

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



# МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Навчальний посібник

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2021

УДК 620.22 (075)

М34

Рекомендовано вченою радою як навчальний посібник для студентів спеціальності 184 Гірництво (протокол № 11 від 29 червня 2021).

Рецензенти:

В.О. Калініченко – д-р техн. наук, проф. (Криворізький національний університет);

В.І. Голінько – д-р техн. наук, проф. (НТУ «Дніпровська політехніка»);

Р.О. Дичковський – д-р техн. наук, проф. (НТУ «Дніпровська політехніка»).

Автори:

В.І. Бузило;

В.П. Сердюк;

А.В. Яворський;

О.А. Гайдай.

**Бузило В.І.**

Матеріалознавство : навч. посіб. / В.І. Бузило, В.П. Сердюк,  
М 34 А.В. Яворський, О.А. Гайдай / М-во освіти і науки України, Нац. техн.  
ун-т «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2021. – 243 с .

ISBN 978–966–350–756–9

Зміст видання відповідає освітньо-професійній програмі підготовки бакалаврів спеціальності 184 Гірництво, зокрема – програмі дисципліни на вибір «Матеріалознавство».

Розглянуто структуру й властивості, склад і будову основних металевих і неметалевих матеріалів, галузі використання конструкційних та інструментальних матеріалів у гірництві.

УДК 620.22 (075)

© В.І. Бузило, В.П. Сердюк,

А.В. Яворський, О.А. Гайдай, 2021

© НТУ «Дніпровська політехніка», 2021

ISBN 978–966–350–756–9

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	7
ВСТУП	8
1. Основні поняття	8
2. Значення та завдання дисципліни «Матеріалознавство» для підготовки фахівців у галузі гірничої справи	8
3. Загальні вимоги, що пред'являються до матеріалів в залежності від умов використання, застосування або експлуатації	9
4. Класифікація матеріалів	11
1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО БУДОВУ, СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ	12
1.1. Агрегатні стани речовини	12
1.2. Фізичні властивості матеріалів та їх характеристики	17
1.2.1. Маса та щільність матеріалів	17
1.2.2. Пористість матеріалів	18
1.2.3. Температурні властивості матеріалів	19
1.2.4. Теплові властивості матеріалів.	20
1.2.5. Взаємодія матеріалів з водою	21
1.2.6. Звукові характеристики матеріалів.	22
1.2.7. Механічні властивості	23
1.2.8. Електричні властивості	25
1.2.9. Магнітні властивості	28
1.2.10. Технологічні властивості	31
1.2.11. Споживчі властивості	32
1.2.12. Загальні вимоги безпеки при використанні або застосуванні речовин і матеріалів	37
2. МЕТАЛИ ТА СПЛАВИ	38
2.1. Залізо та сплави на його основі	40
2.1.1. Сталі та сплави	40
2.1.1.1. Структура сталей в рівноважному стані	41
2.1.1.2. Вплив вуглецю та технологічних домішок на властивості сталей та сплавів	42
2.1.1.3. Вплив термічної, термомеханічної та хіміко-термічної обробок на властивості сталі та сплавів	44
2.1.1.4. Вплив легуючих елементів на властивості сталі та сплавів	50
2.1.1.5. Загальна класифікація сталей	51
2.1.1.6. Маркування сталей за хімічним складом	52
2.1.1.7. Конструкційні сталі та сплави	57
2.1.1.8. Інструментальні сталі та сплави	64
2.1.1.9. Сталі та сплави з особливими фізичними властивостями	67

2.1.1.10. Старіння вуглецевої сталі	70
2.1.2. Чавуни	71
2.2. Титан і сплави на його основі	77
2.3. Тугоплавкі метали та сплави на їх основі	79
2.4. Кольорові метали та сплави на їх основі	82
2.4.1. Мідь та сплави на її основі	82
2.4.1.1. Мідь	82
2.4.1.2. Латуні	84
2.4.1.3. Бронзи	86
2.4.2. Алюміній та сплави на його основі	91
2.4.3. Магній та сплави на його основі	96
2.4.4. Антифрикційні (підшипникові) сплави на олов'яній, свинцевій та цинковій основах	99
2.4.5. Припої	101
2.5. Порошкові металеві матеріали	102
2.5.1. Конструкційні металеві порошкові матеріали	104
2.5.2. Інструментальні металеві порошкові матеріали	106
2.6. Обробка металів тиском	107
2.7. Зварювання металів	110
2.8. Захист металів від корозії	113
2.8.1. Види корозії	113
2.8.2. Захист металів від корозії	115
2.9. Метал для кріплення гірничих виробок	116
3. БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ	119
3.1. Природні кам'яні матеріали	119
3.1.1. Загальна характеристика	119
3.1.2. Магматичні породи	119
3.1.2.1. Класифікація магматичних порід	119
3.1.2.2. Хімічний та мінеральний склади магматичних порід	120
3.1.2.3. Найважливіші види магматичних порід і їх будівельні властивості	121
3.1.3. Осадкові гірські породи	124
3.1.3.1. Класифікація осадових гірських порід	124
3.1.3.2. Хімічний та мінеральний склади осадових порід	125
3.1.4. Метаморфічні породи	127
3.2. Основні кам'яні матеріали, що застосовуються без обробки	129
3.3. Керамічні матеріали та вироби	130
3.3.1. Загальні відомості	130
3.3.2. Сировина для виробництва керамічних матеріалів і виробів	131
3.3.3. Стінові матеріали	133
3.3.4. Керамічні матеріали та вироби різного призначення	134
3.3.5. Кам'яні матеріали для кріплення гірничих виробок	137
3.4. Неорганічні в'язучі речовини	138
3.4.1. Загальні відомості	138

3.4.2. Сировинні матеріали та основи технології неорганічних в'язучих речовин	140
3.4.3. Повітряні в'язучі речовини	141
3.4.3.1. Гіпсові в'язучі речовини	141
3.4.3.2. Вапно будівельне повітряне	142
3.4.4. Гідравлічні в'язучі речовини	145
3.4.4.1. Портландцемент	145
3.4.4.2. Види цементів	147
3.4.5 Бетони	149
3.4.5.1. Загальні відомості та основні властивості бетонів та бетонних сумішей	149
3.4.5.2. Класифікація бетонів	153
3.4.5.3. Основні вимоги до бетонів та проектування складу бетону	154
3.4.5.4. Вибір цементу для бетону	159
3.4.5.5. Заповнювачі для бетону	159
3.4.5.6. Вода. Добавки до бетону	161
3.4.5.7. Важкий бетон	164
3.4.5.8. Легкі бетони	168
3.4.5.9. Газо - і пінобетон	170
3.4.5.10. Залізобетон	170
3.4.6. Будівельні розчини	171
3.4.7. В'язучі речовини та розчини, що застосовуються в гірничій промисловості	174
3.4.8. Бетон і залізобетон для кріплення гірничих виробок	176
3.4.9. Силікатні матеріали та вироби	179
3.4.9.1. Сировина	179
3.4.9.2. Виробництво	179
3.4.10. Азбестоцементні матеріали та вироби	181
Види азбестоцементних виробів	181
3.4.11. Скло та вироби зі скла	183
3.4.11.1. Сировина	183
3.4.11.2. Властивості	184
3.4.11.3. Різновиди скла і скляних виробів, застосовувані в будівництві	185
3.5. Матеріали та вироби з деревини	187
3.5.1. Загальні відомості	187
3.5.2. Властивості деревини	188
3.5.3. Вади деревини	190
3.5.4. Захист деревини від гниття, ураження комахами та загоряння	192
3.5.4.1. Запобігання деревини від гниття та руйнування комахами	192
3.5.4.2. Захист деревини від загоряння	193
3.5.5. Основні породи деревини, що застосовуються в будівництві та гірничій справі	194
3.5.5.1. Хвойні породи	194
3.5.5.2. Листяні породи	194
3.5.6. Матеріали та вироби з деревини	195

3.5.6.1 Лісоматеріали загального призначення	195
3.5.6.2. Лісоматеріали застосовувані в гірничій промисловості	197
3.6. Теплоізоляційні та звукоізоляційні матеріали та вироби	199
3.6.1. Теплоізоляційні матеріали та вироби	199
3.6.2. Звукоізоляційні матеріали	205
3.6.3. Звукопоглинаючі матеріали та вироби	205
3.7. Бітумні і дьогтьові в'язучі та матеріали на їх основі	207
3.7.1. Бітумні та дьогтьові в'язучі	207
3.7.1.1. Бітуми	207
3.7.1.2. Дьогті	208
3.7.1.3. Асфальтові та дьогтеві бетони та розчини	208
3.7.1.4. Покрівельні, гідроізоляційні та герметизуючі матеріали	210
3.8. Матеріали та вироби з пластмас	213
3.8.1. Загальні відомості	213
3.8.2. Основні компоненти пластмас	214
3.8.2.1. Полімери для будівельних пластмас	214
3.8.2.2. Полімеризаційні полімери	215
3.8.2.3. Поліконденсаційні полімери	216
3.8.2.4. Наповнювачі та пластифікатори	217
3.8.3. Полімерні матеріали застосовувані в гірничій промисловості	218
3.9. Гумові матеріали	220
3.9.1. Загальні відомості	220
3.9.2. Склад гумових матеріалів	223
3.9.3. Класифікація гумових матеріалів за призначенням і області застосування	224
3.10. Лакофарбові матеріали	225
3.10.1. Загальні відомості	225
3.10.2. Пігменти та наповнювачі	226
3.10.3. Сполучні речовини, розчинники і розріджувачі	231
3.10.4. Барвисті склади	233
3.11. Мастильні матеріали	235
3.11.1. Загальні відомості	235
3.11.2. Мастила	235
3.11.3. Пластичні мастила	237
3.11.4. Тверді мастильні матеріали	238
3.11.5. Мастильно-охолоджуючі рідини	239
3.11.6. Робочі рідини та мастильні матеріали очисних машин гірничих підприємств	240
Список джерел літератури	242

## ПЕРЕДМОВА

"Матеріалознавство" є однією з основних дисциплін, що визначають рівень підготовки бакалаврів і магістрів у всіх середніх і вищих навчальних закладах. Значення цієї дисципліни визначається широким діапазоном матеріалів, що використовуються в практичній діяльності в усіх галузях народного господарства. Достатні знання, отримані в галузі матеріалознавства, повинні забезпечувати у виробничих процесах раціональне та ефективне використання матеріалів при дотриманні вимог економії, екології та безпеки праці.

Вивчення курсу "Матеріалознавство" має забезпечити вирішення наступних завдань при підготовці бакалаврів у галузі гірничої справи:

- отримати міцні знання про основні закономірності, що визначають будову і властивості матеріалів, про методи їх обробки, про поведінку матеріалів в основних процесах експлуатації або споживання;

- навчити виконувати найбільш широко застосовувані в техніці методи випробування якості матеріалів;

- дати навички самостійного користування нормативною документацією (НД) та довідковою літературою для вибору основних промислових, а також нових перспективних матеріалів та ефективних методів їх використання, залежно від умов їх застосування.

Підручник допоможе майбутнім інженерно-технічним працівникам пов'язати свої теоретичні знання з практичною роботою та полегшити розуміння спеціальної літератури з матеріалознавства, а фахівцям, які мають практичний досвід роботи, – оновити теоретичні знання.

Автори не претендують на вичерпну повноту висвітлення всіх питань матеріалознавства, а прагнуть послідовно, на сучасному науковому рівні, в доступній формі викласти необхідний обсяг знань, передбачених програмою дисципліни «Матеріалознавство» та навчальними планами гірничих спеціальностей, ВНЗ.

# ВСТУП

Матеріалознавство: сутність, теорія, практика

## 1. Основні поняття

У практичній діяльності нас оточують речовини.

*Речовина* – вид матерії, сукупність дискретних (переривчастих) утворень (атоми, молекули і те, що з них побудовано), що володіють масою спокою.

Існування речовин в інженерній практиці можна охарактеризувати деяким життєвим циклом, що включає в себе наступні стадії:

- поставлення завдання використання;
- науково-дослідна робота;
- проектно - та дослідно-конструкторські роботи;
- технологічна підготовка виробництва;
- виготовлення;
- випробування;
- експлуатація або споживання, зберігання, транспортування, відновлення або ремонт та ін.

Залежно від стадії свого життєвого циклу, речовина розглядається як сировина, матеріал або вироб.

*Сировина* – речовина, призначена для подальшої переробки.

*Матеріал* – речовина, призначена для виготовлення чого-небудь.

У виробничих процесах матеріали розглядають залежно від їх ролі як основні і допоміжні.

*Матеріали основні* – матеріали, які безпосередньо витрачаються на виготовлення продукції та складають її головний зміст.

На підприємствах гірничо-видобувної промисловості до основних матеріалів по суті відносяться тільки матеріали, що витрачаються на виробництво запасних частин, металевих виробів, тари і т.д. Принципова відмінність гірничої справи від інших галузей полягає в тому, що основним матеріалом для неї є корисні копалини.

*Матеріали допоміжні* – матеріали, що застосовуються для виробництва, але не входять до складу продукції.

На гірничих підприємствах до допоміжних відносяться майже всі матеріали, що споживаються (лісові матеріали, вибухові речовини, мастильні масла, палива та ін.).

*Вироб – (продукція)* – кінцевий результат людської праці (обробки, переробки, дослідження тощо).

Основним об'єктом подальшого вивчення будуть матеріали, що використовуються в гірничо-видобувній промисловості.

## 2. Значення і завдання дисципліни "Матеріалознавство" для підготовки фахівців у галузі гірничої справи

*Матеріалознавство* – наука, що вивчає в загальному зв'язку склад, будову, структуру і властивості матеріалів, а також закономірності їх зміни під тепловим, хімічним, механічним та іншими впливами.



**Склад матеріалу** – кількісна характеристика вмісту в ньому компонентів.

Склади розрізняють за природою компонентів. Так, розглядають хімічний, мінеральний та інші склади.

**Хімічний склад** – кількісна характеристика вмісту в ньому хімічних елементів або їх сполук (наприклад, оксидів).

**Мінеральний склад** – кількісна характеристика вмісту мінералів в кам'яному матеріалі.

**Мінералом** називають природне тіло, однорідне за хімічним складом і фізичними властивостями. Мінерал є продуктом фізико-хімічних процесів, що відбуваються в земній корі.

**Гірські породи** – це значні за обсягом скупчення мінеральних агрегатів в земній корі, що утворилися під впливом однакових умов, що мають більш-менш певний склад і будову.

**Будова матеріалу** – сукупність стійких зв'язків речовини, що забезпечують його цілісність і тотожність самому собі, тобто збереження основних властивостей.

**Структура матеріалу** – форма, розміри і характер взаємного розташування утворюючих його компонентів.

**Властивість матеріалу** – ознака, що становить його відмінну особливість.

Завданнями вивчення "матеріалознавства" є встановлення зв'язків складу, будови і структури матеріалів з їх властивостями та на цій основі формування і збереження необхідних властивостей.

Основне практичне завдання матеріалознавства в галузі гірничої справи – вибір матеріалу, що володіє заданим комплексом властивостей, і його раціональне використання для підвищення ефективності технологічних процесів гірничого виробництва.

Зміст дисципліни базується на знанні загальнотехнічних дисциплін: хімії, фізики, термодинаміки, фізичної хімії, а також великої кількості спеціальних дисциплін, наприклад, термічної обробки.

### **3. Загальні вимоги, що пред'являються до матеріалів в залежності від умов використання, застосування або експлуатації**

Можливість використання матеріалу визначається його складом, будовою, структурою і, отже, властивостями. При цьому вимоги, що пред'являються до матеріалів в промисловості в залежності від умов їх використання, експлуатації або споживання, визначаються поняттям «якість матеріалу».

**Якість матеріалу** – сукупність його властивостей, що обумовлюють придатність задовольняти певні потреби відповідно до його призначення.

У всіх країнах завдання забезпечення якості, в тому числі продукції, має найважливіше значення і розглядається на державному рівні. Існують наступні види забезпечення якості:

- науковий;

- організаційний;
- нормативно-технічний;
- метрологічний;
- інформаційний;
- правовий;
- матеріально-технічний.

Матеріалознавство дає можливість наукового забезпечення якості речовин та матеріалів.

Стандартні зразки речовин та матеріалів – відчутні об'єкти. У багатьох випадках це прототипи або зразки комерційних матеріалів – цементу, сталі, скла з атестованим складом. Іноді це природні речовини, наприклад, гірські породи, ґрунт або тканини рослин.

Спочатку стандартні зразки речовин та матеріалів застосовувалися для контролю якості в промисловості, особливо в галузях, пов'язаних із металообробкою. У ряді випадків стандартні зразки речовин та матеріалів допомагали укладанню торгових угод. Приклад такого роду – продаж залізної руди, кількість якої обчислюється мільйонами тонн, а ціна прямо пов'язана зі вмістом заліза. Відхилення концентрації заліза в руді приблизно на 0,1% збільшує або зменшує вартість вантажу великого рудовозу на тисячі у.о.

Надійні вимірювання хімічного складу стандартних зразків речовин та матеріалів сприяють прийняттю важливих рішень для випадків:

- визначення придатних матеріалів і готової продукції для виробництв, де хімічний склад продукції регламентований;
- контролю стану здоров'я та профілактики хвороб, наприклад при професійних захворюваннях;
- виявлення можливості порушення закону, наприклад, при аналізі вихлопних газів автомобілів і порівнянні результатів зі стандартними зразками;
- встановлення скоєння злочину при судовій експертизі.

Для реєстрації стандартних зразків складу і властивостей речовин та матеріалів, типи яких визнані в якості міждержавного стандартного зразку (МСЗ) країн СНД, призначений Реєстр МСЗ. Він є джерелом офіційної інформації про результати створення та визнання типів МСЗ.

Створення стандартних зразків речовин і матеріалів – справа дорога і до того ж вимагає широких технічних знань і великого досвіду. Розробка нових стандартних зразків речовин і матеріалів майже цілком визначається ринковим попитом.

У світі 20 тис. стандартних зразків речовин і матеріалів. Комп'ютерний банк даних "Кодекс зразкових речовин"(COMAR) містить інформацію про 12 тис. стандартних зразків речовин і матеріалів з 20 країн. У базу даних включені: назва і загальний опис речовини, назва та адреса виробника, форма речовини, атестовані властивості, їх значення та область ЗАСТОСУВАННЯ. Центри кодування COMAR діють в 14 країнах. Необхідну інформацію можна отримати на Web-сайті та в центральному Секретаріаті COMAR.

#### 4. Класифікація матеріалів

Класифікація матеріалів застосовуваних в гірничодобувній промисловості та народному господарстві представлена на рис. 1.1.

Всі матеріали розділені на метали, неметали та композити.

**Метали** діляться на чорні, кольорові і твердосплавні.

Чорні – це метали і сплави на основі заліза (чавуни, сталі). Іноді до них відносять марганець, нікель.

Кольорові – всі інші метали та сплави на їх основі.

До твердосплавних відносять такі метали як вольфрам, титан, тантал та інші, а також сплави на їх основі.

**Неметали** поділяються на природні та штучні.

Природні – матеріали, одержувані з магматичних, осадових та метаморфізованих гірських порід, а також деревина.

