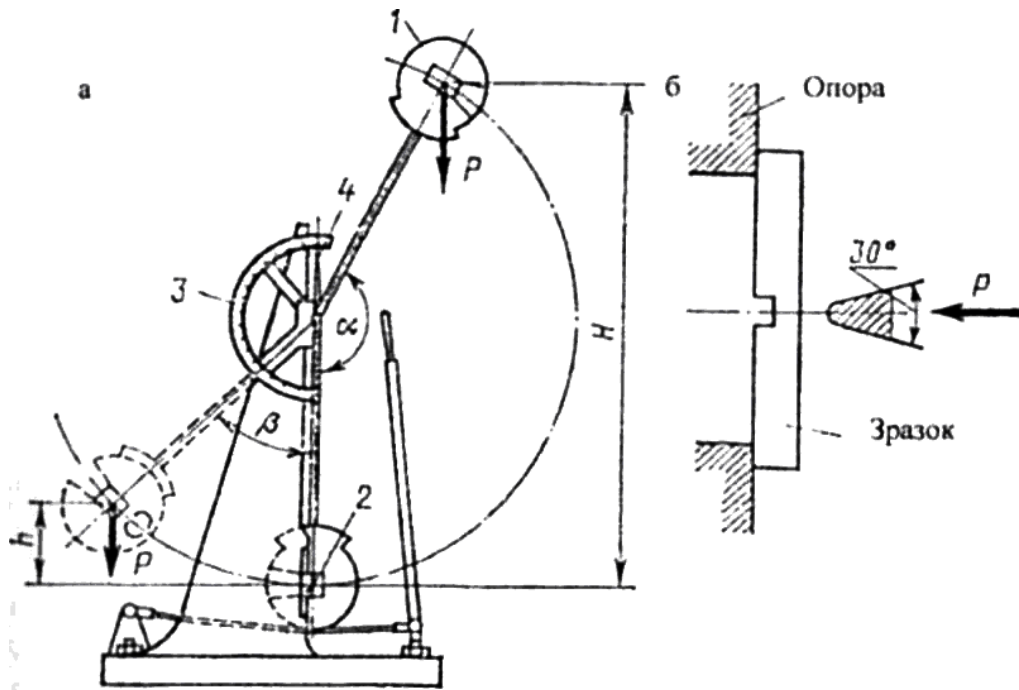


Рис. 7. Маятниковий копер.

Зразок встановлюють на спеціальних опорах так, як показано на рис. 7, б. Перед випробуванням маятник 1 піднімають вгору на кут α і закріплюють. Потім маятник вивільнюється, падає і б'є по зразку 2 проти надрізу. Після руйнування зразка маятник проходить далі, піднімаючись на деякий кут ρ 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 бульбашки або якісь локальні дефекти. Характерним є злом від втомленості, який утворюється після руйнування внаслідок багаторазового навантаження. В ньому яскраво видно дві різні на зовнішній вигляд частини (рис. 8).

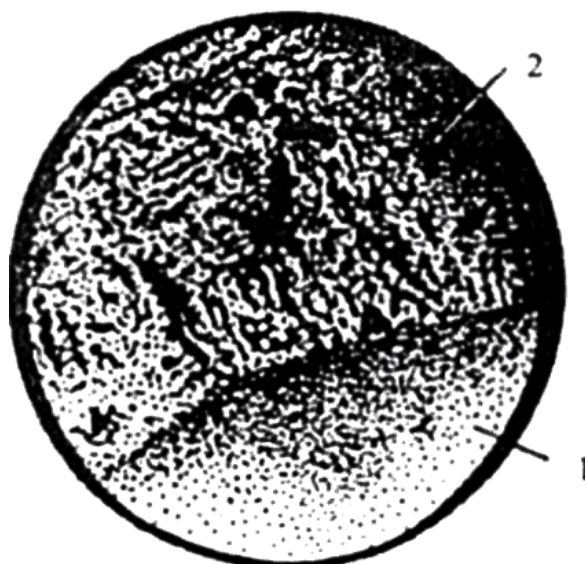


Рис. 8. Злам від втомленості.

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.

1.4. 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 рис. 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, γ -промені мають довжину хвилі меншу, ніж рентгенівські, тому їх проникна здатність вища.

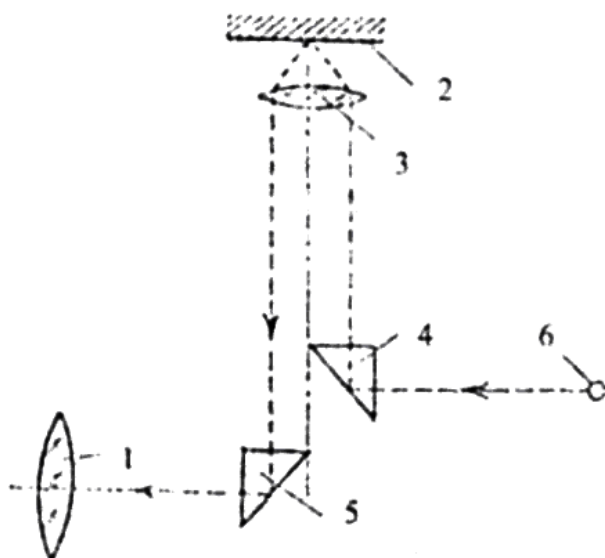


Рис. 9. Схема металографічного мікроскопа.

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

Принципи виявлення дефектів рентгенівськими і γ -променями схожі.

Схема просвічування зварного шва показана на рис. 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 сильні-

ше 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.

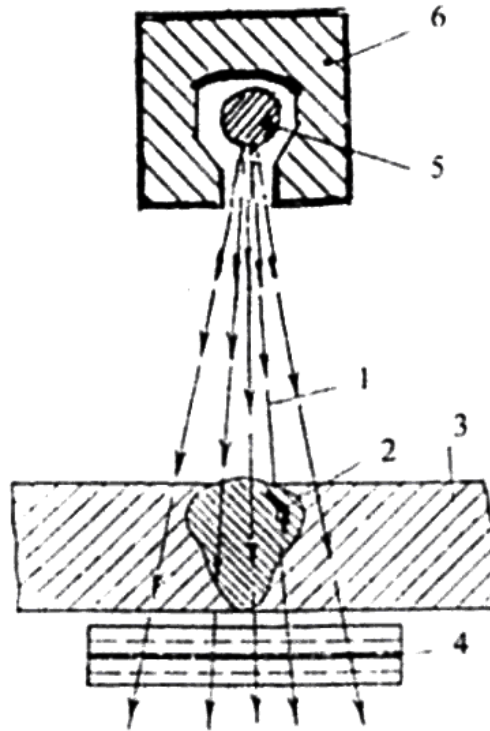


Рис. 10. Схема просвічування зварного шва γ -промінням.

2 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СПЛАВИ ТА ЇХ РІЗНОВИДИ

2.1. Основні відомості про сплави

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 (рис. 11).

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.

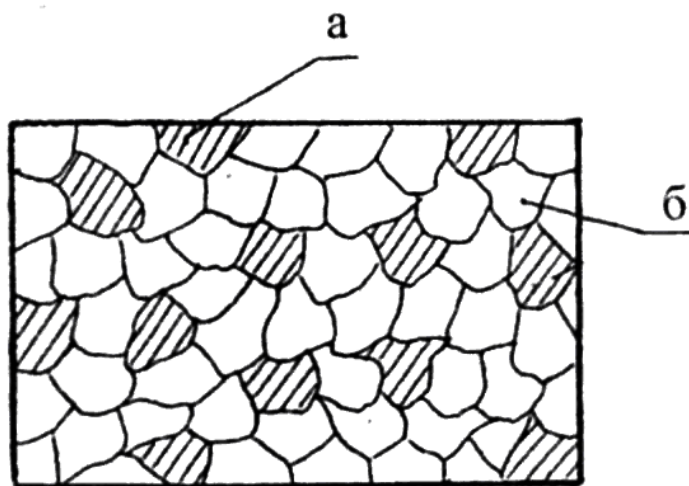


Рис. 11. Схема мікроструктури механічної суміші.

Отже, в твердому розчині речовина-розчинник зберігає властиву їй кристалічну решітку і ця решітка спостерігається при розгляді під мікроскопом (рис. 12, 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.

2.1.1. 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.

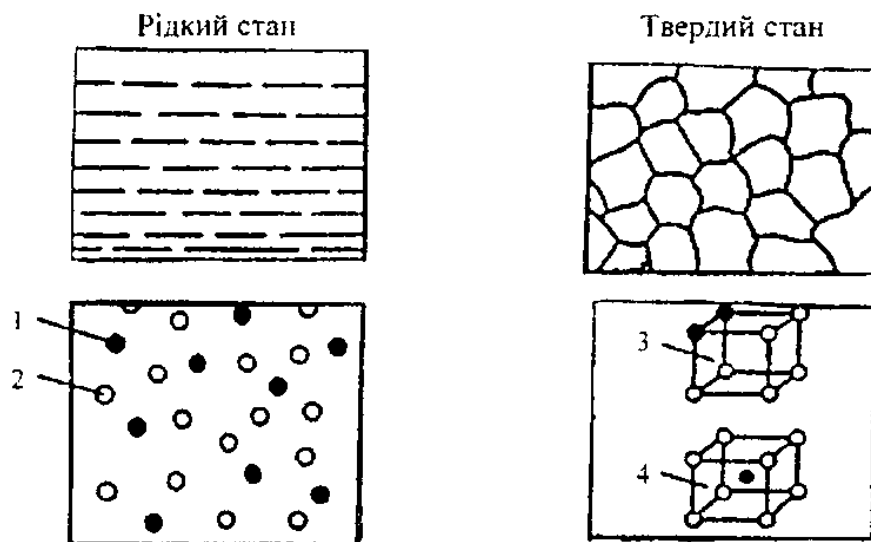


Рис. 12. Структура і будова елементарної комірки розчинів з двох металів А і Б: 1 – атоми металу А, 2 – атоми металу Б, 3 – решітка твердого розчину заміщення, 4 – решітка твердого розчину впровадження.

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 залізовуглецевих 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 залізовуглецевих сплавів передбачається зліва 100% заліза, а справа - 100% Fe_3C . Тому така діаграма носить назву діаграми стану "залізо-цементит". Для зручності по осі абсцис нанесена і зміна процентного вмісту вуглецю. Спрощена діаграма стану Fe- Fe_3C зображена на рис. 13.

У цій діаграмі розглядаються процеси кристалізації залізовуглецевих 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 α -залізі. Ферит має незначну твердість (НВ 80-100) і міцність ($\sigma_B = 250$ МПа), але високу пластичність ($\delta = 50\%$). Найбільша розчинність вуглецю в Fe_α (0,02%) при $T=727^\circ\text{C}$.

- *аустеніт* - твердий розчин вуглецю в γ -залізі. Гранична розчинність вуглецю в Fe_γ 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 ($\delta = 40-50\%$).

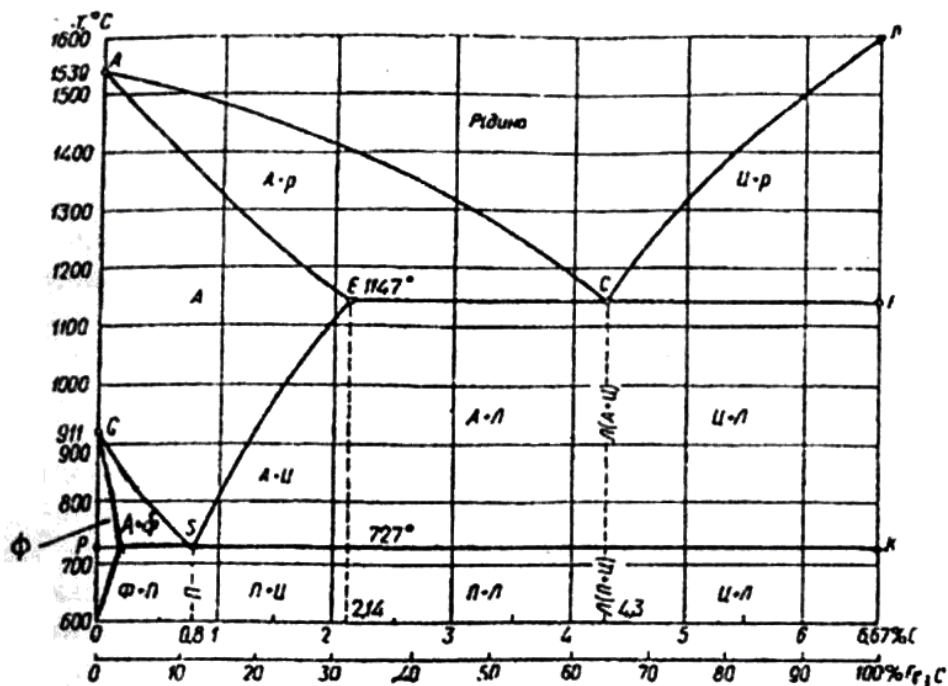


Рис. 13. Діаграма стану сплаву "залізо-цементит": А – аустеніт, Ф – ферит, П – перліт, Л – ледебурит, Ц – цементит, Р – рідкий стан.

- *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°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.

2.2. Термічна та хіміко-термічна обробка сталі

2.2.1. 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 рис. 14.

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 рис. 15.

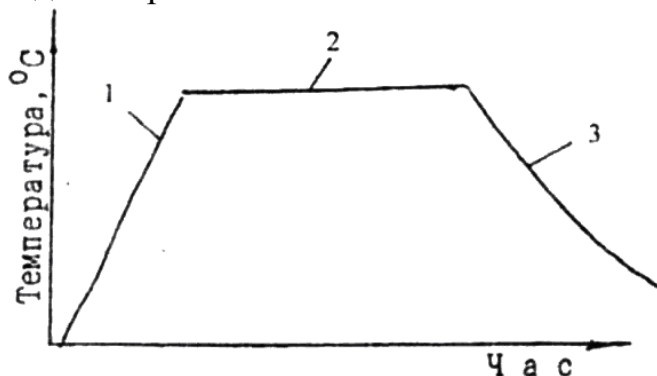


Рис. 14. Графік термічної обробки: 1 – нагрівання, 2 – витримка, 3 – охолодження.

Перетворення в сталі при охолодженні. Коли нагріту сталь до аустенітного стану охолоджувати дуже повільно, то в ній перетворення будуть відбуватись за схемою, наведеною на рис. 5.2, але в зворотному напрямку. При цьому аустенітно-перлітне перетворення відбудеться при температурі 727°C (при охолодженні ця точка позначається A_{r1}).

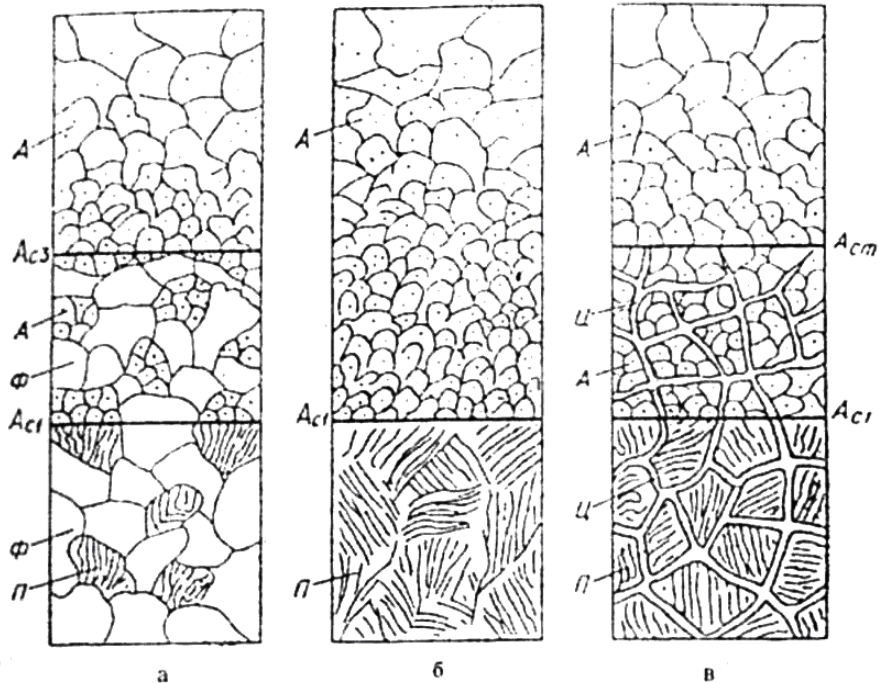


Рис. 15. Схематичний характер перетворень при нагріванні в доевтектоїдній (а), евтектоїдній (б) і заевтектоїдній (в) сталях.

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°C . Такі температури позначають уже A_r . Залежність положення критичних точок евтектоїдної сталі і характер отримуваних структур залежно від швидкості охолодження наведено на рис. 16.

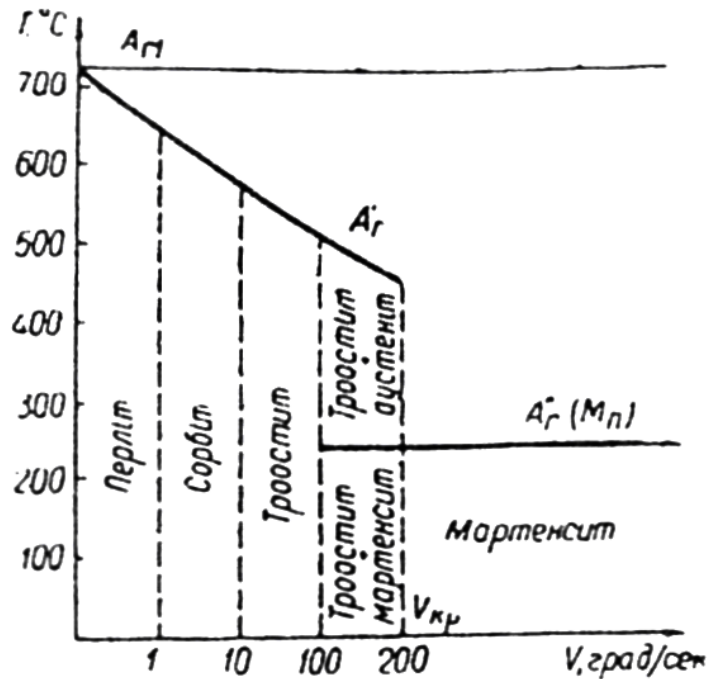


Рис. 16. Вплив швидкості охолодження сталі на характер отримуваних структур

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/м².

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/м².

При ще дальшому збільшенні швидкості охолодження до 200 град/с частини аустеніту переохолоджується ще до нижчої температури A_{r2} з перетворенням на мартенсит.

Мартенсит являє собою твердий пересичений розчин вуглецю в α -залізі. Внаслідок великого викривлення кристалічної решітки твердість мартенситу сягає HB 600-650, а ударна в'язкість зменшується до 0,1 МДж/м².

Окремі кристали мартенситу мають вигляд широких тонких пластин, які шліфі виявляються у вигляді голок, розташованих паралельно одна до одної або під кутом, - пластинчастий мартенсит (рис. 17, а). Крім того, він може мати структур; вигляді тонких рейок, зібраних у пакети - пакетний, або масивний мартенсит (рис. 17, 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°C

Мінімальна швидкість охолодження, при якій у сталі відбувається лише мартенситне перетворення, називається *критичною швидкістю охолодження* $V_{кр}$. Для розглянутого нами випадку (див. рис. 18) вона становить 200 град/с.

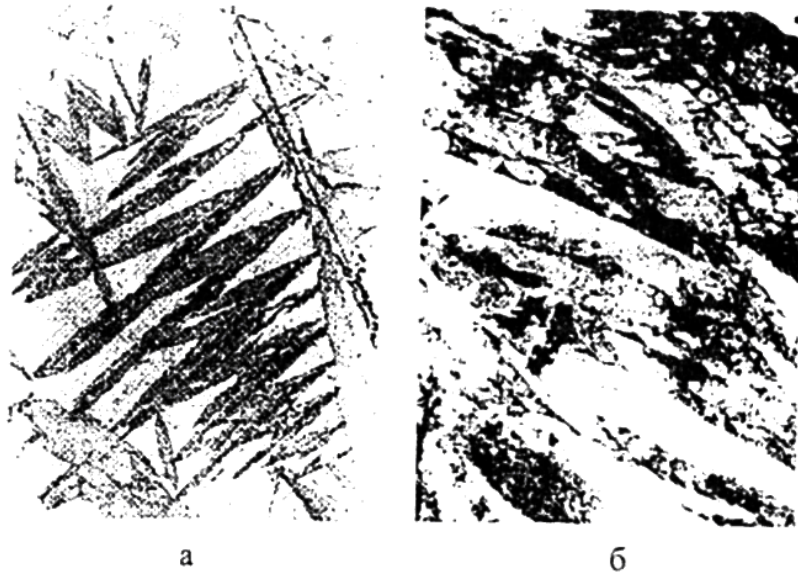


Рис. 17. Мікроструктура мартенситу (вуглецева сталь: а – пластинчастий $\times 500$; б – пакетний $\times 2500$).

Більш повне розуміння кінетики розпаду аустеніту дає *діаграма ізотермічного перетворення аустеніту*, тобто перетворення при постійній температурі (рис. 18).