Штучні – матеріали, одержувані шляхом певної технологічної переробки природних, а також пластичні маси. Скло, гума, лаки, фарби, клей, герметики і т.д.

Композити – штучні матеріали, отримані з двох і більше компонентів. Це азбоцементні вироби, фібробетон, склопластики, бетонополімери та ін.

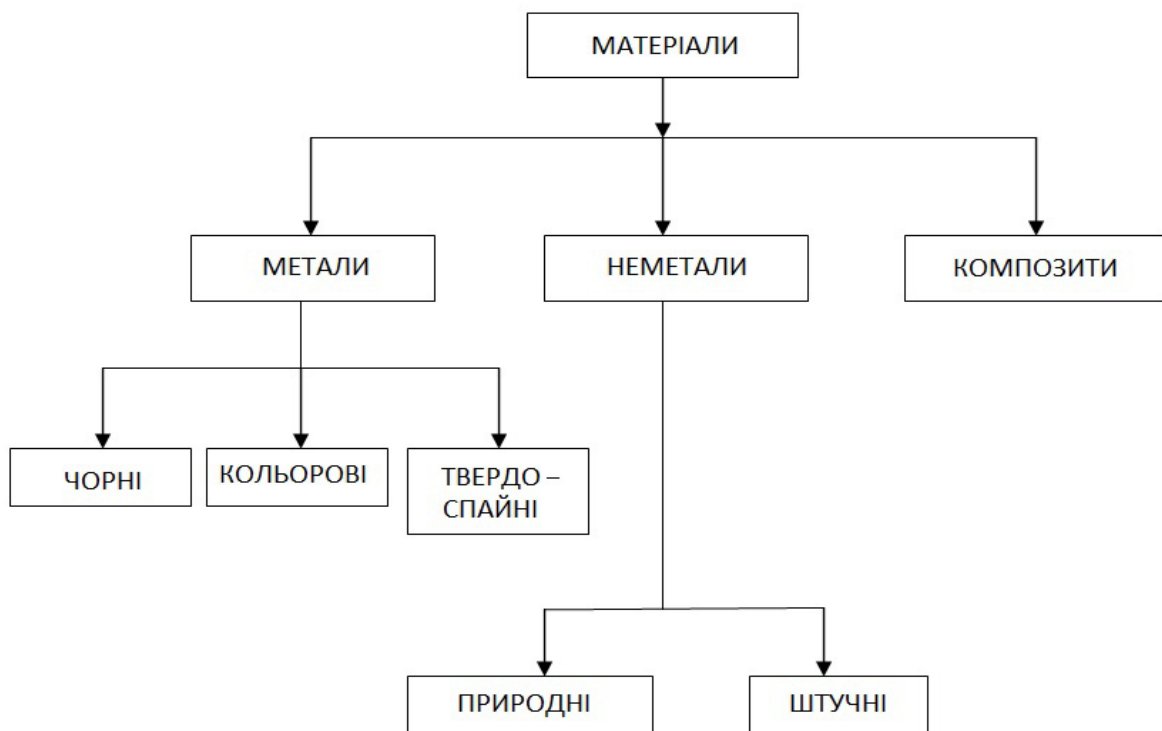


Рис. 1.1. Класифікація матеріалів

# 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО БУДОВУ, СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ

У розділі представлені основні поняття про будову, структуру, та фізичні властивості матеріалів, що застосовуються, як в гірничій промисловості, так і в народному господарстві.

Відповідно до матеріалів розділу студент повинен:

- знати особливості агрегатних станів речовин;
- класифікувати і вміти визначати основні фізичні властивості матеріалів;
- відрізнити матеріали за фізико-механічними властивостями, складом та призначенням;
- знати загальні вимоги безпеки при використанні матеріалів.

## 1.1. Агрегатні стани речовин

За походженням (генезисом) речовини та матеріали розглядають як природні та штучні.

*Генезис* – походження, виникнення; в широкому сенсі – момент зародження і подальший процес розвитку, що призвів до певного стану, виду, явища.

*Природні матеріали* отримують безпосередньо з природної сировини шляхом механічної обробки, але без зміни початкового хімічного складу та структури. Ці матеріали зберігають основні властивості вихідної сировини. Наприклад, природний пісок, який перед застосуванням тільки очищують від домішок і, в окремих випадках, сортують за розміром зерен.

*Штучні матеріали*, одержувані після спеціальної переробки природної або штучної сировини, за фізико-хімічними властивостями значно відрізняються від вихідної сировини. Так, із глини, що легко розмокає у воді, отримують після формування і випалу водостійкі керамічні матеріали (цегла, облицювальні плитки).

За своїм *агрегатним станом* всі речовини і матеріали існують як тверді, рідкі і газоподібні. Кожен агрегатний стан характеризується певною будовою речовини і відповідає певним властивостям. Четвертим агрегатним станом часто вважають плазму.

*Агрегатні стани речовини* – стани однієї і тієї ж речовини (вода, залізо, сірка та ін.), переходи між якими супроводжуються стрибкоподібною зміною ряду фізичних властивостей (наприклад, густини).

Всі речовини (за деяким винятком) можуть існувати в кожному з трьох агрегатних станів. Реалізація того чи іншого агрегатного стану речовини залежить від фізичних умов, в яких воно знаходиться, головним чином, від температури і тиску. Так, дистильована вода при нормальному тиску  $P = 101325$  Па та при температурі  $t = 0$  °С кристалізується в лід, а при 100 °С кипить та перетворюється у пар.

Зміна агрегатних станів супроводжується підведенням або виділенням енергії, що відповідає переходам відповідно до агрегатних станів з більш високою або більш низькою температурою.

**Твердий стан речовини** – агрегатний стан речовини, що характеризується стабільністю форми. Речовини в твердому стані називають **твердими речовинами**.

Тверді речовини за хімічним складом розглядають як одно- (прості) і двох- (і більше) *компонентні сплави*, а в залежності від внутрішньої будови всі тверді речовини поділяють на *кристалічні* й *аморфні*.

**Компонент** – складова частина, елемент, в даному випадку хімічний.

**Кристалічні речовини** – це речовини в твердому стані, для яких характерна *кристалічна* будова, тобто періодичне тривимірне розташування атомів (молекул).

Кристалічні речовини можуть існувати у вигляді *кристалів*, а також полікристалічних (*полікристалів*), *подібних каменю* і *розпушених агрегатів*.

**Кристали** – стан твердих речовин, які набувають при рівнозначних умовах створення природну форму правильних багатогранників, що відображають симетрію атомної будови та володіють анізотропією фізичних властивостей. Великі поодинокі кристали називаються **монокристалами**.

**Анізотропія** – відмінність значень властивостей (деформаційних, електричних, магнітних, теплових, оптичних та інших) в матеріалі за різними напрямками.

**Полікристали** – агрегати з великої кількості окремих безладно орієнтованих дрібних кристалів (кристалітів), пов'язаних між собою силами зчеплення, які зазвичай слабкіші ніж внутрішньокристалічні. Більшість твердих матеріалів є полікристалами. Такі є, наприклад, технічні метали і сплави, багато матеріалів з гірських порід.

**Подібні каменю** агрегати – це агрегати з великої кількості окремих безладно орієнтованих дрібних кристалів, зв'язок між якими здійснюється в'язкою (цементуючою) речовиною.

Полікристали і подібні каменю агрегати в цілому ізотропні за фізичними властивостями.

**Розпушені (роздільно-зернисті, дисперсні) агрегати** – механічна суміш частинок (шматків, зерен), не пов'язаних між собою. Прикладом розпушених агрегатів є пісок, гравій, цемент.

Розпушені агрегати утворюються в результаті руйнування (розпушування, дроблення, подрібнення) полікристалічних або подібних каменю агрегатів. Розпушення, дроблення і подрібнення характеризують стадії руйнування по крупності одержуваних агрегатів. При цьому подрібнення (диспергування) твердого тіла по суті являє собою поверхневе явище, так як виражається в створенні нової поверхні розділу. При досить великій сумарній поверхні в подрібнених матеріалах процеси розчинення, корозії, випаровування, конденсації, кристалізації визначаються величиною та властивостями цієї поверхні.

**Дисперсність** – характеристика розміру частинок (ступеня подрібнення) будь-якого тіла в дисперсних агрегатах. Міра дисперсності – відношення загальної поверхні всіх частинок до їх сумарного об'єму.

При розмірах частинок 1...100 нм (ультра дисперсний стан) виявляються всі особливості поверхневих станів, так як в даному випадку втрачається поняття обсягу. Ультра дисперсний стан є нерівноважним. Дисперсні частинки можуть утворювати пластівці і зростки, на їх поверхні часто відбуваються хімічні перетворення. Так, диспергування застосовують, наприклад, при підготовці матеріалів для виготовлення виробів за порошковою технологією, у виробництві мінеральних в'язучих речовин, пігментів, наповнювачів полімерних матеріалів та інших.

**Аморфні речовини** – це речовини в твердому стані, будова яких обумовлює ізоτροпію фізичних властивостей і відсутність точки плавлення (перехід з твердого стану в рідкий, відбувається поступово).

У природі аморфна будова речовини менш поширена, ніж кристалічна. Аморфна будова характерна, наприклад, для опалу, обсидіану, бурштину, смоли, бітуму та полімерів.

Кристалічна будова речовини може бути переведена в аморфну будову різними видами фізичного і хімічного впливів. З розчину кристалічної речовини можна отримати висушений гель, з розплаву – скло, з пари – аморфний осад і т.п. Так, з аморфною будовою штучно отриманий ряд металів (металеве скло), а також напівпровідники (аморфні напівпровідники).

Особливим видом стану твердих речовин з аморфною будовою є склоподібний стан.

**Склоподібний стан речовини** – агрегатний стан речовини з аморфною будовою, що формується при затвердінні переохолодженого розплаву та володіє, в результаті поступового збільшення в'язкості, механічними властивостями твердих тіл. Перехід із склоподібного стану у розплав та з розплаву в склоподібний стан характеризується температурним інтервалом. Оборотно́сть цього переходу є особливістю, яка відрізняє склоподібний стан від інших аморфних.

У склоподібному стані може перебувати значна кількість простих речовин (S, Se, As, P); оксидів ( $B_2O_5$ ,  $SiO_2$ ,  $GeO_2$ ); водних розчинів  $H_2O_2$ ,  $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ ,  $H_3PO_4$ ; халькогенідів ряду елементів (As, Ge, P); деяких галогенідів та карбонатів. Багато з цих речовин складають основу складного за складом неорганічного скла.

**Рідкий стан речовини – (рідина)** – агрегатний стан речовини, що має властивість текти і приймати форму судин, в яких вона знаходиться.

Рідинам притаманні деякі риси твердих (вони зберігають свій обсяг, утворюють поверхню, мають певну міцність на розрив) та газоподібних (приймають форму судин, в яких знаходяться; можуть безперервно переходити у газ) речовин; в той же час вони мають ряд тільки їм властивих особливостей, з яких найбільш характерна – плинність.

Рідини можна класифікувати за хімічним складом та фізичною природою.

За хімічним складом розрізняють *однокомпонентні рідини – чисті рідини* та *дво- або багатоконпонентні рідкі суміші – розчини*.

Практично всі рідини, що зустрічаються в природі, являють собою розчини.

**Розчинність** – здатність речовини в суміші з одним або кількома іншими речовинами утворювати однорідні системи – розчини.

Розчинність одного компоненту в іншому відбувається у деяких межах зміни концентрацій. Тверді речовини розчиняються в рідинах тільки до певної концентрації, що залежить від температури та називається концентрацією насичення. Рідини також можуть змішуватися між собою, але не всі рідини розчинні одна в одній та не змішуються між собою необмежено.

Розчини по концентрації розчиненої речовини поділяються на *насичені, ненасичені та пересичені*. Залежно від величини частинок розчиненого компоненту розрізняють *істинні розчини та дисперсні системи*.

**Істинний розчин** – однорідні суміші двох або більшої кількості речовин (компонентів), які рівномірно розподілені в розчині у вигляді окремих атомів, іонів або молекул. Частинки розчиненої речовини перемішуються з молекулами розчинника мимовільно в результаті дифузії. Справжні розчини завжди прозорі та стійкі протягом тривалого часу.

**Розчинники** – неорганічні (головним чином, вода) або органічні (бензол, хлороформ, ацетон, спирти та ін) з'єднання, а також суміші (наприклад, бензин), здатні розчинити різні речовини. Основні вимоги до розчинників – хімічна інертність по відношенню до розчинної речовини, доступність та дешевизна.

**Дисперсні системи** – це суміші, що складаються з великої кількості дрібних часток (дисперсна фаза, розчинена речовина) якої-небудь речовини, що знаходиться в однорідному середовищі іншої речовини (дисперсійне середовище, розчинник). Дисперсні системи характеризуються сильно розвиненою поверхнею розділу між частинками.

Дисперсні системи називаються по-різному в залежності від агрегатного стану розчиненої речовини та розчинника. Так, якщо в твердому розчиннику агрегатний стан розчиненої речовини твердий, рідкий або газоподібний, то такі системи відповідно називаються золам, гелем (пастою) або пемзою. Для рідкого розчинника аналогічні агрегатні стани розчиненої речовини називаються суспензією, емульсією, піною. Для газоподібного розчинника суміші з розчиненою речовиною в твердому або рідкому станах називаються аерозолями.

За величиною частинок (*дисперсності*) розрізняють грубодисперсні та тонкодисперсні (*колоїдні*) системи.

У грубодисперсних системах розміри частинок досить великі (їх можна бачити під мікроскопом); стан грубодисперсної системи нестабільний: відбувається поділ часток в основному під дією сили тяжіння.

**Колоїдними системами** називаються тонкодисперсні суміші молекул розчинника (дисперсійне середовище) з частинками розчиненої речовини розміром 10<sup>-8</sup>...10<sup>-6</sup> мм.

Колоїдні системи займають проміжне положення між істинними розчинами та дисперсними системами. Для колоїдних систем, на відміну від дисперсних, характерний інтенсивний броунівський рух частинок дисперсної фази. Колоїдні системи здатні до набухання, при цьому вони збільшуються в обсязі.

За фізичною природою усі рідини поділяються на *нормальні рідини* та *рідкі кристали*.

**Нормальні рідини** (чисті та розчині) макроскопічно однорідні та ізотропні при відсутності зовнішнього впливу. Їх властивості (теплопровідність, в'язкість, самодифузія та ін.) При нагріванні або зменшенні густини, як правило, змінюються у бік зближення з властивостями газів. Близько до температури кристалізації більшість властивостей нормальних рідин (щільність, стисливість, теплоємність, електропровідність та ін.) близькі до таких же властивостей відповідних твердих речовин.

**Рідкі кристали** – особливий стан рідини з упорядкованою молекулярною будовою, що характеризується анізотропією ряду фізичних властивостей, характерною для твердих кристалів. Кількість хімічних сполук, для яких знайдені рідкі кристали, становить кілька тисяч. Рідкі кристали утворюються також при нагріванні деяких твердих речовин до початку їх плавлення. Рідкі кристали володіють анізотропією пружності, електропровідності, магнітною сприйнятливістю і діелектричною проникністю, оптичною анізотропією та ін.

Анізотропію створює орієнтаційний порядок у розташуванні молекул. Орієнтаційна впорядкованість в рідкому кристалі залежить від стану поверхні та легко змінюється під дією тиску, механічних навантажень, електричних і механічних полів, нагрівання.

Практичне застосування знаходять електрооптичні властивості рідких кристалів. Вони застосовуються в літероо-цифрових індикаторах (електронний годинник, калькулятори та ін.) в різного роду керованих екранах та оптичних електронних приладах.

**Газоподібний стан речовини (газ)** – агрегатний стан речовини, в якому її частки не пов'язані або дуже слабо пов'язані силами взаємодії і рухаються вільно, рівномірно заповнюючи під час відсутності зовнішніх полів увесь наданий їм об'єм. У газоподібний стан можна перевести будь-яку речовину належним підбором тиску та температури. Пряме перетворення речовини з твердого стану в газоподібний називається сублімацією.

**Плазма** – частково або повністю іонізований газ, в якому концентрації позитивних і негативних зарядів практично рівні. Іонізація газу може бути викликана температурним впливом, електромагнітним випромінюванням або бомбардуванням зарядженими частинками. Низькотемпературна плазма ( $T = 106...108 \text{ K}$ ) використовується в газорозрядних приладах (газових лазерах, іонних приладах і т.д.), а також в техніці (плазмових двигунах).



## 1.2. Фізичні властивості матеріалів та їх характеристики

**Фізичні властивості** – внутрішні, властиві даного матеріалу або особливості речовини, що зумовлюють їх відмінність або спільність з іншими речовинами або матеріалами і проявляються, як відповідна реакція на вплив зовнішніх фізичних полів або середовищ.

Властивості матеріалу завжди оцінюють числовими показниками, які встановлюють шляхом випробувань. Для отримання порівнянних даних, якими можна скористатися при виборі та оцінці матеріалів в інженерній практиці, випробування обов'язково проводять одноманітно і відповідно до вимог державних стандартів.

Фізичні властивості, визначені стандартними методами із зазначенням складу, будови і структури, є стандартні довідкові дані речовин і матеріалів. Порядок розробки і атестації стандартних довідкових даних про фізичні константи та властивості речовин і матеріалів встановлено в правилах з міждержавної стандартизації.

### 1.2.1. Маса та густина матеріалів

Маса речовини розглядається як міра її кількості. Таким чином, для однорідної системи маса характеризує число структурних елементів (атомів, іонів, молекул та ін.), що містяться в термодинамічній системі, та її будову. Для неоднорідних речовин адитивність маси дозволяє ввести поняття «*густина*».

**Густина** – міра кількості речовини в одиниці об'єму  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho = m/V.$$

Густина, визначена для однорідних речовин, може розглядатися як *теоретична* або *справжня*. Густину, близьку до теоретичної мають, як правило, метали, рідини, деякі полімери та ін. Для неоднорідних речовин використовують поняття «*об'ємна густина*».

**Об'ємна або середня густина** – величина, що визначається відношенням маси неоднорідної речовини до всього займаного нею об'єму, включаючи наявні у ній пори та порожнечі.

Об'ємну густину  $\rho_{сер}$  обчислюють за формулою

$$\rho_{сер} = m/V_n,$$

де  $V_n$  – обсяг речовини в природному стані.

Для інженерних розрахунків використовуються поняття «*відносна густина*» та «*насипна густина*».

**Відносна густина** являє собою відношення густини речовини  $\rho$  до густини еталонної речовини  $\rho_{ем}$  при певних зовнішніх умовах:

$$P_{від} = \rho / \rho_{ем}$$

Густина твердих і рідких матеріалів зазвичай порівнюють з густиною води при температурі  $4^\circ\text{C}$  ( $1000 \text{ кг/м}^3$ ).

Насипна густина  $\rho_n$  – маса одиниці об'єму вільно насипаних дисперсних матеріалів (наприклад, цемент, пісок, мінеральна вата та ін.)

У таблиці 1.1. представлені середні і справжні густини деяких матеріалів сплавів, будівельних матеріалів (деревини, пластичних мас, гуми).