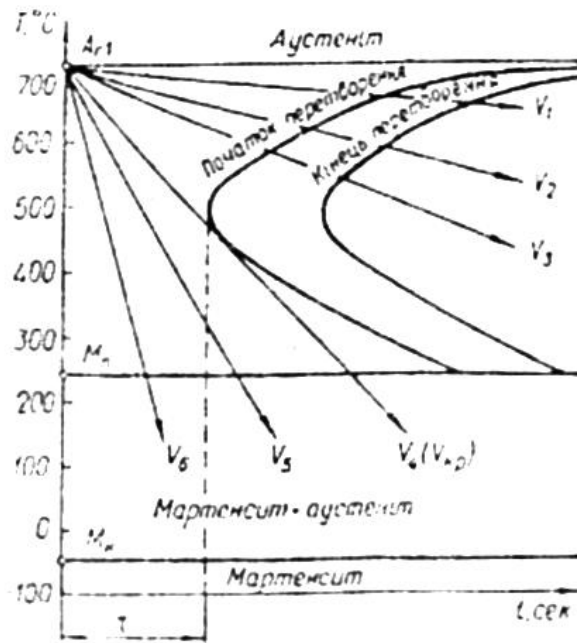


Рис. 18. Діаграма ізотермічного перетворення аустеніту в евтектоїдній сталі (У8).

Діаграма отримується експериментальним шляхом при різних швидкостях охолодження і являє собою дві С-подібні криві, які відображають початок 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_H і M_K .

Для евтектоїдної вуглецевої сталі точка M_K відповідає температурі мінус 50°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_H і M_K визначається хімічним складом сталі.

2.2.2. 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 (рис. 19). При повному відпалі отримується перлітно-феритна структура.

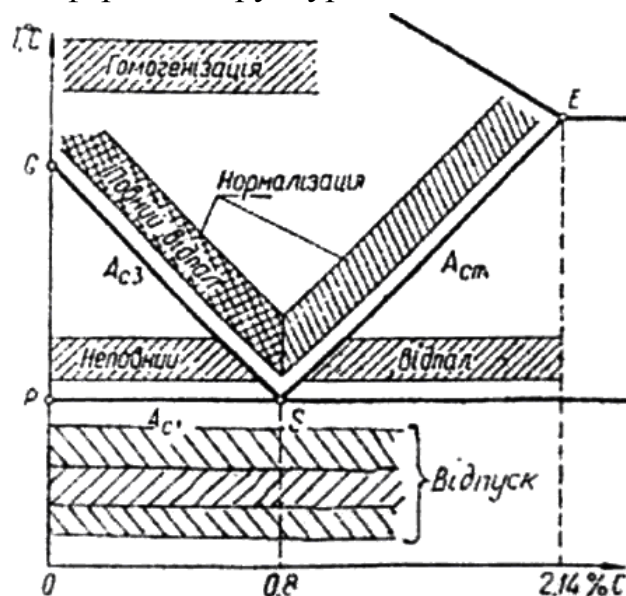


Рис. 19. Діапазони температур відпалу та нормалізація сталі.

При неповному відпалі сталь нагрівають вище точки A_{C1} . При таких температурах відбувається тільки перекристалізація перліту, а ферит (у доевтектоїдних 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_{Ct}) (рис. 19), витримці при цій температурі і наступному охолодженні на спокійному повітрі. У маловуглецевих сталях (до 0,3%С) після нормалізації утворюється більш дрібнозерниста ферито-перлітна структура, ніж після відпалу. У середньовуглецевих сталях (0,3-0,5% С) при нормалізації утворюється сорбі-топодібний 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 (див. табл. 2).

Таблиця 2		
Інтенсивність охолодження сталі у різних гартівних середовищах		
Гартівне середовище	Швидкість охолодження 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 (≈ 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°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°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 сорбінної структури і майже повністю знімає напруження при збереженні достатньої міцності, в'язкості і твердості сталі. Високому відпуску піддають такі деталі, як вали, шестерні тощо.

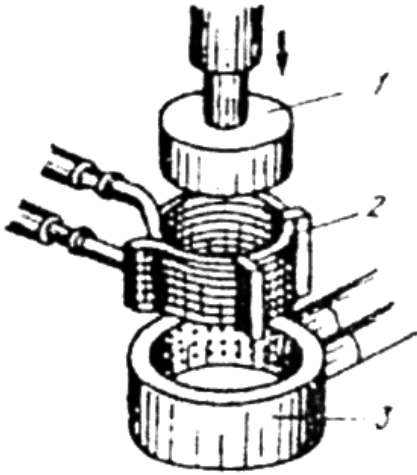


Рис. 20. Установка для поверхневого гартування струмом високої частоти.

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 *поверхневе 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 рис. 20. 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.

2.2.3. 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 цементація (насичення вуглецем), азотування (насичення азотом) і нітроцементація (одночасне насичення вуглецем і азотом).

Цементація застосовується для деталей з вмістом вуглецю до 0,2%. Мета цементації - довести вміст вуглецю в поверхневому шарі сталевих деталей до такої кількості, коли цей шар стає здатним для гартування.

Як твердий карбюризатор (вуглецева суміш) застосовують суміш деревного вугілля з вуглекислими солями BaCO_3 , CaCO_3 . Для цементації деталей розміщують у герметично закритому карбюризаторі і витримують у печі протягом 5-25 годин при температурі $930-950^\circ\text{C}$. За цей час атомарний вуглець, що виділяється з карбюризатора, дифундує на глибину 0,5-2,5 мм.

Газова цементація здійснюється в газовому середовищі (CO , CH_4) при температурі $930-1000^\circ\text{C}$.

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

Азотування - процес насичення поверхні сталевих деталей азотом. Він здійснюється в атмосфері аміаку NH_3 при температурі $500-600^\circ\text{C}$. 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 (Fe_3N , AlN , 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.

2.3. Класифікація і маркування сталей

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

2.3.1. 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 Стбсп. У маркіруванні цих сталі 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 3.

Таблиця 3

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.

Таблиця 4

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

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".

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 високошвидкісний токарний та різучий 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. Кращу 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_2 , N_2 , H_2 .

Mn – корисна домішка, вводиться в сталь для розкислювання і залишається в ній в кількості 0,3-0,8%. Mn зменшує шкідливий вплив O_2 і S, збільшує міцність сталі при порівняно невисоких температурах (до $300\text{ }^\circ\text{C}$), 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. Сульфіди FeS утворюють із залізом евтектику, яка відрізняється низькою температурою плавлення ($988\text{ }^\circ\text{C}$) і розташовується по границям зерен. При гарячій деформації границі зерен оплавляються і сталь крихко руйнується. Від червоноламкості сталь уберігає Mn, який зв'язує S у сульфіди MnS, виключаючи таким чином утворення легкоплавкої евтектики. Усуваючи червоноламкість, сульфіди 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_2 , N_2 , H_2 – шкідливі приховані домішки. Їх вплив проявляється у зниженні пластичності і підвищенні схильності сталі до крихкого руйнування.

O_2 і N_2 розчиняються у фериті в дуже малій кількості і забруднюють сталь неметалевими включеннями (оксидними і нітридними).

H_2 знаходиться у твердому розчині, або накопичується в порах і на дислокаціях. Крихкість, обумовлена H_2 , 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_2 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 $250\text{ }^\circ\text{C}$. За таких умов H_2 , який має велику швидкість дифузії, не накопичується в порах, а видаляється із сталі.

2.3.2. 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:

Х - хром	М - молібден
Н - нікель	Ф - ванадій
Г - марганець	К - кобальт
С - кремній	Т - титан
В - вольфрам	Ю - алюміній
Д - мідь	П - фосфор
Р - бор	Б - ніобій
А - азот	Ц - 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, здрибноє 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 спеціального призначення та 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, 9X2ГC - 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 маркірування 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.

2.3.3. 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 кре-

мнієм 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 фасонного прокату для виготовлення зварних конструкцій без додаткової термічної обробки.

Будівельні сталі для металокопункцій поділяються за категоріями міцності на класи (таблиця 5). Кожний клас міцності характеризується мінімально гарантованими значеннями тимчасового опору розриву та границі текучості.

Таблиця 5

Деякі класи міцності сталей для будівельних металокопункцій
СНІП 11-23-81

Клас міцності	Механічні властивості на розтягування (не менше)			Градація міцності
	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_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 холодно-ламкості будівельних сталей досягається за допомогою контролюва-

ної 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.

2.5. 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 12X13 і 20X13 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 04X18H10, 08X18HЮ, 08X18H10 і 12X18H10T внаслідок малого вмісту вуглецю і додаткового лігування 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 12X18H10T виготовляють корпуси і деталі, що працюють під тиском при температурах від -196°C до $+600^{\circ}\text{C}$, а при наявності агресивних середовищ – до 350°C . Сталі аустенітно-феритного класу використовуються як замітник аустенітних сталей. Володіючи тими ж механічними і достатньо високими корозієстійкими властивостями в окисних середовищах, вони більш технологічні і містять менш дефіцитного нікелю (12X21H5T). Недолік - нестабільність властивостей при коливаннях хімічного складу в межах марки, а також збільшення крихкості при нагріванні.

Сталі аустенітно-мартенситного класу, наприклад, сталі 09X15H8Ю використовують як корозієстійкий і міцний конструкційний матеріал. Вони значно міцніші сталей аустенітного класу. Недолік - складність термічної обробки.

2.6. Жаростійкі сталі

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 температури 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 молибдену питомий об'єм окису перевищує об'єм металу більш, ніж у титану. 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°C .

На захисні властивості окисно плівки впливає різниця коефіцієнтів температурного розширення.

Метали Fe, Cr, Al, Si 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 O_2 (1,32Å) значно біль-

ший 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°C може утворити три окисла: Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO. Наявність великої кількості вакансій у Fe відрізняє проходження дифузійних процесів. Окисли Fe_3O_4 і Fe_2O_3 містять малу кількість вакансій і тому вони мають кращі захисні властивості. Кількість FeO в окалині, отриманій при температурі вище 570°C у 10 разів більш, ніж окису Fe_3O_4 і у 100 разів більш, ніж окису Fe_2O_3 . Для одержання гарної захисної плівки заліза при температурі більш 570°C необхідно створити такі умови, щоб виключалося утворення FeO і стимулювалося утворення Fe_2O_3 . Для цього необхідно до Fe добавляти елементи, що з O_2 утворюють з'єднання ізоморфні Fe_2O_3 і мають більшу спорідненість з O_2 , чим Fe. До таких елементів належать Cr і Al, які утворюють окиси Cr_2O_3 , Al_2O_3 . При нагріванні Cr і Al, що знаходяться у розчині заліза, у першу чергу з'єднуються з O_2 і створюють надійний захисний прошарок. Тому для підвищення жаростійкості заліза, яке не може експлуатуватися в окисних середовищах при температурах більших 570°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 *сільхромами*, Cr і Al – *хромалями*, Cr- Si- Al- *сільхромалями*.

Нижче наведені допустимі температури експлуатації декторих 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 конвейерів і інших навантажених деталей, а також для соплових апаратів і жарових труб ГТУ.

2.7. Жароміцні сталі і сплави

Під жароміцністю розуміється спроможність матеріалу чинити опір деформації і руйнації в області високих температур. Багато деталей машин відчувають 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 від тривалості навантаження представлена на рис.21.