Таблиця 1.1

### Густини деяких матеріалів

Матеріали	$\rho_{іст},$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{сер},$ г/см <sup>3</sup>	Матеріали	$\rho_{іст},$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{сер},$ г/см <sup>3</sup>
Алюміній	2,7	2,69	Вініпласт	1,5...1,6	1,38...1,45
Вольфрам	19,1	19	Капрон	1,3...1,4	1,1...1,2
Графіт	2,2...2,3	1,9...2,3	Пінопласт	–	0,2...0,4
Залізо	7,8...7,9	7,8	Склопластик	–	1,65...1,78
Золото	19,35	19,30	Бетон	2,5...2,6	2,4...2,6
Мідь	8,93	8,90	Граніт, Базальт	2,7...3,0	2,7
Свинець	11,34	11,34			
Срібло	10,7	10,5	Пісковики	2,6...2,7	2,4
Бронза	–	7,9...9,1	Цегла червона (керамічна)	2,6...2,7	1,6...1,9
Латунь	–	8,2...8,8			
Дуб	1,55...1,6	0,6...0,8			
Модрина	1,55...1,6	0,67	Цегла силікатна	2,6...2,7	1
Ялина	1,5...1,6	0,44...0,6			
Сосна	1,53...1,6	0,4...0,6	Пісок	2,5...2,6	1,5...1,7
Скло	2,65	2,65	Шифер	–	1,6...1,8
Гума	–	1,2	Папір	–	0,7...1

### 1.2.2. Пористість матеріалів

**Пористість** – ступінь заповнення обсягу матеріалу порами. За значенням пористість може виражатися в частках одиниці та в відсотках і визначається за формулою:

$$P = 1 - \frac{\rho_{сер}}{\rho_{іст}} \text{ або } P = \left(1 - \frac{\rho_{сер}}{\rho_{іст}}\right) \cdot 100 \%$$

Експериментально пористість визначається заміщенням порового простору в матеріалі об'ємом рідкого гелію, який має високу проникаючу здатність, а також водою або гасом.

Пори є осередки, які не заповнені структурним матеріалом. За величиною вони можуть бути від мільйонних часток міліметра до декількох міліметрів.

Великі пори, наприклад, між зернами сипучих матеріалів, в пустотілих цеглинах, панелях з залізобетону називають пустотами. Пори зазвичай заповнені повітрям або водою.

Пористість матеріалів коливається в широких межах 0,2...1,8% – у граніту і мармуру; до 75...85% теплоізоляційних матеріалах і понад 90% у пінопластів і мінеральної вати.

Від величини пористості та її характеру залежать найважливіші властивості матеріалів: густина, міцність, довговічність, теплопровідність, водопоглинання, водонепроникність та ін. Відомості про пористості матеріалу

дозволяють визначати доцільні області його застосування. У таблиці 1.2. наведені відомості про пористості деяких матеріалів в повітряно-сухому стані.

Таблиця 1.2

### Пористості деяких матеріалів

Найменування матеріалу	Пористість, %
Бетон: важкий	до 10
легкий	61,5
Цегла: звичайна	32
силікатна	5...10
Природний камінь граніт	1,4
Скло віконне	0
Пінопласт	98
Соснові дошки	67

### 1.2.3. Температурні властивості матеріалів

**Температура** – фізична величина, що характеризує стан термодинамічної рівноваги системи.

Температурний діапазон фізичних явищ виключно широкий: практично від абсолютного нуля температур до  $10^{11}$  К і вище.

Температура тіла незалежно від його маси та хімічного складу характеризує енергію, з якою рухаються молекули. Перехід речовини в агрегатний стан, що відповідає більш високій температурі, вимагає підведення енергії, а перехід в агрегатний стан, що відповідає більш низькій температурі, супроводжується виділенням енергії.

У твердих тілах характер плавлення визначається їх будовою. Так, у кристалічних речовинах плавлення (кристалізація) відбувається при певній, що залежить від зовнішнього тиску *температурі плавлення*  $T_{пл}$ . При цьому в процесі плавлення (кристалізації) температура тіла не змінюється.

Температура плавлення сплавів зазвичай нижча за температуру плавлення найлегкоплавкішого компонента, а температура затвердіння розчину знижується зі збільшенням концентрації розчиненої речовини, і це зниження пропорційне числу розчинених молекул.

Матеріали з переважно аморфною будовою, такі, як скло та високомолекулярні полімери, характеризуються не крапкою, а періодом розм'якшення для якого найнижчою температурою є температура розм'якшення  $T_p$ . Іншою характеризуючою температурою для аморфних матеріалів є температура склування  $T_{ск}$ .

**Температура склування**  $T_{ск}$  – температура оборотного рівноважного фазового переходу речовини в склоподібний стан з переохолодженого розплаву при постійному зовнішньому тиску.

Інтенсивний перехід рідини у пару (пароутворення) у наслідок створення та зростання у рідині пухирців пари (бульбашкового кипіння) або плівки пари на поверхні (плівкове кипіння) називається кипінням та відбувається при певній температурі кипіння  $T_{кип}$ .

**Температура кипіння**  $T_{\text{кип}}$  – температура рівноважного переходу рідини у пару при постійному зовнішньому тиску.

Температура кипіння підвищується зі збільшенням зовнішнього тиску та концентрації розчиненої речовини.

Для рідких високополімерних матеріалів, зокрема, для ідентифікації та оцінки властивостей мастил, мастильних матеріалів та інших характерними є температури *розкладання, займання та загоряння*.

**Температура розкладання** – мінімальна температура оточуючого зразок повітря, при якій із зразку в результаті розкладання виділяється помітна кількість газу.

**Температура займання** – мінімальна температура оточуючого зразок повітря, при якій виділяється достатня кількість горючих газів, здатних спалахнути від внесеного полум'я.

**Температура загоряння** – мінімальна температура оточуючого зразок повітря, при якій за відсутності зовнішнього джерела запалювання виникає самозаймання.

Однією з основних фізичних характеристик матерії, яка визначає її інертні та гравітаційні властивості, є *маса*.

#### 1.2.4. Теплові властивості матеріалів.

**Теплопровідність** – здатність матеріалу передавати через свою товщину тепловий потік, що виникає внаслідок різниці температур на протилежних поверхнях. Теплопровідність характеризується коефіцієнтом теплопровідності.

**Коефіцієнт теплопровідності**  $\lambda$  – відношення добутку кількості теплоти  $Q$ , що проходить через пластинку матеріалу, на товщину пластинки  $h$  до площі пластинки  $S$ , помноженої на різницю температур на її сторонах  $(T_1 - T_2)$ , Вт/(м·К)

$$\lambda = Q \cdot h / S \cdot (T_1 - T_2).$$

Теплопровідність матеріалу залежить від його будови, будови, пористості та характеру пір, від вологості та температури, при якій відбувається передача теплоти. Теплопровідність однорідного матеріалу залежить від густоти (зі зменшенням густоти зменшується теплопровідність).

Теплопровідність характеризує теплофізичні властивості матеріалів, визначаючи їх належність за призначенням до *теплоізоляційних, конструкційно-теплоізоляційних та конструкційних матеріалів*.

Теплопровідність дуже важлива для конструкційно-теплоізоляційних та теплоізоляційних матеріалів, що використовуються в якості стін та перекриттів опалювальних будівель, для ізоляції холодильників різних теплових агрегатів (котлів, тепломереж, тощо). Теплоізоляційні матеріали, в свою чергу, діляться на класи по теплопровідності, Вт/(м·К): А – низької теплопровідності (до 0,058); Б – середньої (0,058...0,116) і В – підвищеної (0,116...0,15).

У табл. 1.3. представлені значення теплопровідності для деяких матеріалів.

## Теплопровідність деяких матеріалів

Матеріали	Коеф. теплопровідності $\lambda$ , Вт/м·°С	Матеріали	Коеф. теплопровідності $\lambda$ , Вт/м·°С
Алюміній	230	Ялина	0,15
Залізо	80	Сосна	0,23
Золото	317	Пінопласт	0,04...0,05
Мідь	401	Полістирол	0,082
Свинець	35	Склопластик	0,3
Срібло	430	Бетон на гравій	1,7
Бронза	135	Граніт, базальт	3,5
Дюралюміній	160	Цегла червона	0,81...0,87
Латунь	110	Цегла силікатна	1,0...1,3
Сталь	52	Шифер	0,35
Скло	1,15	Гума	0,15

Поглинання тепла речовинами та матеріалами зазвичай супроводжується тепловим розширенням.

**Теплове розширення** – здатність матеріалу до зміни форми та розмірів при його нагріванні. Тверді тіла розширюються при нагріванні в усіх напрямках (стрижки та дроти розширюються в основному в довжину).

**Коефіцієнт лінійного розширення твердих тіл  $\alpha$**  – величина зміни лінійного розміру матеріалу при зміні температури на 1 °С, К<sup>-1</sup>:

$$\alpha = \Delta l / (l_1 \Delta T).$$

Коефіцієнт лінійного розширення слабко залежить від температури.

Об'ємне розширення твердих тіл можна розглядати як лінійне розширення в трьох напрямках.

Рідини розширюються у всіх напрямках, причому сильніше твердих тіл.

Коефіцієнт об'ємного розширення рідини  $\beta$  дорівнює відношенню відносного об'ємного розширення  $\Delta V/V_1$  до різниці температур  $\Delta T$ , К<sup>-1</sup>:

$$\beta = \Delta V / (V_1 \Delta T).$$

Виняток серед рідин представляє вода, коефіцієнт об'ємного розширення якої сильно залежить від температури, а в інтервалі 0...4 °С приймає негативне значення.

Гази розширюються при нагріванні значно сильніше, ніж тверді та рідкі тіла, причому при підвищенні температури добуток тиску на обсяг ( $pV$ ) також зростає.

### 1.2.5. Взаємодія матеріалів з водою

У твердих речовинах і матеріалах взаємодія з водою може ґрунтуватися на **капілярних явищах**, тобто фізичних явищах, обумовлених поверхневим натягом на кордоні розділу фаз, які не змішуються.

**Гігроскопічність** – властивість матеріалу поглинати вологу з навколишнього середовища (зазвичай пари води з повітря). Матеріали, що енергійно поглинають молекули води, називають гідрофільними, а матеріали, що відталкують ці молекули – гідрофобними.

**Гідрофільність** – здатність речовини (матеріалу) намокати водою. До гідрофільних матеріалів відносяться, наприклад, глини, силікати.

**Гідрофобність** – нездатність речовини (матеріалу) намокати водою. До гідрофобних матеріалів відносяться, наприклад, багато металів, жири, воски, деякі полімери.

**Водопоглинання (водонасичення)** – властивість матеріалу при безпосередньому зіткненні з водою вбирати і утримувати її в своїх порах. Водопоглинання залежить від наявності в матеріалі відкритої пористості та водорозчинних речовин.

Водопоглинання визначають щодо обсягу або маси матеріалу. Так, водопоглинання за об'ємом  $W_0$  – ступінь заповнення обсягу матеріалу водою, частки од.:

$$W_0 = (V_v - V_c) V_n,$$

де  $V_v$  і  $V_c$  – обсяги зразків матеріалу, відповідно насиченого водою і в сухому стані,  $\text{см}^3$ ;  $V_n$  – обсяг речовини в природному стані,  $\text{см}^3$ .

Зазвичай водопоглинання за об'ємом менше пористості даного матеріалу, так як вода не проникає в дуже дрібні пори, а в дуже великих порах – не утримується.

Водопоглинання щільних матеріалів (сталь, скло, бітум) дорівнює нулю. Пористі матеріали тривалий час не можуть знаходитися в абсолютно сухому або водонасиченому станах, вони набувають певної вологості, що залежить від температури та відносної вологості навколишнього повітря.

### 1.2.6. Звукові характеристики матеріалів.

**Звукопоглинання** – властивість матеріалу поглинати звук. Воно залежить від пористості матеріалу, його товщини, стану поверхні, а також від частоти звукового тону, що вимірюється кількістю коливань в секунду. Звукопоглинання матеріалу оцінюється коефіцієнтом звукопоглинання.

**Коефіцієнт звукопоглинання** – відношення кількості поглинутої звукової енергії до загальної кількості звукової енергії, що падає на матеріал в одиницю часу. Звуковбирними матеріалами прийнято називати такі, коефіцієнт звукопоглинання яких на середніх частотах понад 0,2. Коефіцієнт звукопоглинання залежить від пористості матеріалу. Чим більше відкритих пір (типу стаканчиків) тим коефіцієнт звукопоглинання вище.

**Звукопроникність** – здатність матеріалу пропускати через свою товщу звукову енергію. Властивість матеріалу, зворотня від звукопроникності, називається звукоізоляцією.

Матеріали, що застосовуються в будівельних конструкціях житлових, загальних та виробничих будівель для захисту від шуму поділяють на такі групи: *звукопоглинальні та звукоізоляційні*.

Звукопоглинальні матеріали та вироби підрозділяються на:

- *вироби повної заводської готовності з жорсткою структурою* (плити облицювальні на основі мінеральної вати і крохмального сполучного, плити з пористих бетонів; листи гіпсові обшивальні, плити гіпсові литі);

- *вироби повної заводської готовності з напівжорсткою структурою* (плити акустичні на основі мінеральної вати і синтетичного в'язучого);
- *матеріали, що застосовуються в звукопоглинальних конструкціях в якості складового елемента.*

Матеріали, що застосовуються в якості складового елемента в звукопоглинаючих конструкціях, підрозділяються на:

- *пористі поглиначі* (плити на основі мінеральної вати і синтетичного, бітумного або крохмального в'язучих матеріалів; мати зі скляного волокна або мінеральної вати прошивні; вата мінеральна або скляна);
- *захисні перфоровані покриття* (алюмінієві покриття, акустичні азбоцементні та гіпсові перфоровані плити);
- *захисні оболонки* (поліетилентерефталатна плівка, склотканина).

Звукоізоляційні матеріали прокладок і вироби підрозділяються на:

- *матеріали пористо-волокнисті* (плити на основі мінеральної вати та синтетичних, бітумних або крохмальних в'язучих матеріалів; мати зі скляного волокна або мінеральної вати прошивні; вата мінеральна або скляна, плити деревно-волокнисті);
- *матеріали пористо-губчасті* (плити пінополіуританові, пінополівінілхлорідні та на основі фенолформальдегідних смол);
- *засипання* (спучені перліт і вермикуліт, порошок совелітовий і асбестомагнезіальний та ін.).

### 1.2.7. Механічні властивості

Механічні властивості проявляються як здатність матеріалу чинити опір усім видам зовнішніх механічних впливів.

Механічні дії характеризують по *напрямку, тривалості та області дії*. За напрямком механічні дії можна розглядати як *лінійні* (розтягнення і стиснення) та *кутові* (вигин, кручення). За тривалістю їх поділяють на *статичні та динамічні впливи*. По області дії – на *об'ємні та поверхневі впливи*.

Механічні властивості визначають зміну форми, розмірів та сплосності речовин і матеріалів при механічних впливах, а отже, і результат практично будь-якого механічного впливу на речовини та матеріали, що виникає при їх виробництві та експлуатації (використанні).

До основних механічних властивостей речовин та матеріалів відносяться *пружність, жорсткість, еластичність, пластичність, міцність, крихкість, в'язкість та твердість*.

**Пружність** – властивість матеріалів мимовільно відновлювати свої форму і об'єм (тверді речовини) або тільки об'єм (рідини і гази) при припиненні зовнішніх впливів. Пружність обумовлена взаємодією між атомами (молекулами) речовини та їх тепловим рухом.

**Модуль пружності** (модуль Юнга) характеризує міру жорсткості матеріалів, тобто його здатність чинити опір пружній зміні форми та розмірів при додатку до нього зовнішніх сил. Модуль пружності  $E$  пов'язує пружну відносну деформацію  $\varepsilon$  та одновісну напругу  $\sigma$  співвідношенням, що виражає закон Гука:

$$\varepsilon = \sigma / E.$$

Існує пряма залежність модуля пружності від виду та енергії хімічних зв'язків, що діють між атомами та молекулами цього матеріалу. Матеріали з високою енергією міжатомних зв'язків характеризуються і великим модулем пружності.

В якості міри здатності матеріалів або виробів змінювати розміри та форму при заданому типі навантаження використовуються поняття еластичність та жорсткість.

**Еластичність** – здатність матеріалу або виробу зазнавати значних змін розмірів і форми без руйнування при порівняно невеликій діючій силі.

**Жорсткість** – здатність матеріалу або виробу до меншої зміни розмірів і форми при заданому типі навантаження: чим більше жорсткість, тим менше зміни.

**Пластичність** – здатність твердих матеріалів зберігати зміненими форму та об'єм без мікроскопічних порушень суцільності після зняття механічних навантажень, які викликали ці зміни. Пластична деформація пов'язана з розривом деяких міжатомних зв'язків і утворенням нових.

Пластичність виявляється у деталях конструкцій та споруд, заготовках при обробці тиском (прокатці, штампуванні та ін.), у пластах земної кори. Пластичність визначає можливість технологічних операцій обробки матеріалів тиском. Облік пластичності дозволяє визначати запаси міцності, здатності до деформації та стійкості, розширює можливості створення конструкцій мінімальної ваги.

**Механічна міцність** твердих речовин – властивість чинити опір руйнуванню (поділу на частини), а також незворотній зміні форми при механічних впливах. Міцність твердих речовин обумовлена, в кінцевому рахунку, силами взаємодії між складовими їх структурними одиницями (атомами, іонами та ін.).

**Крихкість** – властивість твердих речовин руйнуватися при механічних впливах без істотних попередніх змін форми та об'єму.

Крихкість матеріалів слід розглядати в зв'язку з умовами їх використання. Наприклад, досить пружний матеріал – мармур, крихкий при розтягуванні, в умовах несиметричного тривісного стиску поводить себе як пластичний матеріал.

**В'язкість** (внутрішнє тертя) – здатність матеріалів чинити опір дії зовнішніх сил, що викликає:

- в твердих речовинах – поширення вже наявної гострої тріщини (руйнування);

- в рідинах й газах – перебіг.

Внутрішнє тертя в твердих тілах, проявляється як здатність незворотно поглинати енергію, отриману тілом в результаті зовнішньої дії, наприклад, перетворювати в теплоту, механічну енергію, що надається.

В'язкість рідин залежить від хімічного складу та будови молекул (макромолекул) і зростає зі збільшенням молекулярної маси. Виникнення в дисперсних системах або розчинах полімерів достатньо просторових структур,



що утворюються при зчепленні частинок або макромолекул, викликає різке підвищення в'язкості.

В'язкість газів не залежить від їх щільності (тиску). Для дуже розріджених газів поняття в'язкості втрачає сенс.

**Твердість** – властивість матеріалів чинити опір контактному впливу в поверхневому шарі (вдавленню або дряпанню). Особливість цієї властивості полягає в тому, що вона реалізується тільки в невеликому обсязі речовини. Твердість – складна властивість матеріалу, що відбиває одночасно його міцність та пластичність.

При оцінці механічних властивостей матеріалів, їх розрізняють по групах, що характеризують умови випробувань:

1 - *стандартні механічні властивості*, які визначаються стандартними випробуваннями стандартних (гладких) зразків, що не залежать від конструктивних особливостей і характеру служби виробів;

2 - *критерії конструктивної міцності* (працездатності в умовах експлуатації) матеріалу, що визначаються стандартними випробуваннями гладких або з гострими тріщинами зразків;

3 - *критерії конструкційної міцності* виробу в цілому, визначаються при стендових, натурних і експлуатаційних випробуваннях.

**Межа міцності (тимчасовий опір)  $\sigma_m$**  – величина напруження, відповідного найбільшому навантаженню, що приводить до руйнування зразка. Значення межі міцності, істотно залежить від характеру та параметрів деформації, а також від температури, тиску, наявності хімічно агресивного середовища. Однак для практики важливо, що існує майже постійне граничне значення напруги  $\sigma_n$ , вище якого зразок руйнується практично миттєво.

Величина механічних характеристик істотно залежить від таких зовнішніх і внутрішніх факторів, як хімічний склад матеріалу, вид попередніх впливів (наприклад, деформація), стан поверхні, температура, наявність хімічно агресивного середовища та ін. Так, при підвищенні температури характеристики міцності сильно знижуються, і межа плинності при температурі плавлення прагне до нуля; чим нижче температура плавлення сплаву, тим при більш низьких температурах настає різке падіння міцності. Зниження температури обумовлює перехід від в'язкого руйнування до крихкого.

### 1.2.8. Електричні властивості

**Електричні властивості** – сукупність властивостей, які характеризують здатність речовин та матеріалів проводити електричний струм в електричному полі.

До електричних властивостей, найбільш широко використовуваним для дослідження матеріалів (особливо металевих) та оцінки можливості їх практичного застосування, в першу чергу, відноситься питома електропровідність  $\gamma$  і зворотна їй величина – питомий електричний опір  $\rho$ , а також температурний коефіцієнт питомого електроопору  $\alpha_{\rho_0}$ .

**Електропровідність** (електрична провідність) – здатність матеріалу пропускати електричний струм під впливом електричного поля, а також фізична величина, що кількісно характеризує цю здатність.

Електропровідність визначається наявністю рухомих носіїв заряду. Механізми переносу заряду при різних агрегатних станах речовини сильно розрізняються. Однак величина заряду, що переноситься завжди дорівнює цілому числу елементарних електричних зарядів.

**Електричний опір** (електроопір) – властивість матеріалу, що визначає силу його протидії електричному струму при заданій напрузі електричного поля.

**Питомий електричний опір** – характеристика, що застосовується для оцінки електроопору,  $\text{Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$  (в одиницях СІ  $\text{Ом}\cdot\text{м}$ ).

$$\rho_0 = R \cdot S / l,$$

де  $R$ ,  $S$  та  $l$  – відповідно електричний опір, площа і довжина провідника електричного струму.

У табл. 1.4. представлені значення питомих електричних опорів для деяких металів і сплавів.

Всі матеріали, що застосовуються в техніці, за своїми електричними властивостями розділяють на три групи: *провідники*, *напівпровідники* та *діелектрики*. Розрізняються ці матеріали за величиною електроопору, за характером його температурної зміни та по типу провідності. Різкого розмежування між діелектриками та напівпровідниками провести не можна. За величиною питомого електроопору прийнято наступний розподіл:

- провідники –  $10^{-5} \dots 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$  та менше;
- напівпровідники -  $10^{-6} \dots 10^7 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;
- діелектрики –  $10^7 \dots 10^{18} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Таблиця 1.4

**Питомі електричні опори для деяких металів та сплавів**

Метал, сплав	$\rho$ , $\text{Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$	Метал, сплав	$\rho$ , $\text{Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$
Срібло	0,016	Платина	0,107
Мідь	0,0172	Свинець	0,205
Золото	0,023	Титан	0,55...0,78
Алюміній	0,0271	Сталь	0,14
Молібден	0,054	Константан	0,5
Вольфрам	0,055	Манганін	0,43...0,51
Цинк	0,059	Ніхром	1,05...1,4
Нікель	0,087	Хромель	1,3...1,5
Залізо	0,098	Латунь	0,07...0,08

Електричний опір у діелектриків та напівпровідників з підвищенням температури зменшується, а у провідників – зростає. У деяких металів при зовнішніх впливах (наприклад, при зменшенні температури) опір стрибком зменшується практично до нуля (явище *надпровідності*).

Характер зміни електричних властивостей різних матеріалів при зовнішніх впливах можна пояснити, якщо розглянути, що є в них носієм зарядів.

Провідники по типу носіїв зарядів діляться на електронні (метали та сплави), іонні (електроліти) та змішані, де має місце рух як вільних електронів, так й іонів (наприклад, плазма). Чисті метали мають малий коефіцієнт електроопору ( $\rho_0 = 0,015 \dots 0,105 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ ). Винятком є ртуть, у якій питомий електроопір становить  $0,943 \dots 0,952 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ . Сплави мають більш високі значення питомого електроопору ( $\rho_0 = 0,30 \dots 1,8 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ ). До групи сплавів з підвищеним питомим опором ставляться жаро- та корозійностійкі сплави, які застосовуються в електронагрівальних приладах і реостатах.

Для напівпровідників носіями зарядів є електрони провідності (електронна провідність n-типу) та дірки (діркова провідність p-типу). Електронами провідності є електрони, що здатні переміщуватися по кристалу. Дірка – електронна вакансія у кристалі напівпровідника, що володіє рухливістю. Дірки – позитивно заряджений носій струму в напівпровіднику.

У чистому напівпровіднику, провідність якого обумовлена тепловим збудженням, однакове число електронів та дірок рухається в протилежних напрямках (власна провідність). Власна провідність зростає при підвищенні температури.

Електрони провідності в напівпровідникових матеріалах можуть утворитися під дією світла (*внутрішній фотоефект*). При досить великій енергії світлового потоку провідність напівпровідникових матеріалів зростає. Технічне застосування: фотосупротиву.

Провідність напівпровідника можна збільшити додаванням атомів інших елементів (легуванням), при цьому виникає домішкова провідність. Домішкова провідність може бути обумовлена електронами або дірками. При цьому в одному і тому ж зразку напівпровідникового матеріалу одна ділянка може мати p-провідність, а інша – n-провідність. P-n – перехід працює як випрямляч, пропускаючи струм лише з p-області в n-область. Напівпровідниковий матеріал з p-n-переходом називають діодом, який використовується для випрямлення змінного струму.

Тверді діелектричні матеріали (*полімери, кераміка, неорганічне скло та ін.*) поділяють на неполярні та полярні діелектрики.

**Неполярні діелектрики** можуть мати молекулярну (поліетилен, фторопласт-4 та ін.) або іонну кристалічну (слюда, кварц та ін.) будову. Молекулярні діелектрики складаються з електрично нейтральних молекул, які до впливу на них електричного поля не мають електричних властивостей. Іонні кристалічні діелектрики утворені парами іонів, причому кожна пара становить нейтральну частку. Іони розташовуються у вузлах кристалічної решітки.

**Полярні діелектрики** (наприклад, полівінілхлорид) складаються з полярних молекул – диполів. Електричні диполі являють собою пари зарядів протилежних знаків, які взаємно врівноважуються і знаходяться на деякій відстані один від одного.

## 1.2.9. Магнітні властивості

Магнітний стан речовин визначає магнетизм.

**Магнетизм** – особлива форма взаємодії, здійснюваної магнітним полем, між рухомими електрично зарядженими частинками (тілами) або частками (тілами) з магнітним моментом.

**Магнітний момент**  $M$  – векторна величина, що характеризує речовину, як джерело магнітного поля. Повний магнітний момент вільного атома дорівнює геометричній сумі орбітальних і спінових моментів всіх його електронів. Впорядковано орієнтовані магнітні моменти атомів речовини створюють макроскопічний магнітний момент.

Характеристикою магнітного стану речовини є **намагніченість**  $J$ , яка визначається як відношення магнітного моменту  $M$  речовини до його об'єму  $V$ . При цьому досягнення максимально можливого для даної речовини значення намагніченості  $J_{\infty}$  називається **магнітним насиченням**.

Сукупність атомів з впорядковано орієнтованими магнітними моментами може утворити самостійний елемент структури речовини – домен.

**Домен** – елемент субструктури хімічно однорідної речовини, що характеризується спонтанною (мимовільною) намагніченістю. Зазвичай домени мають розміри  $10^{-5} \dots 10^{-2}$  см і доступні безпосередньому спостереженню.

Речовини у відповідності зі схемами орієнтації магнітних моментів їх атомів класифікуються по магнітному стану на **парамагнетики**, **феромагнетики**, **антиферомагнетики** та **феримагнетики** (рис. 1.2).

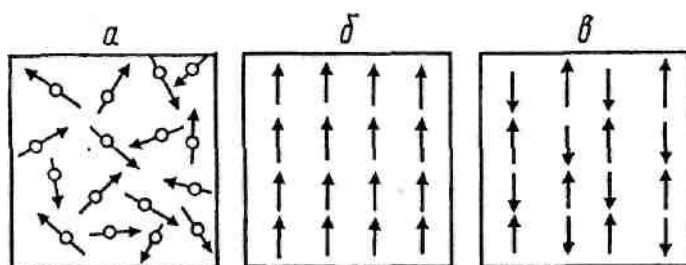


Рис. 1.2. Схеми орієнтації магнітних моментів атомів для парамагнетиків (а), феромагнетиків (б), антиферомагнетиків (в)

**У парамагнетиків** магнітні моменти атомів всередині кожного домену орієнтовані хаотично та взаємно компенсують один одного, тому матеріал в цілому не намагнічений. Парамагнетиками є всі перехідні метали з недобудованими  $f$ - та  $d$ -електронними оболонками; лужні та лужноземельні метали, ряд солей Fe, Co, Ni та рідкоземельних елементів; водні розчини солей, що містять іони перехідних елементів; з газів – кисень  $O_2$ .

**У феромагнетиків** всередині кожного домену магнітні моменти атомів розташовані паралельно один одному в одному напрямку, і тому кожен домен спонтанно намагнічений до величини магнітного насичення. Вектори намагніченості доменів феромагнетиків за відсутності зовнішнього магнітного

поля орієнтовані таким чином, що результуюча намагніченість зразку в цілому, як правило, дорівнює нулю.

Феромагнетизм проявляється в кристалах Fe, Co, Ni, ряді рідкоземельних металів (Gd, Dy, Er та ін.), у сплавах та з'єднаннях за участю цих елементів, а також у сплавах Cr, Mn та у з'єднаннях U. Особливу групу феромагнетиків утворюють сильно розбавлені розчини заміщення парамагнітних атомів (наприклад, Fe або Co) у діамагнітній матриці Pd. Феромагнітні властивості виявлені також в металевому склі та аморфних напівпровідниках.

У деяких речовин більш вигідним є антипаралельне впорядкування магнітних моментів у доменах. В цьому випадку домен складається з двох підрешиток з протилежною орієнтацією магнітних моментів атомів. Якщо магнітні моменти двох підрешиток скомпенсовані, то такі речовини називають антиферомагнетиками, а якщо не скомпенсовані, то виникає результуючий магнітний момент, і такі тіла називають феримагнетиками. Антиферомагнітні матеріали відносяться до групи парамагнетиків, а феримагнітні – до групи феромагнетиків.

До антиферомагнетиків відносяться ряд елементів (твердий кисень, Cr,  $\alpha$ -марганець та ін.) та близько тисячі відомих хімічних сполук металів (NiF<sub>2</sub>, FeO та ін.). Значна частина феримагнетиків – це діелектричні або напівпровідникові іонні кристали, що містять магнітні іони різних елементів або одного елемента, але знаходяться у різних кристалографічних позиціях (в нееквівалентних вузлах кристалічної решітки). До феромагнетиків відносяться також ряд впорядкованих металевих сплавів, інтерметаліди та, головним чином, різні оксиди, в тому числі ферити.

Речовини навіть одного й того ж хімічного складу в залежності від кристалічної будови та фазового складу можуть знаходитися в різних магнітних станах. Наприклад, Fe, Co, Ni з кристалічною будовою нижче певної температури (крапка Кюрі) мають феромагнітні властивості, а вище цієї температури вони парамагнітні. Перехід з парамагнітного стану в антиферомагнітний переходить при зниженні температури.

Всі матеріали по величинам магнітної сприйнятливості і проникності діляться на *феромагнітні* ( $\mu \geq 1, \kappa > 0$ ); *парамагнітні* ( $\mu > 1, \kappa > 0$ ) та *діамагнітні* ( $\mu < 1, \kappa < 0$ ).

Величина магнітної сприйнятливості капа для пара- та діамагнітних матеріалів дуже мала ( $10^{-4} \dots 10^{-6}$ ); для феромагнітних матеріалів (металів перехідних груп) – від декількох десятків до тисяч одиниць, причому вона сильно і складним чином залежить від напруги поля, що намагнічує.

За величиною магнітної проникності існує поділ електротехнічних матеріалів на немагнітні та магнітні.

**Немагнітні матеріали** – пара-, діа- і слабоферомагнітні матеріали з магнітною проникністю менше 1,5. До немагнітних матеріалів відносяться більшість металів і сплавів (в тому числі деякі сталі), полімери, деревина, скло і т.д.

**Магнітні матеріали** класифікують за їх фізичною природою та величиною коерцитивної сили.

За фізичною природою магнітні матеріали поділяють (галузевий розподіл) на три групи: *металеві матеріали, неметалеві матеріали та магніодіелектрики.*

До неметалевих магнітних матеріалів відносяться ферити – феромагнітні матеріали, що отримуються з порошкоподібної суміші оксидів деяких перехідних металів та оксиду заліза шляхом пресування з подальшим спіканням. За магнітними властивостями ферити аналогічні феромагнетикам.

**Магніодіелектрики** – композиційні матеріали, що складаються із 70...80% порошкоподібного магнітного матеріалу (феро або феромагнетика) та 30...20% діелектричного матеріалу (наприклад, полістиролу, гуми та ін.). Магніодіелектрики застосовуються в приладобудуванні (постійні магніти, еластичні герметизатори для роз'ємних з'єднань та ін.).

Ферити та магніодіелектрики відрізняються від металевих магнітних матеріалів високими значеннями об'ємного питомої опору ( $\rho_0=10...10^8 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ ), що різко знижує втрати на вихрові струми. Що дозволяє використовувати ці матеріали в техніці високих частот. Крім того, ферити мають стабільність своїх магнітних характеристик в широкому діапазоні частот.

За величиною коерцитивної сили магнітні матеріали поділяються на матеріали:

- *магнітно-м'які* – не більше 4 кА/м;
- *магнітно-тверді* (магнітно-жорсткі) – понад 4 кА/м.

**Магнітно-м'які** матеріали намагнічуються до насичення і перемагнічуються у відносно слабких магнітних полях напругою  $H = 8...800 \text{ А/м}$ . При температурах нижче крапки Кюрі ці матеріали спонтанно намагнічені, але зовні не виявляють магнітних властивостей, так як складаються з хаотично орієнтованих намагнічених до насичення доменів. Магнітно-м'які матеріали мають відносно великі значення магнітної проникності, малу коерцитивну силу та відносно велику індукцію насичення. Ці матеріали відрізняються малими втратами на гістерезис і вихрові струми на один цикл намагнічування.

До магнітно-м'яких матеріалів відносяться: чисте (електромагнітне) залізо, листові електротехнічна сталь, залізо-армко, пермаллої (залізонікелеві сплави) та ін.; металеве скло та деякі ферити. До магнітно-м'яких матеріалів спеціального призначення відносяться термомагнітні сплави та магніострикційні матеріали.

Магнітно-м'які матеріали застосовуються для виготовлення магнітопроводів трансформаторів, електричних машин та апаратів, магнітних екранів та ін., де потрібне швидке намагнічування з малими втратами енергії. Термомагнітні матеріали служать для компенсації температурних змін магнітних потоків у магнітних системах приладів, а магніострикційні матеріали – для перетворення електромагнітної енергії в механічну.

**Магнітотверді** матеріали намагнічуються до насичення та перемагнічуються у порівняно сильних магнітних полях, напруженістю в тисячі та десятки тисяч А/м. Вони відрізняються широкою гістерезисною петлею, тобто мають велику коерцітивну силу та велику залишкову індукцію. Ці матеріали, перебуваючи намагніченими, можуть тривалий час зберігати надавану їм енергію, тобто можуть служити джерелами постійного магнітного поля. Магнітно-тверді матеріали оцінюють ще величиною максимальної питомої енергії  $W_m$  (енергії, створеної магнітом у повітряному зазорі в режимі намагнічування між полюсами магніту і віднесена до одиниці об'єму магніту):  $W_m = BH/2$ , Дж/м<sup>3</sup>.

До металевих магнітно-твердих матеріалів відносяться легуючі сталі, загартовані на мартенсит; спеціальні сплави на основі Fe-Ni-Al та Fe-Ni-Co, легованих міддю, титаном, ніобієм та ін. Велике значення в техніці надбали порошкові сплави та ферити. Як магнітно-тверді матеріали використовуються також *магнітопласти* та *магнітоеластичні* з порошків сплавів та феритів із в'язкою з пластмас і гуми.

Магнітотверді матеріали застосовуються для виготовлення постійних магнітів.

### 1.2.10. Технологічні властивості

Технологічні властивості матеріалів визначають можливість виготовлення продукції при використанні цього матеріалу (сировини). При цьому матеріал повинен задовольняти вимогам мінімальної трудомісткості при виготовленні.

До технологічних властивостей матеріалів відносять властивості, що визначають можливості їх лиття, оброблюваність тиском та різанням, зварюваність, сприйнятливості до зміцнення, загартування та ін.

Розглянемо найбільш поширені технологічні властивості.

**Ливарні властивості** визначаються сукупністю показників, що включають у себе: температури плавлення, кипіння, заливки та кристалізації; гуснину та вологоплинність розплаву; ливарну усадку та ін. Ливарна усадка – це типова технологічна властивість.

**Оброблюваність тиском** в гарячому та холодному стані оцінюють: різними технологічними пробами (на осадку, вигин, витяжку сферичної лунки та ін.); характеристиками пластичності, твердості та зміцнення матеріалу при температурі обробки. Серед характеристик оброблюваності тиском використовують, наприклад, гнучкість.

**Гнучкість** – здатність металів і сплавів піддаватися куванню і інших видів обробки тиском (прокатці, волочінню, пресуванню, штампуванню). Характеризується пластичністю та опором деформації.

**Оброблюваність різанням** металів та сплавів оцінюється швидкістю затуплення різця при точінні на заданих режимах різання з забезпеченням необхідних параметрів шорсткості поверхні та виражається у відсотках від оброблюваності стандартного матеріалу. На підставі даних про оброблюваність

різних матеріалів складаються нормативи режимів різання або рекомендації по вибору режимів різання для конкретних умов обробки.