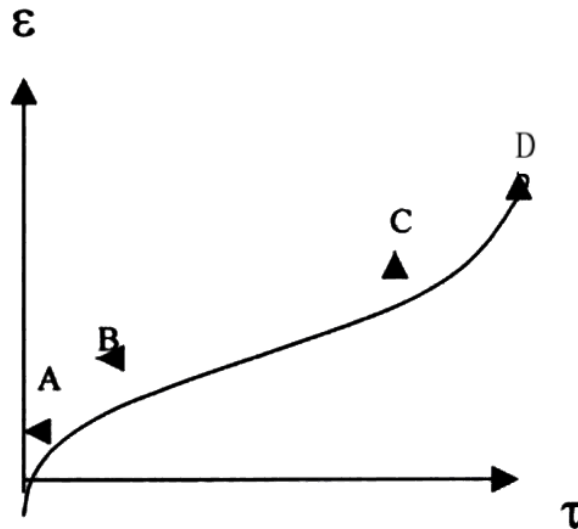


Рис.21. Типова залежність деформації від тривалості навантаження

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

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 підви-

щення 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,

($\sigma_{1/10000}^{550} = 100$ МПа означає, що під дією напруження 100 МПа при температурі 550°C на усталеній ділянці має місце швидкість деформації 1% за 100000 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, $\sigma_{10000}^{600} = 130$ 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.

Основні групи жароміцних матеріалів. Перлітні, мартенситні і аустенітні жароміцні сталі використовуються при температурах $450 - 700^{\circ}\text{C}$ 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 $475 - 580^{\circ}\text{C}$ і використовуються головним чином у котлобудуванні. Перлітні сталі містять до 0,15% вуглецю, пластичні в холодному стані, задовільно об-

робляються 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 застосування 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 °C. Основні легуючі елементи: Cr та Ni. Так, наприклад, сталь 45X14N14B2M аустенітного класу вважається кращою клапанною сталлю і застосовується у потужних двигунах внутрішнього згоряння, сталь 09X14N16B застосовується для пароперегрівників і трубопроводів надвисокого тиску, а сталь 09X14N19B2BP 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 (30XM35XN3MA, 38XNЮA, 25X2MФА) і ін. Межа текучості для легованої сталі 25X2MФА при температурі 500°C у 4 рази вище, ніж для вуглецевої сталі 30, що застосовується у кріпильних деталях в трубопроводах низького і середнього тиску.

2.8. 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 рис. 22 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 прока-

тних валків, мелючих тіл (кулі цильпебси) рудо-, цементно- і борошномельних млинів та деяких зносостійких деталей машин.



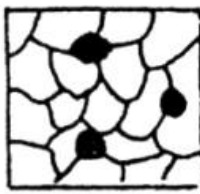









Металічна основа чавуну	Форма графітових вкраплень		
	Пластинчаста	Пластівчаста	Куляста
Ферит			
Ферит+перліт			
Перліт			
			

Рис. 22. Різновиди чавуну залежно від металічної основи і форми включень графіту а – пластинчастої, б – пластівчастої, в – кулястої.

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 виливках: від СЧ10 до СЧ35. У маркіруванні цих чавунів літери означають "сірий чавун", число за цими літерами - межу міцності при розтягуванні σ_B (МПа), зменшену в 10 разів. Дані про марки сірих чавунів наведені в таблиці 6.

Таблиця 6.

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

Марка чавуну	σ_b , МПа, не менше	Твердість НВ, не більше	С	Si	Mn	Р	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

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).

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 К30-6, 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 КС=200-600 кДж/м², а сірий чавун з пластинчастим графітом - 20-50 кДж/м².

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 мар-

ки 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 (колосники, 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 печебудуванні 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.

2.9. Сплави кольорових металів

Останнім часом в різних галузях промисловості й особливо в будівельній 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.

2.9.1. Алюміній та його сплави

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

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 кріоліті (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 Мп - 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 7.

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 7.

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.

Таблиця 7

Хімічний склад та механічні властивості алюмінієвих сплавів

Марки сплавів	Хімічний склад, %					Механічні властивості		
	Cu	Mg	Mn	Si	інші	σ_B	σ_T	δ
						МПа		%
Сплави що не зміцнюються термічною обробкою								
АМц	-	-	1,0...1,6	-	-	30(170) ^x	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
Сплави, що зміцнюються термічною обробкою								
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
Ковкі алюмінієві сплави								
АК6	1,8...2,6	0,4...0,8	0,4...0,8	0,7-1,2	-	420	300	13
Високоміцні алюмінієві сплави, що деформуються								
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
Ливарні алюмінієві сплави								
АК12	-	-	-	10... 13	-	180	90	5
АК9ч ^{xx}	-	0,2...0,4	0,2...0,5	8...11	-	180	140	2
АК7ч ^{xx}	-	0,2...0,4	-	6...8	-	200	110	6
^x В дужках - після наклепу. ^{xx} Сплав підвищеної частини.								

Характер зміни границі міцності дюралюмінію залежно від тривалості і температури старіння наведено на рис. 23.

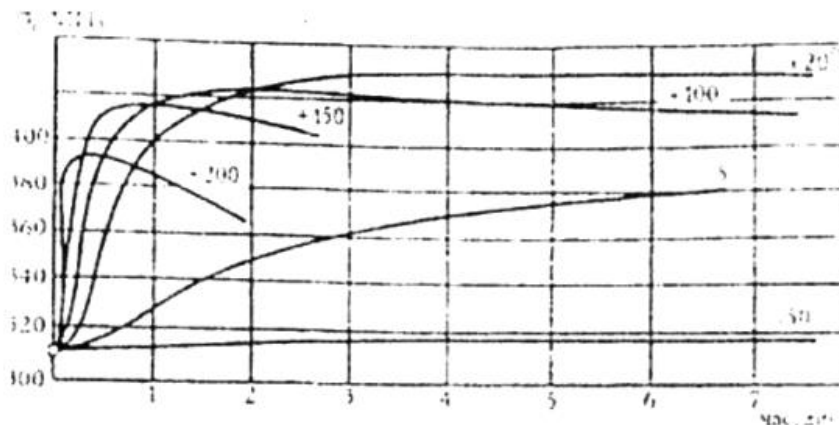


Рис. 23. Залежність властивостей дюралюмінію від тривалості та температури старіння.

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, σ_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/см³), тому його добавка не збільшує маси алюмінієвих сплавів. Є багато ливарних сплавів алюмінію різного хімічного складу. Як видно з таблиці 7, 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).

2.9.2. Мідь і її сплави

Мідь - пластичний метал. Густина чистої міді 8,94 г/см³, температура плавлення 1083°C, міцність $\sigma_b=250$ 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 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 CuS, Cu₂S, CuFeS₂, оксидів CuO і Cu₂O 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 чорнової міді;
- рафінування чорнової міді.

Збагачення мідної руди здійснюють флотаційним методом. Після флотації отриманий концентрат випалюють при 750-850°C в спеціальних печах у "киплячому" шарі. Концентрат, отриманий після відпалу, переплавляють у полумєневих відбивних печах на штейн, який має такий склад: сплав Cu_2S і 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 ($\sigma_{\text{в}}$ досягає 450 МПа). Максимальна пластичність має місце при вмісті цинку близько 37%. Залежність $\sigma_{\text{в}}$ і δ від кількості в сплаві цинку наведено на рис. 24.

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

Мікроструктуру таких сплавів наведено на рис. 25. Наявність у структурі міцнішої і твердішої β -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 8 та 9 наведено склад та механічні властивості відповідно подвійних і складних латуней.

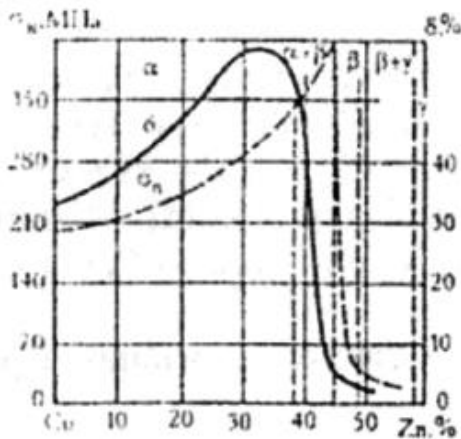
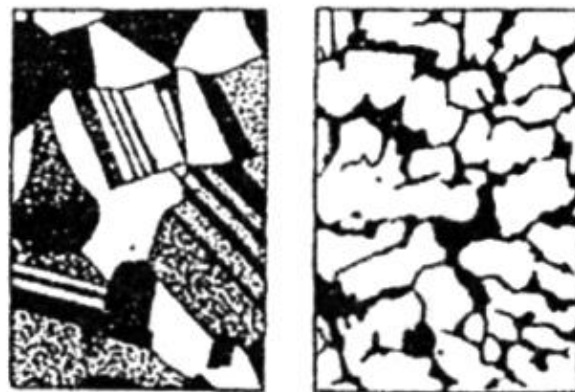


Рис. 24. Залежність механічних властивостей латуні від вмісту цинку.



а б

Рис. 25. Мікроструктури: а – α-латуні; б – (α+β)-латуні.

Таблиця 8

Хімічний склад та механічні властивості подвійних латуней

Марка латуні	Вміст елементів, %		Механічні властивості		
	міді	домішки	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{т}$, МПа	δ , %
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 9

Хімічний склад та механічні властивості складних латуней

Марка латуні	Вміст елементів, %		Механічні властивості		
	міді	домішки	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{т}$, МПа	δ , %
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, дрiт тощо. Для виготовлення деталей деформуванням при температу-

рі 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 10.

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 10

Приклади використання латуней

Марка латуні	Сфера використання
Л90, Л80	Деталі трубопроводів, фланці
Л68	Теплообмінні агрегати, які працюють при t° нижче 250°C
ЛС59-1	Втулки, арматура, фасонне литво
ЛМцС58-2-2	Антифрикційні деталі - 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. 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.

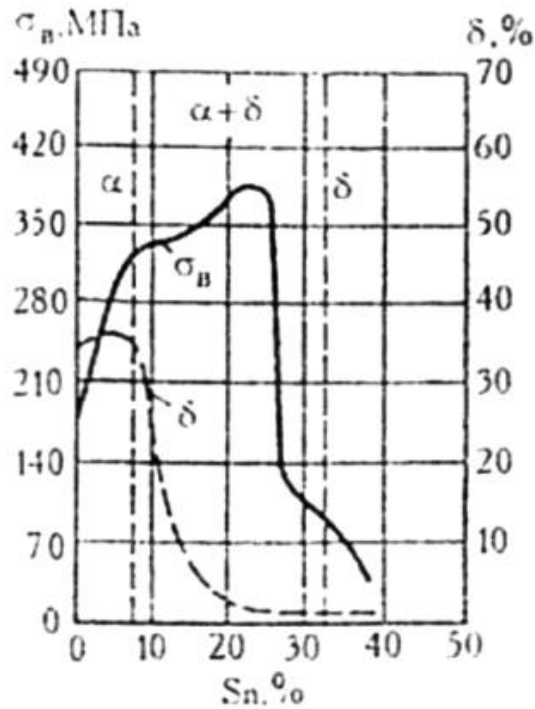


Рис. 26. Графік залежності властивостей бронзи від вмісту в ній олова.