*Оброблюваність каменю* оцінюється їх піддатливістю до механічних, термічних, електричних та інших впливів для додання їм необхідної форми, розмірів та фактури. У якості показника оброблюваності каменю використовують коефіцієнт оброблюваності, що є відношенням трудовитрат при обробці одиниці продукції з даного виду каменю до аналогічного показника, що відповідає еталонному матеріалу. Залежно від виду впливу виділяють конкретні характеристики оброблюваності: пилимість, полірованість, стираність, шліфуємість та ін. Загальноприйнятого методу оцінки оброблюваності каменю не існує.

*Зварюваність* – здатність матеріалу утворювати нероз'ємні з'єднання з необхідними механічними характеристиками. Її оцінюють порівнянням властивостей основного матеріалу з властивостями зварних з'єднань, кількістю способів зварювання, діапазоном допустимих режимів зварювання та ін. Для технологічної оцінки зварюваності визначають структуру, механічні властивості та схильність до утворення тріщин матеріалу шву та навколошовної зони.

*Надійність зварного з'єднання* – це властивість зварних ділянок витримувати протягом тривалого часу комплексне навантаження, яке зазвичай впливає на відповідну деталь або зварену конструкцію. Випробування проводять на спеціальних зразках, а найбільш жорсткі умови випробувань створюються шляхом вибору відповідної форми зразку та типу навантаження.

Випробування технологічних властивостей (технологічні іспити) відносяться до найстаріших видів випробувань матеріалів. Відмінною їх рисою є визначення можливості застосування матеріалу в даному способі виробництва або для спеціальних цілей використання. При цьому, на відміну від інших методів випробування, визначаються не окремі значення властивостей з мінімальною похибкою вимірювання, а оцінюється загальний стан матеріалу.

З підвищенням ступеня стандартизації для методів технологічних випробувань на даний час встановлені чітко визначені норми, які пов'язані з тією чи іншою технологією виробництва. Інформацію про метод технологічного випробування для конкретного матеріалу можна отримати в щорічному Маркері державних стандартів.

### **1.2.11. Споживчі властивості**

Споживчі властивості матеріалів визначають можливість їх використання при максимальній працездатності в умовах експлуатації або споживання.

Перелік та величина споживчих властивостей в обов'язковому порядку встановлюються в державних стандартах, що створює законодавчі основи гарантії якості та безпеки використовуваних речовин та матеріалів. Для кожного матеріалу перелік споживчих властивостей, називається



**Номенклатурою показників якості**, встановлюється в стандартах державної системи «Система показників якості».

Показниками якості можуть бути як показники фізичних властивостей, величина яких визначена в стандартних умовах, так і специфічні показники, що визначають можливість максимальної працездатності матеріалу в умовах експлуатації або споживання.

Показники якості в номенклатурі показників якості розподілені за такими групами: *призначення, надійність, ергономічність та естетичність, технологічність, уніфікація, стандартизація, патентно-правові показники, екологічні показники, безпека, транспортабельність*.

Групою показників якості, що має соціальне й техніко-економічне значення, є *надійність*.

**Надійність** – властивість об'єкта зберігати у часі й в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах й умовах застосування, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування.

До групи показників надійності входять такі характеристики, як *довговічність, збереженість, безвідмовність, ремонтпридатність* та ін. На матеріали поширюються в основному такі показники надійності, як *довговічність та збереженість*.

**Довговічність** – властивість матеріалу зберігати працездатність до граничного стану, яке визначається ступенем руйнування, вимогами безпеки або економічними міркуваннями.

Споживчі властивості матеріалів, використовувані для оцінки їх довговічності, можна розділити по області застосування на дві групи:

1) властивості, що дозволяють оцінити міцність, твердість або зміну форми виробу при впливі навколишнього середовища (потоків мас та випромінювань, агресивності середовища і т. п.);

2) властивості, що використовуються для оцінки наслідків механічних впливів на показники міцності матеріалів, в тому числі при різних параметрах навколишнього середовища.

Для властивостей першої групи в їх найменуванні традиційно використовується слово «стійкість». Так, для оцінки міцності при впливі навколишнього середовища використовуються терміни *атмосферо-, світло-, хімічна, радіаційна, водо-, вогні-, жаро-, термо-, морозо-, холодо-* та ін., а для оцінки твердості – *червоностійкість*. Для оцінки здатності зберігати форму при впливі навколишнього середовища використовують терміни *вогнетривкість і теплостійкість*.

**Атмосферостійкість** – здатність матеріалу чинити опір руйнуючій дії сонячних променів, дощу, морозу, снігу, вітру та інших атмосферних факторів, наприклад газів і пилу, що забруднюють нижні шари атмосфери.

**Світлостійкість** – здатність матеріалу зберігати свої фізико-хімічні властивості під дією світлових променів.

**Хімічна стійкість** – здатність матеріалу чинити опір дії кислот, лугів, газів та розчинів солей.

Не здатні чинити опір дії навіть слабких кислот карбонатні природні кам'яні матеріали – вапняк, мармур, доломіт; не стійкий до дії концентрованих лугів бітум. Найбільш стійкими матеріалами по відношенню до дії кислот та лугів є керамічні матеріали та вироби, а також багато виробів на основі пластмас.

**Радіаційна стійкість** – властивість матеріалу зберігати свої структуру і властивості після впливу іонізуючих випромінювань. Для порівняльної оцінки використовується «товщина шару половинного ослаблення», рівна товщині шару захисного матеріалу, необхідної для ослаблення інтенсивності випромінювання у два рази.

**Водостійкість  $W$**  – здатність матеріалів зберігати необхідні властивості міцності при дії води. Водостійкість матеріалу характеризується коефіцієнтом розм'якшення.

**Коефіцієнт розм'якшення  $K_p$**  – відношення міцності матеріалу, насиченого водою, до міцності сухого матеріалу.

Матеріали, у яких коефіцієнт розм'якшення більше 0,75, називаються водостійкими.

**Вогнестійкість** – здатність матеріалів зберігати необхідні експлуатаційні властивості при дії високих температур, полум'я та води в умовах пожежі протягом певного часу. Вона залежить від згоряння матеріалу, тобто від його здатності запалюватися та горіти.

Вогнестійкість виражається добутком втрат маси  $\Delta m$  (мг) на шляху поширення полум'я  $s$  (мм), яке визначає ступінь згоряння від 0 (повністю горючі матеріали) до 5 (негорючі матеріали). Для вимірювання цієї характеристики зразок прикладають до розпеченого стрижня ( $T = 1223$  К) на встановлений час, а потім, загасивши сухим способом полум'я, визначають втрату маси  $\Delta m$ . Шлях полум'я  $s$  визначають як різницю між вихідною довжиною зразка та довжиною його частини, на якій не виявлено обвуглювання, оплавлення або розкладання.

За вогнестійкістю матеріали класифікуються на *вогнетривкі*, *важко горючі* та *горючі* матеріали.

Вогнетривкі матеріали під дією вогню або високої температури не горять й не обвуглюються (сталь, бетон, цегла та ін.). Однак необхідно враховувати, що деякі матеріали при пожежі розтріскуються (граніт) або сильно деформуються (метали) при температурі, починаючи з 600 °С, тому конструкції з подібних матеріалів доводиться захищати більш вогнестійкими матеріалами. Важко горючі матеріали (асфальтобетон, фіброліт, деякі пінопласти та ін.) під впливом вогню або високої температури тліють, але після припинення дії вогню їх горіння і тління припиняються. Горючі (як правило, органічні) матеріали горять відкритим полум'ям та продовжують горіти після видалення джерела вогню.

**Жаростійкість:** 1) для металевих матеріалів здатність протистояти хімічному руйнуванню поверхні під дією повітря чи іншого окисного газового середовища при високих температурах; 2) для інших конструкційних матеріалів

(наприклад, бетону) – здатність зберігати або лише незначно змінювати механічні властивості при високих температурах.

Для чавунів, скла та керамічних виробів (головним чином, вогнестійких) використовується поняття *термостійкість*.

**Термостійкість** – (термічна стійкість) – здатність крихких матеріалів протистояти, не руйнуючись, термічним напруженням. Термостійкість визначається перепадом температур при загартуванні до кімнатної температури, при якому ще не настає руйнування матеріалу, або кількістю теплосмін (циклів нагріву й охолодження), що витримуються таким зразком (виробом), до появи тріщин.

**Морозостійкість** – властивість насиченого водою матеріалу витримувати багаторазову кількість циклів поперемінного заморожування та відтавання без помітних ознак руйнування та без значного зниження міцності. Морозостійкість матеріалу кількісно оцінюється маркою по морозостійкості (наприклад, F50). За марку матеріалу по морозостійкості приймають найбільшу кількість циклів поперемінного заморожування та відтавання, яку витримують зразки матеріалу без зниження міцності на стиск більше 15 %; зразки після випробувань не повинні мати видимих пошкоджень – тріщин, фарбування (втрата маси не більше 5 %). Від морозостійкості залежить довговічність будівельних матеріалів у конструкціях, що піддаються дії атмосферних факторів та води.

**Холодостійкість** – здатність високополімерних матеріалів чинити опір низьким температурам. За холодостійкість приймається негативна температура, при якій після встановленого часу витримки на зразках матеріалу з'являються ознаки їх механічного руйнування (тріщини та ін.).

**Червоностійкість** – здатність сплаву зберігати при нагріванні до температур червоного розжарення (зазвичай 600...650 °С) високу твердість та зносостійкість. Підвищена червоностійкість – характерна властивість інструментальних сталей.

**Вогнетривкість** – здатність деяких матеріалів (головним чином, вогнетривів) протистояти, не розплавляючись та не деформуючись, впливу високих температур (від 1580 °С та вище). Матеріали за ступенем вогнетривкості поділяють на вогнетривкі (від 1580 °С), тугоплавкі (1350...1580 °С) та легкоплавкі (менше 1350 °С).

**Вогнетриви** – матеріали та вироби переважно з мінеральної сировини, що мають вогнетривкість не нижче 1580 °С. Розрізняють вироби вогнетривкі (вогнетривкість 1580...1770 °С), високовогнетривкі (1770...2000 °С) та вищої вогнетривкості (понад 2000 °С). Застосовуються для кладки промислових печей для отримання й плавки металів (близько 60% споживання вогнетривів), отримання коксу, випалу цементу, в енергетичних установках, топках та інших теплотехнічних агрегатах.

Для високомолекулярних полімерних матеріалів визначається теплостійкість. **Теплостійкість** характеризують температурою, при якій настає ще допустима для даного виробу зміна форми. Споживчі властивості другої групи дозволяють дати оцінку роботи матеріалів в умовах, максимально

наближених до умов експлуатації, тобто з урахуванням різного роду механічних впливів на них, у тому числі в агресивних середовищах. Серед таких властивостей – *релаксація напружень, повзучість, втома, витривалість*. Велике значення мають такі характеристики споживчих властивостей, як *живучість, тривала міцність, жароміцність, стираність та збереженість*.

**Релаксація напружень** – процес зменшення у часі напруг деформації матеріалу в результаті переходу пружної деформації в пластичну за умови сталості загальної деформації. Механізм релаксації може бути дислокаційним, дифузійним та змішаним при спільному розвитку процесів руху дислокацій та дифузії атомів. Релаксація напружень спостерігається, наприклад, у попередньо напруженої арматури в період виготовлення залізобетонних конструкцій.

**Повзучість** – повільна безперервна пластична деформація матеріалів під дією постійного навантаження або механічних напружень. Під дією тривало прикладеного навантаження може розвиватися значна деформація, наприклад, несучої конструкції, а іноді й її руйнування.

До повзучості в тій чи іншій мірі схильні всі тверді тіла – як кристалічні, так і аморфні, що піддаються будь-якому виду навантаження. Повзучість може реалізуватися від криогенних температур до температур, близьких до температур плавлення. Так, в металах найбільш сильний ефект повзучості спостерігається при температурі, що дорівнює  $0,4 T_{пл}$ . Оскільки деформація та повзучість збільшуються зі зростанням температури, то її шкідливі наслідки особливо проявляються при підвищених температурах. Механізм повзучості: ковзання дислокацій та спрямована дифузія.

Повзучість описується кривою повзучості, яка являє собою залежність деформації від часу при постійних температурі та прикладеному навантаженню (або нарузі). Крива повзучості має однаковий вигляд для широкого кола матеріалів – металів та сплавів, іонних кристалів, напівпровідників, полімерів, льоду та інших твердих тіл.

Повзучість характеризується *межею повзучості*, тобто величиною тривало діючої напруги, яка при даній температурі викликає задану швидкість деформації. Величина її при визначенні межі повзучості залежить від терміну служби виробу, який може коливатися у дуже широкому діапазоні. Межі повзучості, визначені при різних температурах, дозволяють конструктору мати вихідні дані для розрахунку деталей машин та установок, схильних одночасному тривалому впливу напруг і температур.

**Втома** – процес поступового накопичення пошкоджень під дією циклічних напружень, що приводить до зменшення терміну служби, утворення тріщин й руйнування. *Межа втоми* – найбільша напруга, яку витримує матеріал без руйнування при повторенні заздалегідь заданої кількості циклів змінних навантажень. Окремим випадком втоми є *корозійна втома*.

**Корозійна втома** – зниження межі витривалості металу або сплаву при одночасному впливі циклічних змінних напружень та корозійного середовища.

**Витривалість** – здатність матеріалу чинити опір втомі. Витривалість визначається при тривалому впливі на матеріал циклів напружень. Показником витривалості є межа витривалості.

**Межа витривалості**  $\sigma_R$  – найбільше значення максимальної напруги циклу, при дії якої не відбувається втомного руйнування після довільно великого або заданого циклів навантажень. Межу витривалості визначають за кількістю циклів навантажень до повного руйнування матеріалу або виробу.

Межа витривалості визначає довговічність матеріалу. Вона залежить від складу, структури та стану поверхні матеріалу, а також від частоти циклів навантажень, температури та інших фізико-хімічних особливостей навколишнього середовища.

**Живучість** – час існування виробу від моменту зародження першої мікроскопічної тріщини втоми розміром 0,5...1,0 мм до остаточного руйнування. Живучість характеризує надійність матеріалу при циклічному навантаженні.

Кількісно живучість виробу в конструкції оцінюється *коефіцієнтом*,  $\beta = 1 - \tau_0 / \tau_{раз}$ , де  $\tau_0$  и  $\tau_{раз}$  – тривалість експлуатації виробу до появи тріщин та до руйнування відповідно  $\beta = 0,1...0,9$ .

**Тривала міцність** – здатність матеріалу руйнуватися не негайно після прикладання навантаження, а після закінчення деякого часу. Явище тривалої міцності дозволяє використовувати конструкційний матеріал протягом обмеженого (може бути, дуже короткого, але достатнього для виконання заданої функції) часу при великих навантаженнях, істотно перевищують навантаження, допустимі при тривалій експлуатації, а також визначити час безпечного функціонування (*ресурсу*) конструкції. *Межею тривалої міцності* є найбільша напруга, що викликає руйнування матеріалу за певний час при постійній температурі.

**Жароміцність** – здатність конструкційних матеріалів (головним чином, металевих) витримувати без істотних деформацій механічні навантаження при високих температурах. Визначається комплексом властивостей: опором повзучості, тривалою міцністю та жаростійкістю.

**Стирання** оцінюють втратою первісної маси зразка, віднесеної до площі поверхні стирання  $F$ .

### 1.2.12. Загальні вимоги безпеки при використанні або застосуванні речовин і матеріалів

Відсутність необхідної інформації про небезпечні властивості хімічних речовин та матеріалів й, як наслідок, невірне поводження з ними – одна з причин виникнення ситуацій, що призводять до наслідків, пов'язаних зі збитком для життя, здоров'я людей та навколишнього середовища.

За ступенем впливу на організм шкідливі речовини, що містяться в сировині, продуктах, напівпродуктах та відходах виробництва, поділяють на чотири класи небезпеки:

- 1-й-речовини надзвичайно небезпечні;
- 2-й-речовини високонебезпечні;
- 3-й-речовини помірно небезпечні;

#### *4-й-речовини малонебезпечні.*

Клас небезпеки шкідливих речовин встановлюють в залежності від норм та показників. Віднесення шкідливої речовини до класу небезпеки виробляють за показником, значення якого відповідає найбільш високому класу небезпеки.

Основними носіями цієї інформації в більшості розвинених країн є попереджувальне маркування та інформаційні документи про безпеку речовини (матеріалу).

Паспорт безпеки є обов'язковою складовою частиною технічної документації на речовину (матеріал), а також на відходи промислового виробництва. Він призначений для забезпечення споживача достовірною інформацією з безпеки промислового застосування, зберігання, транспортування та утилізації речовин і матеріалів, а також їх використання в побутових цілях.

Паспорт безпеки повинен містити наступні розділи:

- найменування та склад речовини або матеріалу, відомості про організацію – (особу) – виробника або постачальника;
- види небезпечного впливу й умови їх виникнення;
- заходи першої допомоги;
- заходи та засоби забезпечення пожежної безпеки;
- заходи щодо запобігання надзвичайних ситуацій;
- правила обігу та зберігання;
- правила та заходи щодо забезпечення безпеки користувача;
- фізичні та хімічні властивості;
- стабільність хімічної активності;
- токсичність;
- вплив на навколишнє середовище;
- утилізація та захоронення відходів (залишків);
- правила транспортування;
- інформація про міжнародне та національне законодавство.

## **2. МЕТАЛИ ТА СПЛАВИ**

У розділі представлені відомості та визначення про фізико-хімічні властивості чорних й кольорових металів та їх сплавів, їх застосування як в гірничій промисловості так і в народному господарстві.

Розглядаються основні види, термічної, термомеханічної та хімікотермічної обробки сталі.

Відповідно до матеріалів глави студент повинен вміти:

- формувати та правильно використовувати зазначені визначення;
- розуміти їх суть та зміст;
- порівнювати та знаходити між ними різницю.

**Метали** – прості речовини, що мають у звичайних умовах характерні властивості: високі електро - та теплопровідності, негативний температурний коефіцієнт електропровідності, здатність добре відображати електромагнітні хвилі (блиск та непрозорість), високу міцність та пластичність. Властивості

металів можуть значно змінитися при дуже високих тисках ( $10^{10} \dots 10^{11}$  Па). Багато металів в залежності від температури й тиску можуть існувати у вигляді декількох кристалічних модифікацій.

Подібні металеві властивості мають більше 80 хімічних елементів та безліч металевих сплавів. Число металевих сплавів, що застосовуються в техніці, обчислюється багатьма тисячами й постійно зростає відповідно до виникаючих нових та різноманітних вимог окремих галузей промисловості.

Властивості металів обумовлені їх кристалічною будовою й наявністю в їх кристалічній решітці великої кількості ( $10^{22} \dots 10^{28}$  в  $1 \text{ см}^3$ ) не пов'язаних з атомними ядрами рухомих електронів провідності. Слабкий зв'язок валентних електронів з ядрами атомів обумовлює хімічні властивості металів: вони легко утворюють основні оксиди й гідрооксиди, більшість металів заміщує водень у кислотах і т. д.

Більшість металів кристалізується з атомною будовою у вигляді ОЦК, ГЦК і ГПУ кристалічних решіток. У пароподібному стані метали одноатомні.

Металеві сплави за властивостями мають багато спільного з металами, тому їх нерідко відносять до металів.

Метали та сплави в промисловості поділяють на дві основні групи: *чорні* та *кольорові* метали.

**Чорні метали** – сплав заліза з вуглецем, в якому можуть міститися в більшій або меншій кількості й інші хімічні елементи. Кобальт, нікель, а також близький до них за властивостями марганець нерідко відносять до чорних металів. Чорні метали набули найбільшого поширення, що обумовлено відносно високим вмістом заліза в земній корі, його низькою вартістю, високими механічними й технологічними властивостями.

**Кольорові метали** за властивостями поділяють на групи:

- *легкі метали* (Be, Mg, Al, Ti), що володіють порівняно малою густиною – до  $5000 \text{ кг/м}^3$ ;

- *тугоплавкі метали* (Ti, Cr, Zr, Nb, Mo, W, V та ін.) з температурою плавлення вище, ніж у заліза ( $1539 \text{ }^\circ\text{C}$ );

- *благородні метали* (Ph, Pd, Ag, Os, Pt, Au та ін.), що володіють хімічною інертністю;

- *уранові метали* (U, Th, Pa) – актиноїди, що використовуються в атомній техніці;

- *рідкоземельні метали (РЗМ), лантаноїди* (Ce, Pr, Nd, Sm та ін.) й подібні з ними ітрій та скандій, що застосовуються як присадки до різних сплавів;

- *лужноземельні метали* (Li, Na, K), що використовуються в якості теплоносіїв у ядерних реакторах.

Класифікація металевих сплавів за хімічним складом, заснована на вказівці головного компонента сплаву (залізо, мідь, алюміній та ін.), має традиційний характер та набула найбільшого поширення. Однак всередині таких класів, визначених з урахуванням хімічного складу по головному компоненту сплаву, розподіл на групи й підгрупи найчастіше проводиться за

характерними особливостями у властивостях або по області застосування даного сплаву або декількох сплавів.

## 2.1. Залізо та сплави на його основі

**Залізо** – Fe, хімічний елемент VIII групи періодичної системи елементів, атомний номер 26, атомна маса 55,847. Блискучий сріблясто-сірий, пластичний метал. Утворює поліморфні модифікації. На повітрі залізо окислюється – покривається пухкою іржею.

Фізичні властивості заліза залежать від вмісту домішок. Залізо з вмістом домішок 0,01...0,1% має наступні властивості: густина  $7840 \text{ кг/м}^3$ ; коефіцієнт теплопровідності  $74,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; питомий електричний опір  $9,7\cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ ; Температурний коефіцієнт електричного опору  $6,51\cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ ; температурний коефіцієнт лінійного розширення  $11,7\cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ; твердість за Брінеллем  $350\text{...}450 \text{ МПа}$ ; модуль Юнга  $(190\text{...}210)\cdot 10^3 \text{ МПа}$ ; межа міцності на розрив  $\sigma = 200\text{...}250 \text{ МПа}$ ; відносне подовження  $\delta = 45\text{...}55 \%$ ; ударна в'язкість  $KCU = 220\text{...}250 \text{ кДж/м}^2$ .

Залізо може мати три поліморфні модифікації ( $\alpha$ -,  $\delta$  - і  $\gamma$ -Fe), кожна з яких існує в певному температурному інтервалі.

$\alpha$ -Fe має температурний інтервал практично від абсолютного нуля до  $911^\circ\text{C}$ .  $\alpha$ -Fe має об'ємно центровану кубічну решітку. Густина  $\alpha$ -Fe- $7860 \text{ кг/м}^3$ . До температури  $768^\circ\text{C}$  (крапка Кюрі) ця модифікація володіє феромагнітними властивостями, вище цієї температури – парамагнітними.

$\gamma$ -Fe-парамагнетик, існує від  $911$  до  $1392^\circ\text{C}$ , має гранецентровану решітку. Його густина –  $8000\text{...}8100 \text{ кг/м}^3$ .

Високотемпературна модифікація  $\delta$ -Fe існує в інтервалі від  $1392$  до  $1539^\circ\text{C}$ .  $\delta$ -Fe має об'ємно-центровану кубічну решітку й так само, як  $\alpha$ -Fe після  $768^\circ\text{C}$ , володіє парамагнітними властивостями.

Сплави, в яких сумарний вміст домішок менше  $0,1\%$  та вуглецю менше  $0,02\%$ , називаються технічно чистим залізом, а при вмісті менше  $0,04\% \text{ C}$  – **технічним залізом (армко-залізом)**. Технічне залізо має високу магнітну проникність ( $\mu = 4500 \text{ Гн/м}$ ) та є електротехнічним магнітно-м'яким матеріалом, що застосовується для серцевиків, полюсних наконечників, електромагнітів, пластин акумуляторів. Залізний порошок у великих кількостях застосовується при зварюванні.

Залізо – найважливіший метал сучасної техніки: на частку сплавів заліза з вуглецем та іншими елементами (залізовуглецеві сплави) припадає близько  $95\%$  всієї металевої продукції (чавун, сталь, феросплави).

**Залізовуглецеві сплави** – сплави Fe (основний компонент) з C. Розрізняють чисті залізовуглецеві сплави (зі слідами домішок), одержувані в невеликих кількостях для дослідницьких цілей, й технічні залізовуглецеві сплави, що містять домішки, легуючі елементи та спеціальні добавки.

### 2.1.1. Сталі та сплави

**Сталь** – деформований (ковкий) сплав заліза (основа) з вуглецем (до  $2\%$ ) та (або) іншими елементами (сплави).



### 2.1.1.1. Структура сталей в рівноважному стані

Вид мікроструктури сталей та сплавів, яка остаточно сформувалася залежить від вмісту в них вуглецю й може бути визначений по структурній діаграмі стану Fe-Fe<sub>3</sub>C відповідно до процесів, які відбуваються для відповідного складу сплаву.

Мікроструктура сталей, що містять до 0,006 % вуглецю, має зернисту (полідричну) будову та являє собою чистий ферит (рис. 2.1, а) такі сталі при невеликій міцності мають високу пластичність та ударну в'язкість.

При вмісті у сталях вуглецю від 0,006 до 0,025 % (технічне залізо) їх мікроструктура являє собою зерна фериту та розташований по межах цих зерен третинний цементит (рис. 2.1, б). Тендітна цементитна сітка знижує пластичність та в'язкість сталей.

Мікроструктура сталей з вмістом вуглецю 0,025...0,8 % складається з зерен фериту та перліту (рис. 2.1, в). При цьому в сталях з вмістом вуглецю до 0,1...0,15 % ще зберігаються включення третинного цементиту. У структурі таких сталей при збільшенні вмісту вуглецю збільшується кількість перліту з відповідним зменшенням фериту, що веде до підвищення міцності й твердості сталі з одночасним зниженням ударної в'язкості та відносного подовження.

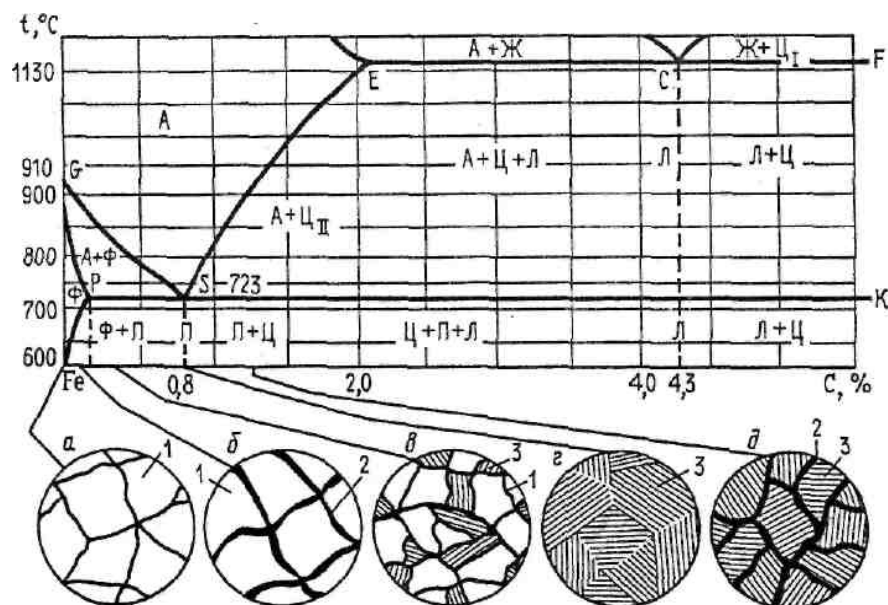


Рис. 2.1. Схеми мікроструктур сталі в рівноважному стані. Умовне позначення структурних складових:

а – феритна; б – феритно-цементитна; в – феритно-перлітна;  
г – перлітна; д – перлітно-цементитна; 1 – ферит; 2 – цементит; 3 – перліт

При вмісті вуглецю 0,8% мікроструктура являє собою зерна чистого перліту (рис. 2.1, г). При розгляді під мікроскопом, перліт має вигляд темних включень неоднорідної будови. Внаслідок значної дисперсності структуру перліту можна чітко розрізнити тільки при збільшеннях більш ніж у 500 разів. Перліт може мати пластинчасту або зернисту структуру, що визначають умови

охолодження. При цьому сталь зі зернистою структурою перліту відрізняється кращою пластичністю й оброблюваністю різанням.

У мікроструктурі сталі, що містить понад 0,8 % вуглецю, по межах зерен перліту розташовується вторинний цементит, що виділяється з аустеніту при охолодженні внаслідок зменшення розчинності вуглецю. При вмісті у сталі 1 % вуглецю, цементит утворює тендітну сітку, яка роз'єднує між собою зерна перліту (рис. 2.1, д). Міцність сталі при цьому знижується.

Цементит третинний у сталях та чавунах, а також цементит вторинний в евтектичних і заевтектичних чавунах, як самостійні структурні складові при мікроструктурному аналізі зазвичай не виявляються.

Розглянуті рівноважні структури оборотні, тобто вони багаторазово реалізуються при нагріванні та охолодженні сплавів. Це справедливо тільки у разі, якщо нагріву й охолодження протікають з досить малими швидкостями, тобто всі фазові перетворення завершені та можна не враховувати необхідні для цього перегріву й переохолодження.

Для кількісної оцінки компонент структурного складу використовують **правило відрізків**, що реалізується на діаграмі Fe-Fe<sub>3</sub>C.

При цьому знижуються густина, теплопровідність, в'язкість, пластичність, величини відносних подовження та звуження, а також величина залишкової індукції.

Істотною роллю відіграє те, що зміна фізичних властивостей призводить до погіршення цілого ряду технологічних, таких, як деформованість при штампуванні, зварюваність та ін. Так, хорошою зварюваністю відрізняються низьковуглецеві сталі. Зварювання середньо – й особливо високовуглецевих сталей вимагає застосування підігріву, що уповільнює охолодження та інші технологічні операції, що попереджають утворення тріщин.

**Марганець** вводять в сталі як технологічну добавку для підвищення ступеня їх розкислення й усунення шкідливого впливу сірки. Марганець вважається технологічною домішкою при його вмісті, що не перевищує 0,8 %. Марганець присутній у сталях та сплавах у вигляді твердого розчину  $\alpha$  та як технологічна домішка істотного впливу на властивості сталей не робить.

**Кремній** також вводять у сталь для розкислення. Вміст кремнію, як технологічної домішки, зазвичай не перевищує 0,37%. Кремній присутній у сталях та сплавах в твердому розчині, а й як технологічна домішка впливу на властивості сталі не чинить. У сталях, призначених для зварних конструкцій, вміст кремнію не повинен перевищувати 0,12...0,25 %.

### **2.1.1.2. Вплив вуглецю і технологічних домішок на властивості сталей та сплавів**

**Постійні (технологічні) домішки** є обов'язковими компонентами сталей та сплавів, що пояснюється труднощами їх видалення, як при виплавці (P, S), так і в процесі розкислення (Si, Mn) або з шихти – легованого металевого брухту (Ni, Cr та ін.).

До постійних домішок відносять *вуглець, марганець, кремній, сірку, фосфор, а також кисень, водень та азот.*

Постійні домішки можуть бути присутніми у вигляді твердих та газоподібних фаз. Однак вони не роблять істотного впливу на положення критичних точок діаграми Fe-C.

Характер впливу цих домішок на властивості сталей та сплавів визначається їх можливістю утворювати самостійні фази з основним компонентом, залізом, а також місцем виникнення цих фаз.

**Вуглець** відповідно до діаграми стану залізо-цементит може утворити з залізом твердий розчин та цементит  $Fe_3C$  вміст цементиту в сплавах можна оцінювати по діаграмі стану, використовуючи додаткову шкалу абсцис за змістом цементиту (див. 2.1), так як кількість цементиту в сталях пропорційно вмісту вуглецю.

Вплив вуглецю на властивості сталей в основному визначається властивостями цементиту (*закон адитивності*) та пов'язаний зі зміною змісту основних структурних складових – фериту й цементиту. Отже, при збільшенні вмісту вуглецю до 1,2 % (рис. 2.2) зростають міцність, твердість, поріг холодоламкості (0,1% C підвищує температуру порогу холодоламкості на  $20^\circ C$ ), межа плинності, величина електричного опору й коерцитивна сила.

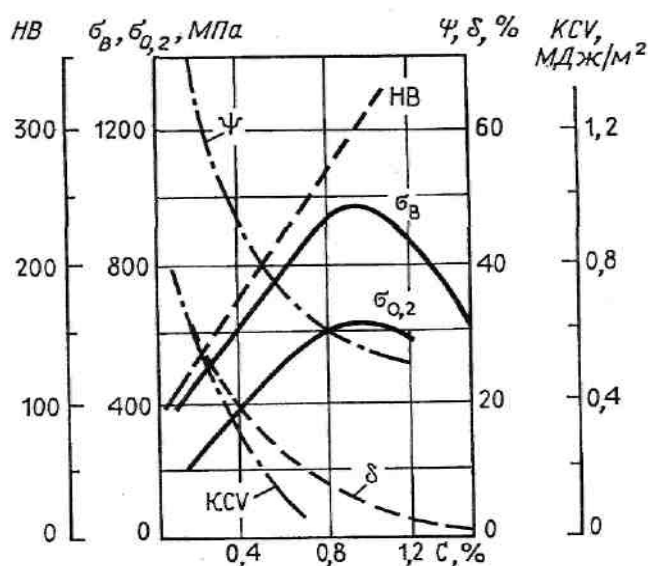


Рис. 2.2. Вплив вмісту вуглецю на механічні властивості сталей та сплавів

**Сірка.** Межі вмісту сірки як технологічної домішки складають 0,035...0,06 %. Сірка практично нерозчинна в аустеніті та присутня в сталях й сплавах у вигляді крихких сульфідів  $FeS$  та  $MnS$ , що входять в евтектику з температурою плавлення  $985^\circ C$ . Причому ця евтектика, як правило, кристалізується по межах зерен.

Підвищення вмісту сірки істотно знижує механічні та фізико-хімічні властивості сталей, зокрема пластичність, ударну в'язкість, опір стирання та корозійну стійкість. При гарячому деформуванні сталей та сплавів великий вміст сірки веде до червоноламкості, що виявляється появою надривів по

включеннях FeS. Крім того, підвищений вміст сірки знижує зварюваність готових виробів.

**Фосфор.** Межі вмісту фосфору як технологічної домішки становлять 0,025...0,045%. Фосфор у сталях та сплавах присутній в твердому розчині  $\alpha$ .

Фосфор, як і сірка, відноситься до найбільш шкідливих домішок у сталях та сплавах. Збільшення його вмісту навіть на частки відсотка, підвищуючи міцність, одночасно підвищує плинність, крихкість і поріг холодноламкості та знижує пластичність і в'язкість. Це пояснюється тим, що фосфор викликає сильну внутрішньокристалічну ліквідацію і сприяє зростанню зерен в металі. Шкідливий вплив фосфору особливо сильно позначається при підвищеному вмісті вуглецю.

**Кисень й азот** розчиняються в мізерно малій кількості й забруднюють сталь неметалевими включеннями (оксидами, нітридами, газовою фазою). Вони чинять негативний вплив на властивості, викликаючи анізотропію механічних властивостей, підвищення крихкості й порогу холодноламкості, а також знижують в'язкість та витривалість. При вмісті кисню більше 0,03 % він викликає старіння сталей, а більше 0,1 % – червоноламкість. Азот збільшує міцність й твердість сталі, але знижує пластичність. Підвищений вміст азоту викликає деформаційне старіння. Старіння повільно розвивається при кімнатній температурі та прискорюється при нагріванні до 250 °С.

**Водень** міститься в твердому розчині  $\alpha$  або накопичується у порах та на дислокаціях. Збільшення його вмісту в сталях та сплавах призводить до збільшення крихкості. Крім того, у виробках прокату можуть виникати *флокени*, які розвиває водень, що виділяється в пори. Флокени ініціюють процес руйнування. Метал, що має флокени, не можна використовувати в промисловості.

**Флокени** – дефекти внутрішньої будови сталі у вигляді сріблясто-білих плям (в зламі) або волосовин (на протравлених шліфах). Зустрічаються, головним чином, у катаних та кованих виробках.

### **2.1.1.3. Вплив термічної, термомеханічної та хіміко-термічної обробок на властивості сталі та сплавів**

**Термічною обробкою (ТО)** сталі називають процеси нагріву та охолодження, проведені за певним режимом, для спрямованої зміни її структури з метою отримання необхідних експлуатаційних властивостей.

Можливість впливу термічної обробки на структуру та властивості сталей і сплавів визначається вторинною кристалізацією, яка відповідно до діаграми стану Fe-Fe<sub>3</sub>C (див. 2.1) відбувається по лініях GS, SE й PK.

Вторинна кристалізація при повільному охолодженні відбувається у повній відповідності з діаграмою стану в наступному порядку:

- 1) перетворення аустеніту в ферит;
- 2) виділення з аустеніту найдрібніших частинок цементиту;
- 3) збільшення частинок цементиту, розміри яких змінюються від часток мікрона до декількох мікрон.

Реалізація всіх трьох етапів вторинної кристалізації призводить відповідно до діаграми стану до утворення структурної складової – перліту.

Істотне значення для протікання вторинної кристалізації мають умови охолодження. Незначна ступінь переохолодження або вельми повільне охолодження забезпечують отримання рівноважних структур. Чим більше ступінь переохолодження аустеніту або швидкість його охолодження, тим більше нерівноважна структура одержуваної сталі. Змінюючи умови охолодження, можна отримати різні модифікації структур, а саме, *сорбіт*, *троостит* або *мартенсит*, що істотно впливає на властивості сталей та сплавів.

**Сорбіт** отримують при швидкості охолодження близько 50 град/с. При утворенні цієї структури протікання всіх перерахованих вище етапів відбувається, але досить обмежено. Товщина пластинок цементиту, що утворилися при цьому –  $(0,1...0,5) 10^8$  м. Твердість сорбіту 250...350 НВ.

**Троостит** утворюється при швидкості охолодження 50...100 град/с. при цьому можливі тільки перший та другий етапи вторинної кристалізації. Пластинки цементиту в трооститі не перевищують по товщині  $1 \cdot 10^{-10}$  м. Твердість троститу 350...450 НВ.