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 β-фази стає надто великою (рис. 26).

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 11 наведено марки, механічні властивості і галузі використання деяких олов'янистих бронз.

Таблиця 11

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

Марки бронзи	Вміст елементів *, %				Механічні вла- стивості		Основне призначен- ня
	Sn	Zn	Pb	P	σ_b , МПа	δ , %	
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 армату- ра
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	-	-		-
* Решта - мідь.							

Як уже відзначалось, олов'янисті 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'янисті 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 α -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 δ -фазою, сплав стає двофазним.

Позитивними властивостями алюмінієвих бронз (порівняно з олов'янистими) 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 12.

Основні недоліки: значна усадка, схильність до утворення стовбчастих кристалів і до росту зерна при нагріві, що робить сплав більш крихким, сильне 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 12

Механічні властивості і призначення алюмінієвих марок бронз

Марки бронз	Механічні властивості		Призначення
	σ_b , МПа	δ , %	
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.

2.9.3. Магній та його сплави

Магній - дуже легкий метал. Серед використовуваних металів він має найменшу густину - 1,7 г/см³. 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 (MgCO₃), доломіт (MgCO₃·CaCO₃), карналіт (MgCl₂·KCl·6H₂O) і бішофіт (MgCl₆·H₂O).

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 13.

Таблиця 13

Хімічний склад і механічні властивості магнієвих сплавів

Марка сплаву	Хімічний склад, %				Механічні властивості		
	Al	Zn	Mn	інші	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %
Деформовні сплави							
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
Ливарні сплави							
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

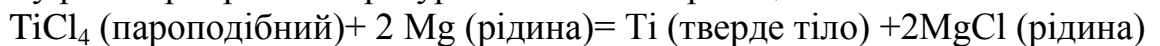
2.9.4 Титан та його сплави

Титан - сріблясто-білий метал, що має високу корозійну стійкість, межа міцності титану ≈ 340 МПа (до речі, у заліза 280 МПа), густина титану становить 4 г/см^3 , $\delta=25\%$, твердість 100-140 НВ, температура плавлення 1668°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 TiO_2 , ільменіт FeOTiO_2 і титаномagnetит - суміш ільменіту з оксидами заліза.

Технологія виготовлення титану двостадійна: вироблення 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 α -сплави, $(\alpha+\beta)$ -сплави та β -сплави. α -сплави - малопластичні, це в основному сплав з Al. β -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 14 наведено деякі марки сплавів титану та їх властивості.

Таблиця 14

Склад і властивості титанових сплавів

Марка сплаву	Хімічний склад, %				Механічні властивості	
	Al	Mn	V	Mo	σ_B , МПа	δ , %
Деформівні α -титанові сплави						
BT4*	4	1,5	-	-	850...1050	10.. 15
BT18*	7,5	11	0,7	1	1100	9
Деформівні ($\alpha + \beta$)-титанові сплави						
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
Деформівні β -титанові сплави						
BT15**		11	-	8	1300...1500	6
ИВТ**		5,5	-	7	1420...1700	7...10
Ливарні титанові сплави						
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 будівельній індустрії.

3 ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ

3.1. Загальні відомості

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 рис. 27.

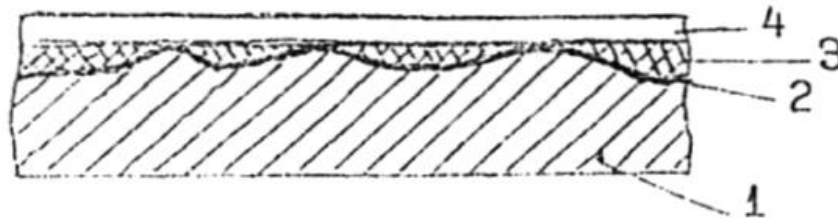


Рис. 27. Схема будови лакофарбового покриття: 1 – метал, 2 – шар ґрунту, 3 – шпаклівка, 4 – шар фарби.

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, каїнофоль, 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 статичні тощо.

3.2. Види лакофарбових матеріалів і 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.

Лаками називають розчини плівкоутворюючих речовин в розчинниках, після висихання яких утворюються прозорі плівки.

Фарби — це композиції зазначених вище компонентів лакофарбових матеріалів. Якщо плівкоутворювачем у них є оліфа, то їх називають масляними фарбами, а якщо введено лак - то емаліями.

Ґрунтівки і шпаклівки — це емалі або фарби з великою кількістю пігментів і наповнювачів, які введені для одержання густої консистенції.

Лаки і політури

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 ґрунтувкки. 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-спирт, 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 ґрунтова - № 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.

Фарби

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 *емалями*. 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 випаро-

вування 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 глянцева або матову плівки. Оскільки плівки емалей і емалевих фарб зовні однакові (вони схожі на плавлені), тому для скорочення їх називають емалями.

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

Порозаповнювачі, шпаклівки і ґрунтовки

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, 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 і 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 ніт-

ролаком 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 ґрунтують. *Ґрунтівка* - 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. Ґрунтівки 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 заґрунтовану 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.

3.3. Методи нанесення лакофарбових покриттів

Нанесення лакофарбового покриття складається і таких етапів: підготовка поверхні до фарбування, нанесення матеріалів і сушіння.

Підготовка поверхні для фарбування включає очищення від бруду, масил, іржі. Очищення може здійснюватись як механічним, так і хімічним способами. Знежирюють поверхні водними розчинами синтетичних мийних засобів: лабомідом, розчинниками («ацетоном і уайт-спіритом») Більш продуктивним і безпечним є використання водних розчинів синтетичних мийних засобів.

Після очищення і висушування поверхні для отримання міцного зчеплення лакофарбового покриття на поверхню наносять ґрунтувальний шар (ґрунтування). Роблять його фарборозпилювачем у спеціальній камері. Сушать у термокамерах при (температурі 100-110°C протягом 0,5-1,5 години або при кімнатній температурі не менше 48 годин.

Для отримання високої чистоти і естетичності оздоблення, забивання тріщин і вирівнювання ґрунтовані поверхні шпаклюють.

Шпаклівки валяють собою пасти, які наносять спеціальним інструментом -шпателем. Склад шпаклівок залежить від того, яку фарбу використовують. Частіш за все застосовують шпаклівку, до складу якої входять у відповідній пропорції крейда мелена, оліфа і столярний клей. Після висушування шпаклівки її поверхню вирівнюють пемзою і зачищають наждачним папером, промивають і висушують.

Після закінчення всіх підготовчих операцій здійснюють остаточне фарбування поверхні. Як правило, фарбу наносять пневматичним розпилювачем або в спеціальних камерах в електростатичному полі.

Висушують пофарбовані поверхні в звичайних умовах при температурі 18-25°C або в спеціальних сушильних камерах. Сушать виріб при кімнатній температурі залежно від типу і якості фарби протягом 1-2 діб. При підвищенні температури до 100-110°C процес сушіння скорочуються до 1 -3 годин

3.4. Маркування лакофарбувальних 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,	АБ — ацетобутиратцелюлозні,
АТ — алкідно-уретанові,	ВН — вініл- і дівінілацетиленові і
АЦ — ацетилцелюлозні,	КФ — каніфольні,
БТ — бітумні,	КП — копалові,
ГФ — гліфталеві,	КТ — ксифталеві,
КЧ — каучукові,	МЛ — меламінові,
КС — кремнійорганічні,	НЦ — нітроцелюлозні,
МС — олійно- і алкідно-стирольні,	ХВ — перхлорвінілові і полівінілхлоридні,
МА — олійні,	ВА — полівінілацетати,
МЧ — мочевинні,	ИД — поліамідні,
ПФ — пентафталеві,	ПЛ — поліефірні насичені,
АК — пол іакрилові,	ХС — сополімеро-вінілхлоридні,
АД — поліамідні,	КС — сополімеро-карбональні,
ВЛ — полівінілацетатні,	ФЛ — фенольні,
УР — поліуретанові,	ФР — фурилові,
ПЗ — поліефірні ненасичені,	ЦГ — циклогексанові,
ВС — сополімеровінілацетатні,	ШЛ — шелачні,
ФА — фенолалкідні,	ЗФ — епоксидноефірні,
ФП — фторопластові,	ЗТ — етрифталеві,
ХП — хлоровані поліетиленом,	НП — нафтополімерні.
ЗП — епоксидні,	Ян — янтарні.
ЗЦ — етилцелюлозні,	

Для лакофарбових матеріалів, що мають специфічні властивості, мі» 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 і електричного струму, електричної дуги і поверхневих зарядів.

Четверта група визначає порядковий номер, присвоєний даному лакофарбувальному матеріалу, і позначається однією, двома або трьома цифрами. При наявності деяких специфічних особливостей лакофарбувального 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-ІіЗ 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.

4 ВОГНЕТРИВКІ МАТЕРІАЛИ

Вогнетривками називають такі будівельні матеріали, які відповідно до ГОСТ стандарту повинні мати температуру плавлення не нижче 1580°C . З вогнетривких матеріалів споруджують різні нагрівальні, сушильні, випалювальні і плавильні пристрої, а також футеровки, наприклад, ковшів для розливання сталі.

4.1. Основні вимоги

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 $2200 - 3000^{\circ}\text{C}$ і стійкі до хімічної дії більшості розплавів і шлаків.

4.2. Класифікація вогнетривів

Класифікація вогнетривів за хімічним складом.

Основний фактор, що визначає властивості вогнетривів, - хімічний склад матеріалу. У зв'язку з цим вогнетриви можуть бути розподілені за складом і мінералогічним походженням на наступні групи і підгрупи:

I. Кремнекислі вогнетриви:

- 1) динасові на вапняній зв'язці (CaO) 92 - 95% SiO_2 ;
- 2) динасові на глинистому зв'язці (Al_2O_3), 95% SiO_2 .

II Алюмосилікатні вогнетриви:

A. Полукислі:

- 1) кварцово-глинисті SiO_2 до 70% і Al_2O_3 ;
- 2) шамотно-полукислі SiO_2 до 70% і Al_2O_3 ;
- 3) кварцово-шамотні SiO_2 до 70% і Al_2O_3 .

B. Нейтральні:

- 1) шамотні, $25\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 40\%$;
- 2) каолінові, $\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 40\%$;
- 3) високоглиноземні, $\text{Al}_2\text{O}_3 > 45\%$;
- 4) корундові, $\text{Al}_2\text{O}_3 > 75\%$.