**Мартенсит сталі** – пересичений метастабільний твердий розчин впровадження вуглецю у  $\alpha$ -Fe зі спотвореною кристалічною решіткою, одержуваний при швидкості охолодження 150...200 град/с. Мінімальну швидкість охолодження, при якій весь аустеніт переохолоджується та перетворюється в мартенсит, називають критичною *швидкістю гарту*. При нагріванні мартенсит переходить у більш стійкі структури: троостит, сорбіт та перліт.

Мартенсит виходить шляхом реалізації тільки першого етапу вторинної кристалізації та має характерну пластинчасту, під мікроскопом – голчасту будову. Зростання пластин шляхом зсуву відбувається миттєво зі швидкістю близько 1000 м/с по бездифузійному механізму, так як дифузійний перехід атомів з кристалів аустеніту в мартенсит при низьких температурах неможливий.

Мартенсит має найбільший питомий обсяг в порівнянні з іншими структурними складовими сталей й, особливо, з аустенітом. Збільшення питомого обсягу при утворенні мартенситу призводить до виникнення при загартуванні великих внутрішніх напружень, що викликають деформацію виробів або навіть появу тріщин.

При утворенні мартенситу отримують максимальну твердість (НВ 180...650) й крихкість при мінімальних щільності та в'язкості. Твердість мартенситу зростає зі збільшенням вмісту в ньому вуглецю. Однак збільшення вмісту вуглецю підвищує схильність мартенситу до крихкого руйнування.

Основні види термічної обробки сталі – *відпал*, *гарт* та *відпуск*.

**Відпал сталі** – термічна обробка, що включає в себе при повному відпалі нагрів до температури вище верхніх критичних точок на 30...50°C, витримку при такій температурі до повного прогріву металу і подальше дуже повільне охолодження (разом з охолоджуваною піччю). При неповному відпалі

нагрів сталей проводиться до температур вище нижніх критичних точок на 30...50 °С, а при низькотемпературному відпалі – до температур, що лежать нижче нижніх критичних крапок. При неповному і низькотемпературному відпалі відбувається тільки часткова перекристалізація. Структура сталей після відпалу утворюється в повній відповідності з діаграмою стану залізовуглецевих сплавів.

Відпал сталей роблять у тих випадках, коли необхідно зменшити твердість, підвищити пластичність і в'язкість, ліквідувати наслідки перегріву, отримати рівноважний стан, поліпшити оброблюваність при різанні.

Різновидами відпалу сталей є *нормалізаційний* та *ізотермічний відпал*.

**Нормалізаційний відпал – (нормалізація)** – вид термічної обробки сталі, що полягає в нагріванні до температури на 30...50°С вище верхніх критичних крапок, витримці та охолодженні на спокійному повітрі. В результаті нормалізації, сталі з вмістом вуглецю менше 0,3% набувають феритно-перлітну структуру, а сталі з вмістом вуглецю 0,3...0,7% – сорбітну.

Нормалізація застосовується в тих випадках, коли необхідно отримати однорідну дрібнозернисту структуру з більш високою твердістю і міцністю, але з дещо меншою пластичністю, ніж після відпалу. При нормалізації в заевтектійних сталях усувається цементитна сітка, тому нею часто замінюють повний або неповний відпал при підготовці вуглецевих сталей до механічної обробки. Нормалізація – більш продуктивний та економічний процес, ніж відпал.

**Ізотермічний відпал** – вид термічної обробки сталі, що полягає в нагріванні сталі до температури, що на 30...50°С перевищує верхню критичну, витримці при цій температурі, а потім перенесенні деталі в іншу піч із заданою (нижче верхньої критичної) температурою для її ізотермічної витримки до повного розпаду аустеніту. Ізотермічний Відпал покращує оброблюваність різанням і застосовується для деталей та заготовок невеликих розмірів.

**Гарт сталі** – термічна обробка, що включає в себе нагрів до температур вище верхніх критичних точок на 30...50°С, витримку при цих температурах до повного прогріву металу й подальше дуже швидке його охолодження. В результаті гарту в сталі з аустеніту утворюється мартенсит. Сталі, що піддаються загартуванню, характеризуються загартуваністю та прожарюванням.

**Загартуваність** – здатність сталі підвищувати твердість в результаті гарту.

**Прожарювання** – здатність сталі утворювати загартований шар зі структурою мартенситу та високою твердістю. Прожарювання зразка характеризується максимально одержуваною твердістю по перетину виробу (зразка).

Сталі з малим вмістом вуглецю загартувати на мартенсит дуже важко, так як початок й кінець процесу утворення мартенситу відбувається в області високих температур, відповідних утворенню інших, більш стійких структур (троостит, сорбіт). Прожарювання звичайних вуглецевих сталей поширюється на 5...7 мм.

Мікроструктура загартованих сталей залежить від їх хімічного складу й умов гарту (температури нагріву та режиму охолодження). Загартування сталі з вмістом вуглецю до 0,025...0,03% затримує виділення третинного цементиту по межах зерен та не змінює структуру фериту. Такий гарт підвищує пластичність та майже не змінює міцності.

Мікроструктура сталі з 0,08...0,15% С (з нагріванням вище верхніх критичних крапок та охолодженням у воді) являє собою низьковуглецевий мартенсит з виділеннями фериту. Подальше збільшення складу вуглецю (0,15...0,25%) при тих же умовах гарту призводить до підвищення твердості з 110...130 до 140...180 НВ, а межа плинності зростає на 30...50 %. Найбільш значна зміна властивостей відбувається при вмісті вуглецю більше 0,30...0,35%.

Мікроструктура доевтектоїдних сталей являє собою мартенсит, кристали якого мають характерну форму пластин (голок). При вмісті вуглецю більше 0,5...0,6 % в мікроструктурі сталей спостерігається незначна (2...3 %) кількість аустеніту.

Мікроструктура заевтектоїдних сталей складається з мартенситу, зерен вторинного цементиту (який не розчинився при нагріванні) та залишкового аустеніту. Кристали (голки) мартенситу дуже невеликих розмірів. Підвищення температури гарту викликає розчинення вторинного цементиту та сприяє зростанню зерна.

У тих випадках, коли потрібні висока твердість та підвищена зносостійкість поверхні при збереженні в'язкої та досить міцної серцевини виробу, застосовується *поверхневий гарт*, тобто гарт не на повну глибину. Поверхневому гартуванню піддають сталі при вмісті вуглецю більше 0,3 %. Вибір оптимальної товщини шару, що зміцнюється визначається умовами роботи деталі та становить від 1,5 до 15 мм (та вище). Площа перетину загартованого шару не повинна перевищувати 20% площі всього перетину. У практиці найбільш часто використовують поверхнєве загартування з індукційним нагріванням струмом високої частоти (СВЧ).

Мартенситна структура сталі після гарту метастабільна, й для її перетворення в більш стійку структуру виробляють *відпуск*.

**Відпуск сталі** – термічна обробка, що включає в себе нагрів загартованої сталі до температури нижче критичних крапок, витримку при цій температурі та охолодження. В результаті відпустки в залежності від температури нагріву нестійка структура мартенситу гарту внаслідок дифузійного перерозподілу вуглецю перетворюється в більш стійкі структури – *мартенсит відпуску, троостит, сорбіт, перліт*.

Мартенсит відпуску має змінену кристалічну решітку та його утворення супроводжується об'ємними змінами, виділенням теплоти та частковим зняттям внутрішніх напружень. При більш високій температурі нагріву утворюються троостит, сорбіт й перліт, які на відміну від структур, одержуваних з аустеніту при безперервному охолодженні, мають зернисту, а не пластинчасту мікроструктуру. Сталі зі зернистою мікроструктурою характеризуються більш високою пластичністю та кращою оброблюваністю різанням.

Залежно від температури відпуску, розрізняють низькотемпературний (низький), середньотемпературний (середній) та високотемпературний (високий) види відпуску. Гарт на мартенсит з подальшим високим відпуском називається **поліпшенням сталей**. Поліпшення забезпечує хороший комплекс властивостей (міцність, ударна в'язкість, твердість) та застосовується для відповідальних виробів із середньовуглецевих сталей (колінчаті вали, шатуни та інші деталі). До основних дефектів, які можуть виникнути при загартуванні сталей, відносять *тріщини* та *деформацію*. Тріщини – невиправний дефект, попередити який можна конструктивним рішенням (унікати у виробі конструктивних елементів, які можуть стати концентраторами напруги) та ретельним дотриманням режимів термообробки. Деформація, тобто зміна розмірів та форми виробів, завжди супроводжує процеси термічної обробки, особливо гарту. Несиметричну деформацію виробів в практиці часто називають **викривленням**. Деформацію можна зменшити підбором відповідного складу сталі та умов термічної обробки, а уникнути викривлення – забезпечивши рівномірність нагріву під час загартування і правильне положення деталі при зануренні в гартівне середовище.

Легована сталь має меншу теплопровідність, ніж вуглецева, тому вимагає уповільнених нагріву та охолодження щоб уникнути викривлення і тріщин.

**Термомеханічна обробка (ТМО)** сталі – сукупність операцій термічної обробки з пластичною деформацією, яка проводиться або вище критичних точок (ВТМО), або при температурі переохолодженого (500...700°C) аустеніту (НТМО). Такий вид обробки дозволяє отримати сталь високої міцності (до 270 МПа). Формування структури сталей при ТМО відбувається в умовах підвищеної щільності та оптимального розподілу дислокацій. Остаточними операціями ТМО для уникнення розвитку рекристалізації є негайний гарт й низькотемпературний (100...300°C) відпуск.

Термомеханічна обробка з подальшими загартуванням та відпуском дозволяють отримати дуже високу міцність ( $\sigma_b = 2200...3000$  МПа) при хорошій пластичності ( $\delta = 6...8\%$ ,  $\psi = 50...60\%$ ) та в'язкості. У практичних цілях більшого поширення набула ВТМО, що забезпечує поряд із високою міцністю хороший опір втоми, високу роботу поширення тріщин, а також знижені критичну температуру крихкості, чутливість до концентраторів напруг і незворотну відпускну крихкість.

ВТМО здійснюється в цехах прокатного виробництва на металургійних заводах, наприклад, при зміцненні прутків для штанг, ресорних смуг, труб та пружин.

**Хіміко-термічна обробка (ХТО)** сталі – сукупність операцій термічної обробки з насиченням поверхні виробу різними елементами (С, N, Al, Si, Cr та ін.) при високих температурах.

Поверхнєве насичення елементами (Cr, Al, Si та ін.), що утворюють з залізом тверді розчини заміщення, більш енергоємно та триваліше, ніж насичення азотом і вуглецем, що утворюють з залізом тверді розчини



впровадження. При цьому дифузія елементів легше протікає в кристалічній решітці фериту, ніж в більш щільно упакованій решітці аустеніту.

Хіміко-термічна обробка підвищує твердість, зносостійкість, кавітаційну та корозійну стійкість й, створюючи на поверхні виробів сприятливі залишкові напруги стиснення, збільшує їх надійність і довговічність.

**Цементация сталі** – хіміко-термічна обробка поверхневим насиченням маловуглецевих ( $C < 0,2\%$ ) або легованих сталей при температурах  $900...950^{\circ}\text{C}$  – твердим (цементация твердим карбюризатором), а при  $870...900^{\circ}\text{C}$  – газоподібним (газова цементация) вуглецем з подальшим загартуванням та відпуском. Мета цементации й подальшої термічної обробки – підвищення твердості, зносостійкості і меж контактної витривалості поверхні виробу при в'язкій серцевині, що забезпечує витривалість виробу в цілому при вигині та крученні.

**Азотування сталі** – хіміко-термічна обробка поверхневим насиченням сталі азотом шляхом тривалої витримки її при нагріванні до  $600...650^{\circ}\text{C}$  в атмосфері аміаку  $\text{NH}_3$ . Азотовані сталі мають дуже високу твердість (азот утворює різні сполуки з Fe, Al, Cr та іншими елементами, що мають більшу твердість, ніж карбід) та підвищену опірність корозії у таких середовищах, як атмосфера, вода, пара та ін.

Азотовані сталі зберігають високу твердість, на відміну від цементованих, до порівняно високих температур ( $500...520^{\circ}\text{C}$ ). Азотовані вироби не коробляться при охолодженні, так як температура азотування нижче, ніж цементации. Азотування сталей широко застосовують в машинобудуванні для підвищення твердості, зносостійкості, межі витривалості та корозійної стійкості відповідальних деталей, наприклад, зубчастих коліс, валів, гільз циліндрів та ін.

**Нітроцементация (ціанування) сталі** – хіміко-термічна обробка з одночасним поверхневим насиченням виробів азотом та вуглецем при підвищених температурах з подальшими загартуванням і відпуском для підвищення зносо- і корозійної стійкості, а також втомної міцності. Нітроцементация може проводитися в газовому середовищі при температурі  $840...860^{\circ}\text{C}$  – нітроціанування, і в рідкій при температурі  $820...950^{\circ}\text{C}$  – рідинне ціанування в розплавлених солях, що містять групу  $\text{NaCN}$ .

Нітроцементация ефективна для інструментальних (зокрема, швидкорізальних) сталей; вона використовується для деталей складної конфігурації, схильних до викривлення. Однак на даний час застосовується тільки нітроціанування, оскільки процес рідинного ціанування пов'язаний з використанням токсичних ціаністих солей.

**Борування сталі** – хіміко-термічна обробка насиченням поверхневих шарів сталевих виробів бором при температурах  $900...950^{\circ}\text{C}$ . Мета борування – підвищення твердості, зносостійкості та деяких інших властивостей сталевих виробів. Дифузійний шар товщиною  $0,05...0,15$  мм, що складається з боридів  $\text{FeB}$  та  $\text{Fe}_2\text{B}$ , володіє досить високою твердістю, стійкістю до абразивного зношування і корозійною стійкістю. Борування особливо ефективно для підвищення стійкості (в  $2...10$  разів) бурового та штампового інструментів.

Цинкування (Zn), алітування (Al), хромування (Cr), силіціювання (Si) сталей виконуються аналогічно цементації з метою додання виробам зі сталі деяких цінних властивостей: жаростійкості, зносостійкості, корозійної стійкості. На даний час все більшого поширення набувають процеси багатокomпонентного дифузійного насичення.

#### 2.1.1.4. Вплив легуючих елементів на властивості сталей та сплавів

Легованою називається сталь, в якій, крім звичайних домішок, містяться ті, вводяться спеціально в певних поєднаних легуючі елементи (Cr, Ni, Mo, W, V, Al, B, Ti та ін.), а також Mn й Si в кількостях, що перевищують їх загальний вміст як технологічних домішок (1% та вище). Як правило, кращі властивості забезпечують комплексне легування.

Легування сталей та сплавів використовують для поліпшення їх технологічних властивостей. Легуванням можна збільшити межу плинності, ударну в'язкість, відносне звуження та прожарювання, а також реально знизити швидкість гарту, поріг холодноламкості, деформованість виробів і можливість утворення тріщин. У виробках великих перетинів (діаметр більше 15...20 мм) механічні властивості легованих сталей значно вище, ніж механічні властивості вуглецевих.

Легуючі елементи за механізмом їх зведення на властивість сталей та сплавів можна розділити на три групи:

- вплив на поліморфні ( $\alpha$ -Fe  $\rightarrow$   $\gamma$ -Fe) перетворення;
- утворення з вуглецем карбідів (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>; (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub>; Mo<sub>2</sub>C. та ін;
- утворення інтерметалідів (інтерметалічних сполук) із залізом- Fe<sub>7</sub>Mo<sub>6</sub>, Fe<sub>3</sub>Nb та ін.

У табл. 2.1 показано вплив найбільш широко застосовуваних легуючих елементів на їх позиції.

Таблиця 2.1

#### Вплив легуючих елементів на властивості сталі

Легуючий елемент	Зміцнює розчин	Збільшує ударну в'язкість	Розширює область аустеніту	Звужує область аустеніту	Збільшує загартування	Сприяє розкисленню	утворює стійкі карбіди	Підвищує опір корозії
Ni	+	+	+	-	+	-	-	+
Cr	+	-	-	+	-	-	+	+
Mn (> 1 %)	+	+	+	-	+	+	+	+
Si (>0,8 %)	+	+	-	+	-	+	-	-
W	-	-	-	-	-	-	+	-
Cu (0,3-0,5%)	+	-	-	-	-	-	-	+

За характером впливу на поліморфні перетворення легуючі елементи можна розділити на дві групи:

- елементи (Cr, W, Mo, V, Si, Al та ін.), достатня кількість яких забезпечує існування у сталях при всіх температурах легованого фериту (феритні сплави);

- елементи (Ni, Mn та ін.), що стабілізують при достатній концентрації легований аустеніт при всіх температурах (*аустенітні сплави*).

Сплави, які тільки частково зазнають перетворення  $\gamma \rightarrow \alpha$ , називаються відповідно *напіваустенітними* або *напівферритними*.

Застосовність для легування різних елементів визначається не стільки фізичними, скільки в основному економічними міркуваннями.

### **2.1.1.5. Загальна класифікація сталей**

Класифікація сталей і сплавів проводиться за *хімічним складом*, за *якістю* (за способом виробництва і вмістом шкідливих домішок), а також за *призначенням*.

**За хімічним складом** сталі класифікуються на *вуглецеві* і *леговані*.

Вуглецеві сталі в залежності від вмісту вуглецю ділять на наступні групи:

*маловуглецеві* – менше 0,25 % C;

*середньовуглецеві* – 0,25...0,6 % C;

*високовуглецеві* – більше 0,6 % C.

Леговані сталі в залежності від безпечних елементів підрозділяють:

на *хромисті*, *марганцеві*, *хромонікелеві*, *марганцеві* і багато *інших*. Їх класифікація за хімічним складом визначається сумарним відсотком вмісту легуючих елементів:

*низьколеговані* – менше 2,5 %;

*середньолеговані* – 2,5...10 %;

*високолеговані* – більше 10%.

Леговані сталі і сплави діляться також на класи за структурним складом:

*в відпаленому стані* – доевтектоїдний, заевтектоїдний, ледебуритний (карбідний), феритний, аустенітний;

*в нормалізованому стані* – перлітний, мартенситний і аустенітний класи.

До перлітного класу відносять вуглецеві і леговані сталі з низьким вмістом легуючих елементів, до мартенситного класу – з їх більш високим вмістом, а до аустенітного – з високим вмістом легуючих елементів.

**За якістю**, тобто за умовами виробництва (за способом виробництва і вмісту шкідливих домішок), сталі і сплави діляться на наступні групи:

	сірка, %	фосфор, %
<i>звичайної якості (рядові)</i>	менше 0,050	менше 0,040;
<i>якісні</i>	менше 0,040	менше 0,035;
<i>високоякісні</i>	менше 0,025	менше 0,025;
<i>особливо високоякісні</i>	менше 0,015	менше 0,025.

Сталі звичайної якості за хімічним складом – вуглецеві, що містять до 0,6% C. Ці сталі виплавляються в конвертерах із застосуванням кисню або у великих мартенівських печах.