III. Вогнетриви з основними властивостями:

- 1) магнезитові, $\text{MgO} > 90\%$ і $\text{FeO} \approx 5-7\%$;
- 2) форстеритові на основі $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ($\text{MgO} - 55\%$, $\text{SiO}_2 - 35\%$);
- 3) хромітових, $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 30\%$, $\text{MgO} \approx 16\%$; $\text{FeO} \approx 18\%$.

IV. Вуглецеві і вуглецевомісткі вогнетриви.

A. Вуглецеві:

1. вуглецеві;
2. графітові.

B. Вуглецевомісткі:

1. карбофраксові - карборунд з глинистою зв'язкою;

2. рефраксові - карборунд з органічною зв'язкою або рідинним склом.

V. Цирконові, $ZrO_2 * SiO_2$.

VI. Вироби з чистих тугоплавких оксидів: TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , BeO , ZrO_2 , ThO_2 , HfO_2 та ін.

Класифікація за вогнетривкістю.

За цією технічною характеристикою вогнетриви розподіляють на три групи:

- 1) вогнетривкі, з температурою плавлення 1580 - 1770°C;
- 2) високовогнетривкі, з температурою плавлення 1780 - 2000°C;
- 3) вищої вогнетривкості, з температурою плавлення вище 2000°C.

Згідно з ГОСТ 4385 - 68 вогнетривкі матеріали поділяються на наступні класи:

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

Класифікація по складності форми і розмірами.

Вогнетривкою промисловістю випускаються вироби різної складності: прості, складні, особливо складні, блочні, панельні, фасонні та спеціальні вироби - тиглі, труби і т.ін.

До вогнетривких фасонних виробів, що отримали широке застосування при кладці склепінь печей, належить стандартна пряма, повздовжно і поперечно клинова цегла.

4.3. Показники якості вогнетривких матеріалів

Вогнетривкість - здатність матеріалів протистояти впливу високих температур без механічного навантаження не руйнуючись. Вона залежить головним чином від хімічного складу матеріалу.

Стандартний метод визначення вогнетривкості полягає в наступному. З випробуваного матеріалу виготовляють дослідні зразки, так звані піроскопи (тригранні зрізані пірамідки). Форма дослідного зразка (піроскопу представлена на рис. 28.

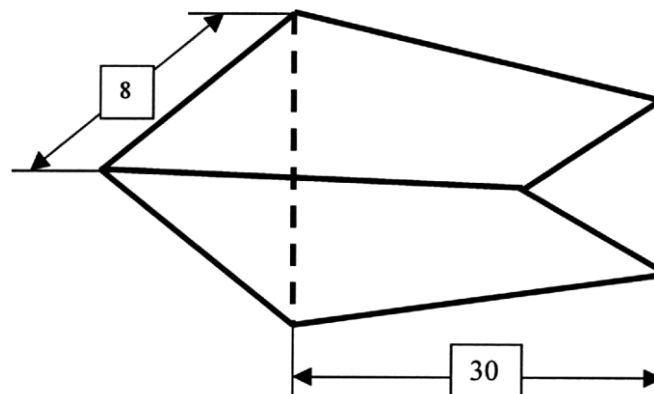


Рис 28. Форма піроскопу

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 кг/см^2) нагрівають в печі з певною сталою швидкістю. При цьому будують графіки залежності відносної деформації Δh зразка від температури. На рис. 29 представлені криві деформації різних вогнетривів під навантаженням $19,6 \text{ Н/см}^2$.

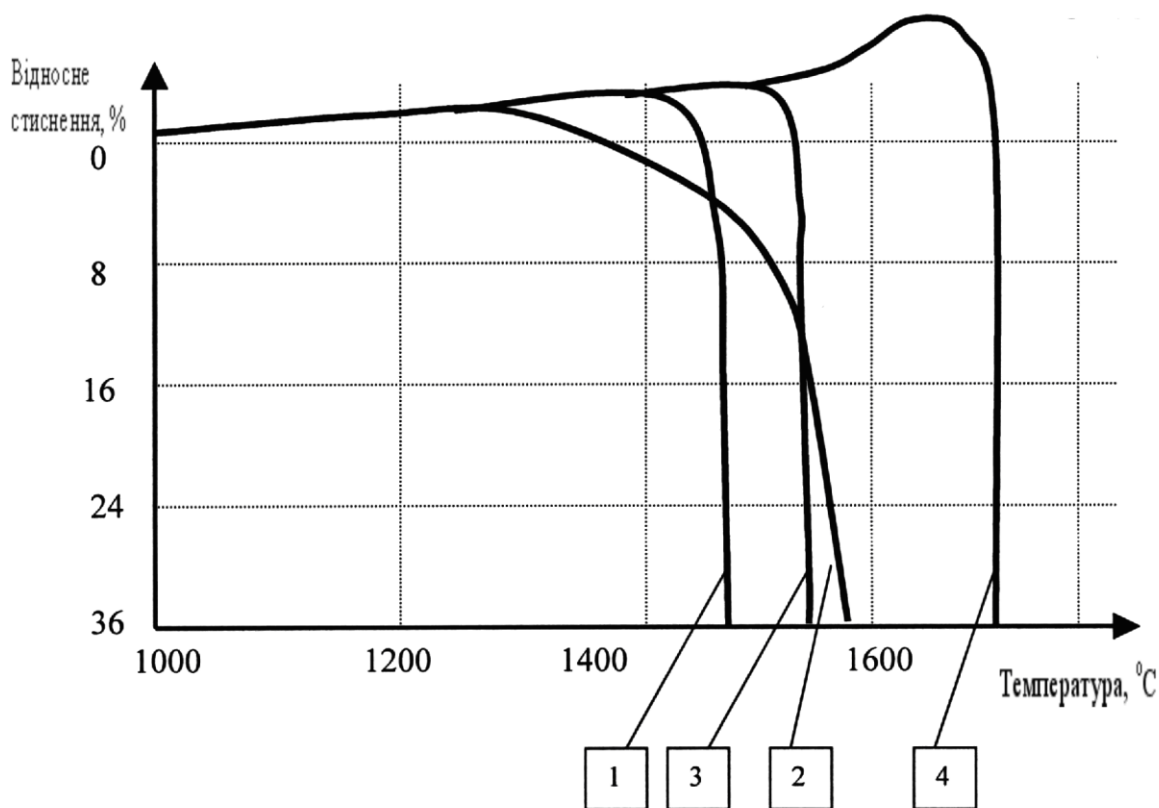


Рис 29. Криві деформації різних вогнетривів під навантаженням.
1 - хроміт; 2 - шамот; 3 - магнезит; 4 - динас.

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 дає більш надійне уявлення про $t_{РОБ}^{MAX}$ вогнетриву (в 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, при чому, 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 $(t_{ВОГН} - t_{РВИН})$ 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 рис. 30, 31 представлений розподіл температур і термонапружень за перерізом кладки при стаціонарному і нестационарному тепловому режимі.

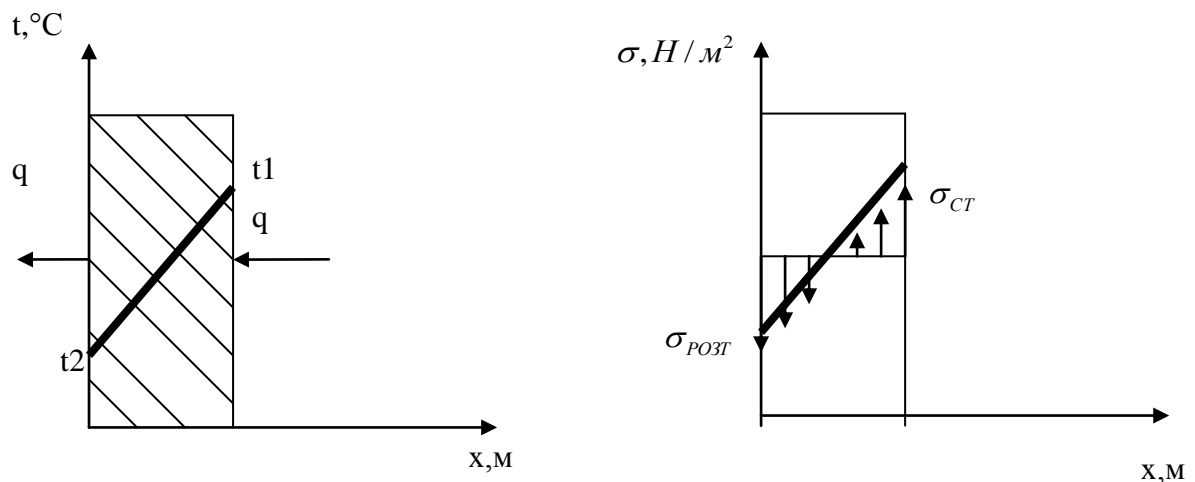


Рис 30. Розподіл температур і термонапружень за перерізом кладки (стаціонарний тепловий режим)

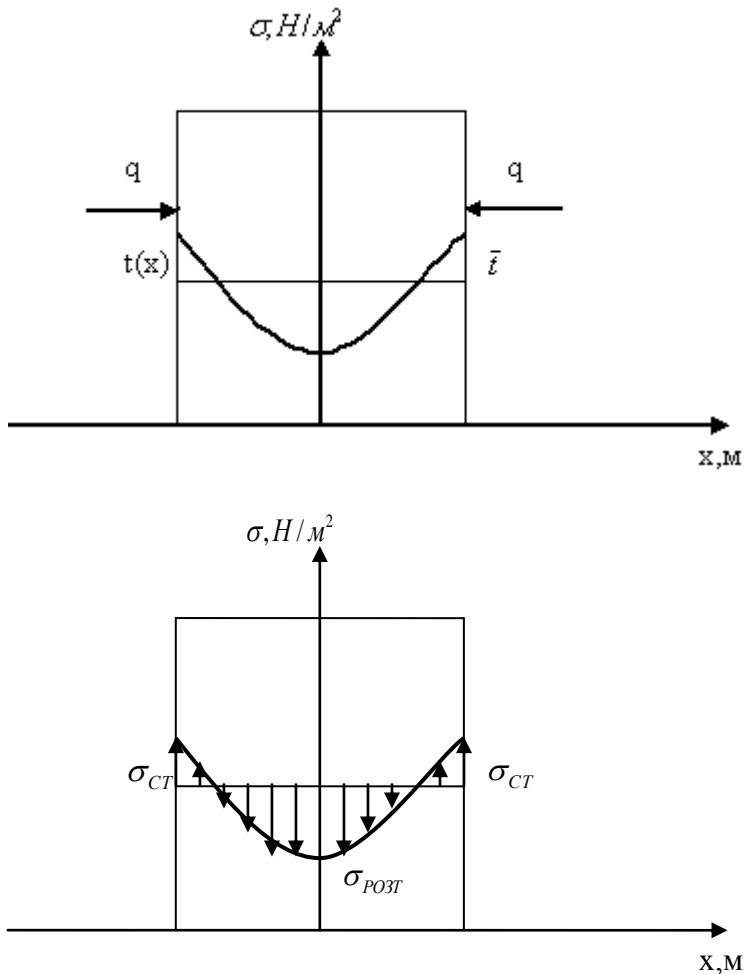


Рис 31. Розподіл температур і термонапружень за перерізом кладки (не-стаціонарний тепловий режим)

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

Терmostійкість вогнетривів перевіряють наступним чином: зразки, які перевіряються попередньо зважують, а потім торцевими кінцями встановлюють в піч на глибину 50мм; нагрівають до температури 850°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 теплосміною*. Після кожної теплосміни зразки зважують. Випробування продовжують до втрати зразком 20% від початкової маси.

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

Деякі вогнетриви, наприклад, легковагові і магнезитові, випробовують на терmostійкість повітряних теплосмінах. 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 термостійкість їх оцінюють за сумарною втратою їх маси.

На термостійкість 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 термостійкість 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.

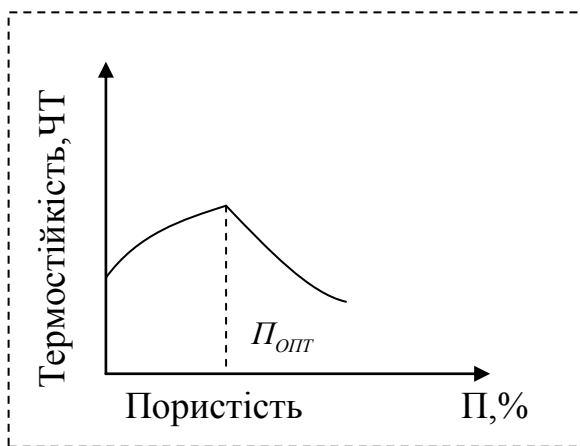


Рис 32. Вплив пористості на термостійкість вогнетривких виробів

Шлакостійкість. Вона характеризує здатність вогнетриву протистояти руйнуючому фізикохімічному 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 плавки.

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). Напр., SiO_2 , TiO_2 , P_2O_5 , W_2O_5 ; • основні (R_2O , RO), напр., NaO_2CO , FeO_2 , MnO , MgO ; • амфотерні (R_2O_3), напр., 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.

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

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

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

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	
Середні	1 – 1.5	1.5 – 1	Превалювання скловидної фази (до 100%)
Кислі	1.5 – 3	1 – 0.5	
Ультра-кислі	>3	<0.5	

Взаємодія вогнетриву з мінеральним розплавом являє собою складний фізикохімічний 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. Зі 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 слабозчеп-

лених 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.

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 ΔV 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 хромомангнетитових 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.

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 магнетитові 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.

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.

4.4. Виробництво і властивості вогнетривких матеріалів

Виробництво пресованих вогнетривів складається:

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.

Алюмосилікатні вогнетриви. Всі алюмосилікатні вогнетриви є похідними системи $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$.

На рис. 33 представлена діаграма стану даної системи, яка надає уяву про властивості вогнетривких виробів в залежності від процентного співвідношення компонентів системи. Температура плавлення кремнезему дорівнює 1986°K, на діаграмі вона позначена точкою А. Точка А збігається з початком діаграми і відповідає 100% SiO_2 . При розплавлюванні кремнезем утворює в'язкий розплав. Частина діаграми з вмістом кремнезему від 100 до 97% відповідає складу кислих вогнетривів типу динас. Добавка глинозему Al_2O_3 до 5,5% зменшує в'язкість і знижує температуру плавлення до 1818°K з утворенням евтектики в точці Б. При 54% SiO_2 і 46% Al_2O_3 , тобто при співвідношенні компонентів, що відповідає каолініту $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ температура плавлення системи підвищується до 2073°K. Мінерал каолініт широко розповсюджений у природі. В основному з каолініту складається вогнетривкий матері-

ал каолін, що використовується у виробництві порцеляни та вогнетривких виробів. Каолініт входить так само в усі вогнетривкі глини. Зі збільшенням вмісту Al_2O_3 до 71,8% температура плавлення системи підвищується до $2143^\circ K$ (точка В), що відповідає хімічному з'єднанню муліту $3Al_2O_3 * 2SiO_2$. Точка Г відповідає 100% вмісту корунду, який має температуру плавлення $2323^\circ K$.

4.4.1. Шамотні вогнетривкі вироби

Одним з видів алюмосилікатного 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 $Al_2O_3 * 2SiO_2 * 2H_2O$, зі збільшенням якого вогнетривкість глин підвищується.

У глині присутні різні домішки: кварц, глинозем оксиди лужних та лужно-земельних 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 $110^\circ C$ до повної втрати води, вони тверднуть, зберігаючи форму. При сушці з температурою $110^\circ C$ не відбувається структурних змін у молекулі $Al_2O_3 * 2SiO_2 * 2H_2O$ і в інших подібних йому мінералах, тому фізичні властивості глин залишаються колишніми. Тільки при прожарюванні глин і каолініту до $500 - 800^\circ C$ структура мінералу руйнується, глини повністю втрачають пластичність, що при подальшому зволоженні не відновлюється.

Випалення і спікання глин. Отримання шамоту.

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

По мірі нагрівання глин понад $800^\circ C$, зазвичай до температури $1360 - 1400^\circ C$, їх випалення супроводжується поступовим розм'якшенням під впливом 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 $120-200^\circ C$ видаляються залишки гігроскопічної вологи. На другій стадії при температурах від $200 - 900^\circ C$ 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 виготовленні 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 295-590 н/см² (30-40 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% Al₂O₃.

Робочі властивості шамотних виробів:

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

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

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

Пористість П = 20-25%;

Термостійкість 50 теплостмін.

Марки шамоту:

- ША - шамот класу А, містить Al₂O₃- 38-40%, SiO₂ до 56%, $t_{\text{вогн}}$ не менш 1730°C.

- ШБ - шамот класу Б, містить Al₂O₃-35-38%, SiO₂ до 60%, $t_{\text{вогн}}$ не менш 1670°C.

- ШВ - шамот класу В, містить Al₂O₃ до 36%, SiO₂ до 60%, $t_{\text{вогн}} = 1580^{\circ}\text{C}$.

Алюмосилікатні вогнетриви стійкі проти середніх і кислих розплавів, але не стійкі проти основних. Із збільшенням вмісту Al₂O₃ якість алюмосилікатних виробів від напівкислих (Al₂O₃=24-27% SiO₂= 68-74%) до мулітокорундових зростає: вогнетривкість збільшується від 1580°C до 1650°C, $t_{\text{н.р.}}$ з 1300°C до 1650°C, а також термостійкість і шлакостійкість, але разом з цим суттєво зростає і вартість.

4.4.2. Високоглиноземисті вогнетривкі вироби.

До високоглиноземистих виробам відносяться вогнетриви, які містять більше 45% Al_2O_3 . З підвищенням вмісту Al_2O_3 при випаленні утворюються муліт $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ і корунд Al_2O_3 . Ці елементи вогнетривкового черепка підвищують його хімічну стійкість по відношенню до основних і кислим шлакам, 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 брикетні масу пропускають через стрічковий прес і отримують брикети, які після сушіння направляють на випалювання. Випалювання здійснюють у обертових трубчастих печах при температурі 1700°C з метою зниження температури спікання глинозему вводиться добавка мінералізаторів (наприклад, TiO_2 2-3%, що забезпечує спікання вже при температурі 1500°C). Шамот, отриманий після випалу брикетів подрібнюють до певного зернового складу.

Після добавки складових компонентів (включно Fe_2O_3) подрібнену масу пресують в цеглу, висушують, а потім обпалюють при температурі 1600°C . Тривалість випалювання 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 $t_{\text{вогн}} = 1840^\circ\text{C}$;
Температура початку руйнування $t_{\text{n.p.}} = 1580^\circ\text{C}$;
Температура кінця руйнування $t_{\text{n.p.}} = 1790-1800^\circ\text{C}$;
Пористість $\text{П} = 16-20\%$;
Термостійкість 25 теплозмін.

4.4.3. Фізичні властивості кремнезему.

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, світло-переломлювання і твердістю. Дані форми SiO_2 отримали назви, відповідні кристалічним форм кремнезему, які зустрічається в природі: кварцу, трідіміту і крістобаліту.

Під впливом температури в кремнезему відбуваються два види структурних перетворень. Перший вид змін структури SiO_2 відбувається усередині головних форм: кварцу, трідіміту і крістобаліту. Протікають ці перетворення з великою швидкістю за наступними схемами:

1. β - кварц \Leftrightarrow α - кварц
0-575°C 575-870°C
2. γ - трідіміт \Leftrightarrow β -трідіміт \Leftrightarrow α – трідіміт
0-117°C 117-163°C 163-1470°C
3. β - крістобаліт \Leftrightarrow α - крістобаліт
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. α - кварц \Leftrightarrow α - трідіміт
1000-1420°C
2. α - кварц \Leftrightarrow α - крістобаліт
1000-1470°C
3. α - трідіміт \Leftrightarrow α - крістобаліт
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 межкристалевих 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 (1710-1720°C) і більш високою температурою початку деформації.

В природі маже завжди кремнезем зустрічається в модифікації β -кварцю. β - кварц густиною $\rho=2.65 \text{ г/см}^3$ при нагріванні до 573°C перетворюється в α - кварц з густиною $\rho=2.583 \text{ г/см}^3$. В результаті цього перетворення питомий об'єм збільшується на 4,6%. Якщо нагріти α - кварц вище 1000°C (приблизно до 1100-1400°C, то він переходить в α - крістобаліт з $\rho= 2,229\text{г/см}^3$, 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 α - крістобаліт, а в α - трідіміт з $\rho=2,228\text{г/см}^3$. Тобто питомий об'єм в порівнянні з кварцем збільшується на 13,68%. Однак це перетворення здійснюється тільки до температури 1470°C, а при температурі, вищій за

цю α -трідіміт переходить в α -кристобаліт із зменшенням питомого об'єму на 0.045%. Із сказаного видно, що трідімітний різновид SiO_2 характеризується найменшим змінюванням питомого об'єму, тому при обпалі динасових виробів намагаються отримати SiO_2 в трідімітній фазі (контроль по $\rho=2.228 \text{ г/см}^3$).

4.4.4. Кремнеземисті вогнетриви. Динасові вироби.

Динас - вогнетривкий матеріал, який містить не менш 93% SiO_2 , виготовлений шляхом випалювання сирцю від формованого з кварцевих порошоків на вапняковому або іншому зв'язуючому при температурі, яка сприяє поліморфному перетворенню кремнезему-кварцю в трідіміт або кристобаліт.

У виробництві динасів використовуються кварцити, що представляють собою мінеральні утворення з дисперсних зерен кварцю, пов'язаних аморфним кремнеземом. До складу кварцитів, крім кремнезему входять і інші домішки. Хімічний склад кварцитів наступний: 96-99% SiO_2 ; 0,5-1,9% Al_2O_3 ; 0,4-1% CaO ; 0,5-1% Fe_2O_3 ; MgO .

Підготовка шихти проводиться змішуванням кварциту підібраного гранулометричного 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 виробки випалюють.

Робочі властивості динасових виробів:

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

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

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

Пористість $\Pi = 20-25\%$;

Термостійкість ≤ 4 теплоступнів.

Розрізняють динасові виробки:

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

Динас - ультракислий вогнетрив, що містить 93-97% SiO_2 і не більш 2% CaO . Добре опирається корозійному впливу кислих шлаків і не стійкий про-

тидії основних шлаків. В зв'язку з поліморфними перетвореннями в динасі (при обпалі виробів, вони не проходять до кінця) термостійкість його до 600°C мала, а при більш високих температурах збільшується, тому динасові футеровки не повинні охолоджуватись нижче 600°C.

Розігрів печей, які мають динасову футеровку від 0 до 600°C здійснюють з невеликою швидкістю (≤ 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 $t_{\text{вогн}}$ (до 1720°C); $t_{\text{н.р}}$ у них вище ніж у хромомагнезиту 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 перекривати 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.

4.4.5. Магнезіальні вироби

Сировиною для виробництва магнезіальних вогнетривів служить дефіцитний природний мінерал – магнезит 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 CaCO_3 , FeCO_3 , Al_2O_3 , SiO_2 і ін. Зазвичай зміст 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 CO_2 .

Сирий магнезит піддають випалюванню, в процесі якого при температурах 550-650°C MgCO_3 розкладається ($\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$) з одержанням каустичного магнезиту, в якому MgO знаходиться у вигляді дрібних кристалів периклазу. Такий розсипчастий структурний стан обумовлює високу активність каустичного магнезиту до гідратації. 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. Спільний магнезит одержують шляхом випалювання при 1550-1659°C. При цьому MgO майже повністю втрачає цементні властивості. Спільний магнезит служить сировиною для виготовлення металургійного порошку і штучних виробів.

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

	MgO	CaO	SiO ₂ (%)
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 I-го класу розмірами зерен (0.8 – 8мм).

Металургійним порошком наварюються і заправляються поди сталеплавильних печей.

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 $t_{n.p.} = 1540-1580^{\circ}\text{C}$;	Температура початку руйнування $t_{n.p.} = 1500-1600^{\circ}\text{C}$;
Пористість П = 23-26%;	Пористість П = 13-26%;
Термостійкість $\leq 4-9$ теплзмін.	Термостійкість = 100 теплзмін.

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.

5. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

5.1. Призначення і класифікація теплоізоляційних матеріалів

Теплоізоляційні матеріали, які застосовуються у футеровках печей мають наступні призначення:

- 1) Максимально можливе скорочення теплових втрат через футеровку в оточуюче середовище.
- 2) Зменшення товщини стін, забезпечуючи достатньо низьку температуру зовнішньої поверхні і низькі втрати тепла випромінюванням.

Виходячи з умов техніки безпеки експлуатації печей при розрахунках товщини стін температуру наружньої поверхні футеровки на робочих місцях приймають не вище 45°C. При екранізації наружньої поверхні футеровки температура може бути підвищена до 120°C.

- 3) Зменшення витрат тепла і часу, необхідних на розігрів стін печей до заданої технологічної температури.

Теплоізоляційні вогнетриви, які мають менше значення коефіцієнту теплопровідності λ , а також меншу густину ρ і повну теплоємність C вигідно відрізняються від звичайних щільних вогнетривів. Для порівняння ізоляційної здатності цих матеріалів слід пам'ятати, що вогнетриви мають λ_0 від 0,7 (у шамоту) до 6,15 Вт/м°C (у магнезиту), в той час як λ_0 у теплоізоляційних матеріалів коливається в межах від 0,03 до 0,3 Вт/м°C.

Теплоізоляційні матеріали за своїм походженням поділяють на природні і штучні. Їх теплоізоляційні властивості, як правило, основані на високій пористості цих матеріалів.

За температурою застосування теплоізоляційні матеріали поділяють на три групи:

- низькотемпературні, що не використовуються при нагріванні вище за 900°C;
- середньотемпературні, які мають діапазон застосування 900-1200°C;
- високотемпературні – від 1200°C та вище.

5.2. Природні теплоізоляційні матеріали

В якості природних теплоізоляторів використовують азбест, діатоміт і трепел.

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

При нагріванні вище 500°C азбест внаслідок дегідратації розруйнується, перетворюючись у порошок. Плавиться він при температурі вище 1500°C.

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

Трепел представляє собою нагромадження кремнеземистих скелетів радіолярій і губок.

Діатоміт і трепел застосовують в сирому і випаленому стані у вигляді засипок і готових виробів. Вони витримують температуру до 900°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 $0,27$ Вт/м°C.

Механічна міцність таких виробів низька. Межа міцності при стисненні коливається від 60 до 150 Н/см³.

5.2. Штучні теплоізоляційні матеріали

До штучних теплоізоляційних матеріалів зараховуються легковагові вогнетриви, шлакова вата та волокнисті вогнетриви.

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.

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 г/см^3 .

Кращими теплоізоляційними властивостями характеризуються вироби, здобуті хімічним або пінокерамічним способами. Густина таких виробів становить $0,3-1,5 \text{ г/см}^3$. Масу при зазначених способах виробництва готують у вигляді лікеру. В якості піноутворюючого матеріалу застосовують каніфольне мило, яке дає стійку піну. При хімічному способі у масу вводять газоутворюючі матеріали. Розлиту по формам масу висушують, а потім випалюють.

Механічна міцність легковагових вогнетривів мала, термостійкість і шлакостійкість низькі. Гранична температура використання легковагового шамоту становить 1250°С , динасових 1550°С .

Волокнисті вогнетривкі теплоізоляції 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%.

Волокнисті теплоізоляційні матеріали класифікуються на м'які, напівжорсткі і жорсткі. Нині найбільш доступні алюмосилікатні матеріали каолинового складу ($50\% \text{ Al}_2\text{O}_3$, $50\% \text{ SiO}_2$), які застосовують у вигляді каолинової вати з вогнетривкістю 1850°С , а також у вигляді готових виробів. Вітчизняне алюмосилікатне волокно має температуру застосування $1100-1260^\circ\text{С}$. 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 ГОС 23619-79. В залежності від групи і температури застосування волокнисті вогнетривкі теплоізоляційні матеріали поділяються на марки (табл. 5.1.).

Таблиця 5.1 – Маркировка волокнистих вогнетривких теплоізоляційних матеріалів і виробів

Марка	Характеристика	Температура застосування, °С (не вище)
Матеріали мулітокремнеземісті		
МКРВ	Вата	1150
МКРР	Рулонний матеріал	1150
МКРРХ-150	Хромомісткий рулонний матеріал	1300
МКРВ-200	Войлок	1150
Вироби мулітокремнеземісті		
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

Бумага і картон мають ряд суттєвих переваг в порівнянні з високотемпературними азбестовими, базальтовими, листовими матеріалами і характеризуються:

- застосуванням при високих температурах;
- низькою теплопровідністю при високих температурах;
- підвищеною пружністю;
- низькою густиною (особливо в порівнянні з азбестовими матеріалами);
- високою міцністю (в порівнянні з базальтовим картоном).

Нижче (табл.5.2) наведені основні властивості таких теплоізоляційних листових матеріалів.

Таблиця 5.2 - Властивості теплоізоляційних листових матеріалів

Показник	Азбестовий картон	Базальтовий картон	Картон з мулітокремнеземістого волокна	Бумага з мулітокремнеземістого волокна
Товщина, мм	2-10	2-12	3-5	1-2
Температура застосування, °С (не вище)	500	750	1150	1150
Густина, г/см ³	1,0-1,4	0,25-0,30	0,35-0,45	0,35-0,45
Теплопровідність при середній температурі 100°С, Вт/м°С	0,171	0,058	0,068-0,081	0,068-0,081

Найменшу теплопровідність в інтервалі температур 100-600°С мають матеріали і вироби з об'ємною щільністю близько 200кг/м³ ~ 0,163 Вт/(м°С) при 600°С. Вироби і матеріали з меншою густиною (від 50 до 200 кг/м³) внаслідок збільшення радіаційної і конвективної складової мають більш високу теплопровідність. При об'ємній щільності 50кг/м³ при 600°С теплопровідність дорівнює 0,2326 Вт/м°С.

ОСНОВНА ТА ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Основы материаловедения / Под ред. И.И.Сидорина.-М.: Машиностроение, 1976.-436с.
2. Материаловедение. Учебник для вузов. Травин О.В., Травина Н.Т.- М.: Металлургия, 1989.-384с.
3. В.А.Арутюнов и др. Металлургическая теплотехника. Т.И. Теоретические основы, топливо и огнеупоры.- М.: Металлургия, 1974.- 671 с.
4. Топливо, огнеупоры и металлургические печи. Вагин А.А., Кривандин В.А., Прибытков И.А., Перлов Н.И.-М.- Металлургия, 1978,-432с.
5. Стрелов К.К., Мамалыкин П.С. Технология огнеупоров. М.: Металлургия, 1978.- 376с.

Додаткова

6. Конструкционные материалы. Справочник / Под ред. Б.Н.Арзамасова.- М.: Машиностроение, 1990.- 686с.
7. Тепловые и атомные станции. Справочник / Под ред. В.А.Григорьева и В.М.Зорина.-М.: Энергоиздат, 1982.- 624с.
8. Г.Ф.Лепин. Ползучесть металлов и критерии жаропрочности.М.: Металлургия, 1976.- 344с.
9. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В.Г.Сорокина. М.: Машиностроение, 1989,-640с.
- 10.Стали и сплавы для высоких температур. Справ. Изд. С.Б.Масленков, Е.А.Ипсленкова.- М.: Металлургия, 1991.-832с.
- 11.К.К.Стрелов. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов.- М.: Металлургия, 1985.- 480с.
- 12.Огнеупорные изделия, материалы и сырье. Справочник / Под ред. А.К.Карклита- М.: Металлургия, 1990.-416с.
- 13.Огнеупоры и футеровки / Под ред. И.С.Кайнарского.- М.: Металлургия, 1976.- 416с.
- 14.Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник / Под ред. А.И.Голубева, Л.А.Кондакова.- М.: Машиностроение, 1986.-464с.
- 15.Е.А.Эминов, А.А.Козорезова. Смазка оборудования промышленных предприятий.- М.: Химия, 1996.- 176с.
- 16.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 денної та заочної форм навчання за напрямом 6.050601 – Теплоенергетика / Укл. Рижов А.П., Соколовська І.Є. - Кам'янське, ДДТУ, 2016. - 83с.

Укладачі:

доцент, к.т.н. Рижов А.П.,

доцент, к.т.н. Соколовська І.Є.

Підписано до друку _____ 2016р.
Формат _____ А4 _____ Обсяг _____ др. арк.
Тираж _____ 10 _____ прим. Замов. _____
51918, м. Кам'янське, вул.Дніпробудівська, 2.