Сталі звичайної якості, є найбільш дешевими, поступаються за механічними властивостями сталям інших класів, так як відрізняються

підвищеною ліквіацією (хімічною і структурною неоднорідністю) і кількістю неметалевих включень.

Сталі якісні за хімічним складом бувають *вуглецеві* чи *леговані*. Вони також виплавляються у конвертерах чи в основних мартенівських печах, але з дотриманням більш строгих вимог до складу шихти, процесам плавки і розливання.

Сталі звичної якості і якісні за ступенем розкислення і характеру затвердіння металу в виливниці ділять на *спокійні* (сп), *полуспокійні* (пс) і *киплячі* (кп). Кожний з цих сортів відрізняється вмістом кисню, азоту і водню. Так, в киплячих сталях вміщується найбільша кількість цих елементів.

Сталі високоякісні виплавляються переважно в електропечах, а особливо високоякісні – в електропечах з електрошлаковим переплавом (ЕШП) чи іншими досконалішими методами, що гарантує підвищену чистоту по неметалевим включенням і вмістом газів, а отже, поліпшення механічних властивостей.

**За призначенням сталі** і сплави класифікуються на конструкційні, інструментальні сталі і сталі з особливими фізичними та хімічними властивостями.

#### **2.1.1.6. Маркування сталей за хімічним складом**

Маркування сталей за хімічним складом є найбільш загальним. Це маркування враховує також область застосування, умови виробництва і якість сталей. Однак в марках деяких сталей більш вузького застосування (наприклад, автоматних, шарикопідшипникових, швидкорізальних та ін.) Від правил такого маркування існують відхилення, які будуть розглянуті в відповідних розділах.

Нові сталі та сплави, ще не включені до державних стандартів і поставляються за технічними умовами, позначаються літерами, що вказують на завод-виготовлювач (наприклад, ЕВ чи електронне видання – завод «Електросталь»), і номером, що присвоєний цим заводом.

**Вуглецеві сталі.** На частку вуглецевих сталей припадає 80% від загального об'єма виробництва сталей і сплавів. Це пояснюється тим, що ці сталі дешеві і поєднують задовільні механічні властивості з хорошою оброблюваністю різанням і тиском. Однак вони менш технологічні при термічній обробці.

За призначенням вуглецеві сталі ділять на *конструкційні* і *інструментальні*. Вуглецеві конструкційні сталі, в свою чергу, ділять на *вуглецеві конструкційні сталі звичайної якості* і *вуглецеві конструкційні якісні сталі*.

#### **Сталі вуглецеві конструкційні**

##### **а) звичайної якості**

Вуглецева конструкційна сталь звичайної якості містить 0,06...0,49% С, 0,25...1,20% Мп, 0,05...0,30% Si. Масові частки Cr, Ni і Cu повинні бути не більше 0,30% кожного, азоту – не більше 0,010%, сірки – не більше 0,050%, фосфору – не більше 0,040%.

Літери Ст в марці означають «сталь звичайної якості», цифри – умовний номер марки в залежності від нормованих показників (величин механічних

властивостей). Чим більше умовний номер сталі, тим більше в ній міститься вуглецю і перліту і тим вище її міцність і нижче пластичність.

Вуглецеві конструкційні сталі звичайної якості виготовляють наступних марок: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6. Стандартом передбачена також сталь з підвищеним (0,8 ... 1,2%) вмістом марганцю: Ст3Гпс, Ст3Гсп і Ст5Гпс. Найбільш поширена сталь Ст3Гпс має  $\sigma_B = 380...490$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 210...250$  МПа і  $\delta = 25...22$  %, а Ст5сп –  $\sigma_B = 500...600$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 240...280$  МПа і  $\delta = 20...17$  %. Чим більше товщина виробів прокату, тим нижче значення наведених характеристик. Додатковими індексами в кінці марки вказуються ступінь розкислення і характер затвердіння сталі (наприклад, Ст3кп, Ст5пс, Ст6сп).

З метою гармонізації прийнятого вітчизняного позначення марок з міжнародним в ДСТУ 380-94 наведено їх зіставлення (табл. 2.2)

Таблиця 2.2

**Зіставлення марок сталі типу Ст і Fe по міжнародним стандартам ІСО 630-80 та ІСО 1052-82**

Марки сталі			
Ст	Fe	Ст	Fe
Ст0	Fe310-0	Ст4кп	Fe430-A
Ст1кп		Ст4пс	Fe430-B
Ст1пс		Ст4сп	Fe430-C
Ст1сп	–	–	Fe430-D
Ст2кп		Ст5пс	Fe510-B, Fe490
Ст2пс		Ст5Гпс	Fe510-B, Fe490
Ст2сп		Ст5сп	Fe510-C, Fe490
Ст3кп	Fe360-A		
Ст3пс	Fe360-B	Ст6пс	Fe590
Ст3Гпс	Fe360-B	Ст6сп	Fe590
Ст3сп	Fe360-C		Fe690
Ст3Гсп	Fe360-C, Fe360-D	–	

Вуглецеві конструкційні сталі звичайної якості призначенні для виготовлення:

- гарячекатаного прокату,
- холоднокатаного тонколистового прокату;
- злитків, блюмів, слябів;
- труб;
- поковок і штамповок;
- металовиробів та ін.

Прокатне виробництво – отримання з металів і сплавів шляхом прокатки різних виробів і напівфабрикатів, а також їх додаткова обробка з метою підвищення якості. У промислових країнах прокатці піддається більше 80% виплавленої сталі.

Основні види виробів прокатного виробництва: сортовий і листовий прокат, металевий профіль і жерсть.

**Прокат** – продукція металургійного виробництва. Сортовий прокат використовується для виробництва простих і фасонних профілів і катанки (заготовки для отримання дроту). З листового прокату виготовляють листи, смуги, стрічки, жерсть, в тому числі біметалічні і з покриттями).

**Металічний профіль** – вироб, отриманий прокаткою, пресуванням, формуванням (гнучкою) між валками. Розрізняють профілі з постійним по довжині поперечним перерізом, так звані змінні профілі (в тому числі періодичні) і спеціальні (бандажі, колеса, шестерні, кулі та ін.). Деякі металеві профілі – квадратний, круглий, стрічковий, кутовий, двотавровий, швелерний, рейковий, тавровий, шпунтовий профілі.

**Жерсть** – тонка холоднокатана відпалена листова сталь товщиною 0,08 ... 0,32 мм. Для запобігання від впливу харчових середовищ і атмосферної корозії на поверхню жерсті наносять захисні покриття – олово (біла жерсть), хром, спеціальні лаки та ін.

**Трубне виробництво** – отримання порожнистих виробів з металів переважно кільцевого перерізу і відносно великої довжини. Труби зі швом виготовляють, головним чином, зварюванням, безшовні – прокаткою (рідше пресуванням, волочінням, литтям).

**Метизне виробництво** – отримання стандартизованих металічних виробів (метизів). Розрізняють промислові металовироби (сталева проволока, канати, цвяхи, болти, залізничні костилі, тощо) і металовироби широкого призначення (ножі, пилки та інші).

Вироби з вуглецевих конструкційних сталей звичайної якості широко застосовуються в будівництві для зварних, клепаних і болтових конструкцій, а також для виконання покрівельних робіт. Середньовуглецеві сталі, що володіють більшою міцністю, ніж низьковуглецеві, призначені для рейок, залізничних коліс, а також валів, шківів, шестерень і інших деталей вантажопідйомних машин.

Механічні властивості вуглецевої конструкційної сталі звичайної якості можуть бути значно підвищені, а поріг холодно ломкості знижений загартуванням у воді після прокатного нагріву.

### **б) якісні**

Сталі конструкційні якісні містять не більше 0,035% фосфору, не більше 0,04% сірки, 0,05 ... 0,85% вуглецю. Ці сталі відрізняються високими пластичністю і зварюваністю. Вони можуть використовуватися без зміцнюючої термічної обробки або після неї.

Якісні вуглецеві сталі маркують цифрами 08, 10, 15, 20, ..., 85. Двозначні числа в марці показують зміст вуглецю в сотих частках відсотка. Додатковими індексами можуть бути вказані ступінь розкислення і характер затвердіння сталі у виливниці (наприклад, сталь 08кп).

Низьковуглецеві (менш 0,25% С) якісні конструкційні сталі мають невисоку міцність ( $\sigma_v = 330...460$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 200...280$  МПа) та високу пластичність ( $\delta = 33...23$  %). Сталі 05кп, 08кп, 08, 10 йдуть на виготовлення деталей складної конфігурації методом холодного штампування. Із сталей 15кп,

15, 20 виготовляють болти, гайки, гвинти, пальці, валки, осі, гаки, шпильки і інші деталі невітчизняного призначення. Якщо деталі з цих сталей експлуатуються в умовах зношування поверхні, то їх піддають поверхневому зміцненню цементациєю або нітроцементациєю.

Середньовуглецеві (0,3...0,5% С) сталі 30, 35,..., 55 використовуються після нормалізації, поліпшення та поверхневого гарту. Після поліпшення сталі 40, 45, 50 мають наступні механічні властивості:  $\sigma_B = 600...700$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 400...600$  МПа,  $\psi = 50...40\%$  і  $KCU = 0,4...0,5$  МДж/м<sup>2</sup>. Прожарюваність цих сталей невелика. Сталі 30, 35, 40, 45 використовуються для виготовлення деталей, від яких потрібне поєднання високої міцності з в'язкістю серцевини (осі, валики, гвинти, шайби, втулки, колінчаті вали та ін.).

Сталі 60, 65,..., 85 з високим вмістом (0,6...0,85%) вуглецю мають підвищені міцність, зносостійкість і пружними властивостями. Їх застосовують після гарту і відпустки, нормалізації відпустки і поверхневою гарту. З сталей 65, 70, 75, 80, 85 виготовляють деталі, що працюють в умовах тертя і вібраційних навантажень: прокатні валки (сталь 60), кранові колеса (сталь 75), диски зчеплення і впускні клапани компресорів (сталь 85), а також пружини і ресори.

**Вуглецеві інструментальні сталі.** У вуглецевих інструментальних сталях літера У в позначенні марки означає «вуглецева сталь», а цифра показує вміст вуглецю в десятих частках відсотка.

Вуглецеві інструментальні сталі можуть випускатися якісними (вміст сірки не перевищує 0,03%, фосфору – 0,035%) і високоякісними (з вмістом сірки не більше 0,02% і фосфору – 0,03%). В кінці марки високоякісних вуглецевих інструментальних сталей ставиться літера А.

Сталі У7 (доевтектоїдна ферритно-перлітна) і У8, У8А (евтектоїдні) найбільш пластичні з вуглецевих інструментальних сталей. Вони йдуть на виробництво молотків, стамесок, доліт, зубил.

Із сталей У10, У11, УНА виготовляють різці, свердла, мітчики, фрези, плитки та інший вимірювальний і ріжучий інструмент для різання м'яких матеріалів.

Сталі У12, У13, У13А використовуються для виготовлення інструмента, що працює без ударних навантажень (напилки, рашпілі, бритви).

**Леговані сталі.** При маркуванні легованої сталі використовують літерні позначення легуючих елементів (табл. 2.3) в поєднанні з цифрами.

В марці зміст легуючого елемента, якщо воно перевищує 1...1,5%, вказується цифрою (масова частка в цілих відсотках), що стоїть після відповідної літери. Якщо за літерою відсутня цифра, то зміст даного елемента становить близько 1%. Виняток зроблено для деяких елементів (Ti, Ca, Nb, Zr, В, N, РЗМ і ін.), присутність яких в сталях навіть в тисячних частках відсотка робить істотний вплив на властивості сталей (*мікролегування*).

Якщо на початку марки немає цифри, то кількість вуглецю становить 1% і вище. У конструкційних сталях дві цифри попереду марки вказують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. У інструментальних сталях одна цифра на початку марки означає середній вміст вуглецю в десятих частках відсотка.

Таблиця 2.3

## Умовні позначення легуючих елементів в металах і сплавах

Елемент	Символ	Позначення елементів в марках металів і сплавів		Елемент	Символ	Позначення елементів в марках металів і сплавів	
		чорні	кольорові			чорні	кольорові
Азот	N	А	–	Неодім	Nd	–	Нм
Алюміній	Al	Ю	А	Нікель	Ni	Н	Н
Барій	Ba	–	Бр	Ніобій	Nb	Б	Нп
Берилій	Be	Л	–	Олово	Sn	–	О
Бор	B	Р	–	Осмій	Os	–	Ос
Ванадій	V	Ф	Вам	Паладій	Pd	–	Пд
Вісмут	Bi	Ві	Ві	Платина	Pt	–	Пл
Вольфрам	W	В	–	Празеодім	Pr	–	Пр
Гадоліній	Gd	–	Гн	Реній	Re	–	Ре
Галій	Ga	Гі	Гі	Родій	Rh	–	Рг
Гафній	Hf	–	Гф	Ртуть	Hg	–	Р
Германій	Ge	–	Г	Рутеній	Ru	–	Ру
Гольмій	Ho	–	ГОМ	Самарій	Sm	–	Сам
Діспрозій	Dy	–	ДИМ	Свинець	Pb	–	С
Європій	Eu	–	Єв	Селен	Se	К	СТ
Залізо	Fe	–	Ж	Срібло	Ag	–	Ср
Золото	Au	–	Зл	Скандій	Sc	–	Скм
Індій	In	–	Ін	Сурма	Sb	–	Су
Іридій	Ir	–	І	Талій	Tl	–	Тл
Іттербій	Yb	–	ІТН	Тантал	Ta	–	ТТ
Ітрій	Y	–	ІМ	Телур	Te	–	Т
Кадмій	Cd	Кд	Кд	Тербій	Tb	–	Том
Кобальт	Co	К	К	Титан	Ti	Т	ТПД
Кремній	Si	С	Кр(К)	Тулій	Tm	–	ТУМ
Лантан	La	–	Ла	Вуглець	С	У	–
Літій	Li	–	Ле	Фосфор	Р	П	Ф
Лютецій	Lu	–	Люн	Хром	Cr	Х	Х(Хр)
Магній	Mg	Ш	Мг	Церій	Ce	–	Се
Марганець	Mn	Г	Мц(Мр)	Цинк	Zn	–	Ц
Мідь	Cu	Д	М	Цирконій	Zr	Ц	ЦЕВ
Молібден	Mo	М	–	Ербій	Er	–	Ерм

Основна маса легованих сталей виплавляється сталями якісними. Відмінність в позначенні якісних, високоякісних і особливо високоякісних сталей полягає в тому, що в кінці марки високоякісних сталей приписується літера А, а особливо високоякісних – літери Ш і ВД. У сталей, що застосовуються у вигляді лиття (в литві), в кінці марки приписується літера Л.



Для позначення високоякісних сталей від цих правил існують відхилення. Так, в марках інструментальних легованих сталей, а також сталей і сплавів з особливими фізичними властивостями літера А не вказується, так як всі вони завжди високоякісні (або особливо високоякісні).

Деякі групи сталей спеціального призначення містять додаткові позначення: марки шарикопідшипникових сталей починаються з літери Ш, швидкорізальних – з літери Р, магнітно-твердих – з літери Е, автоматних – з літери А. Більш докладно про маркування таких сталей буде повідомлено у відповідних розділах.

### **2.1.1.7. Конструкційні сталі і сплави**

Спільними споживчими вимогами до конструкційних сталей є наявність у них певного комплексу механічних властивостей, що забезпечує тривалу і надійну роботу матеріалу в умовах експлуатації, і хороших технологічних властивостей (оброблюваності тиском, різанням, закалюваності, зварюваності і ін.).

Необхідні технологічні і споживчі властивості конструкційних сталей і сплавів в основному забезпечуються раціональним вибором хімічного складу, поліпшенням металургійної якості, що відповідає термічною обробкою і поверхневим зміцненням.

Конструкційні сталі і сплави класифікуються за призначенням на *будівельні (арматурні)* і *машинобудівні*, які, в свою чергу, підрозділяються на групи загального і спеціального призначення.

Конструкційні сталі і сплави з деякою умовністю розрізняють також по міцності: *сталі нормальної міцності* ( $\sigma_b \ll 1000$  МПа); *сталі підвищеної міцності* ( $\sigma_b < 1500$  МПа) і *високоміцні сталі* ( $\sigma_b > 1500$  МПа).

**Конструкційні будівельні сталі і сплави.** Властивості конструкційних будівельних сталей і сплавів визначаються в основному механічними (межа міцності, відносне подовження, твердість, ударна в'язкість) і технологічними (рідноплинність, зварюваність, ковкість і ін.) характеристиками.

Для конструкційних будівельних сталей і сплавів використовуються вуглецеві (0,10...0,20% С) і низьколеговані (Si, Mn, Cr і ін.) сталі. Ці сталі, як правило, звичайної якості і поставляються за механічними властивостями.

Метою легування цих сталей є підвищення закалюваності і внаслідок цього – забезпечення більш високих механічних властивостей (головним чином, межі плинності) в процесі охолодження при прокатці. Застосування низьколегованих сталей замість вуглецевих дозволяє заощадити 15...30% металу. Для того, щоб зміцнення не супроводжувалося зайвим зниженням в'язкості, пластичності і зварюваності, вміст вуглецю і легуючих елементів в будівельних сталях обмежується. Перевагою низьколегованих маловуглецевих сталей є також їх хороша зварюваність.

Конструкційні вуглецеві сталі поділяють на кілька класів по міцності. Маркують їх літерою «З» і числом, що виражає значення межі плинності в мегапаскалях: С2135, С285, ..., С590. В кінці марки можуть стояти літери К, Т або Д, що позначають:

К – відмінність у хімічному складі від сталі такого ж класу міцності;

Т – зміцнення термообробкою;

Д – введення в сталь 0,15...0,30% Сu для підвищення опору атмосферної корозії.

Конструкційні низьколеговані сталі поділяють на *сталі підвищеної міцності* ( $\sigma_T < 285$  МПа) и *високоміцні сталі* ( $\sigma_T > 440$  МПа).

Конструкційні будівельні сталі у вигляді листів, сортового фасонного прокату застосовують в будівництві та машинобудуванні для зварних конструкцій, в основному без додаткової термічної обробки. Так, сталі 14Г2, 18Г2, 16ГС, 10Г2С1, 14ХГС і 15ХСНД використовуються для виготовлення металевих конструкцій, а сталі 18Г2С, 25Г2С і 35ГС – для армування залізобетонних конструкцій. Конструкційні будівельні сталі поставляють у вигляді прутків, профілів, листів і широких смуг. Крім того, випускають вироби з цієї сталі – заклепки, болти, гайки, шайби, гвинти, цвяхи, поковки, а також сталеві канати.

### ***Конструкційні машинобудівні сталі і сплави загального призначення***

Основною споживчою вимогою до конструкційних машинобудівних сталей і сплавів загального призначення є наявність певного комплексу механічних властивостей з їх заданим розподілом по перетину виробу. Комплекс механічних властивостей, якщо не пред'являються будь-які спеціальні вимоги, включає характеристики міцності, пластичності, питомої роботи деформації і руйнування (ударної в'язкості).

За хімічним складом ці сталі представляють собою сталі:

- мало- і середньовуглецеві – 0,05...0,65% С;

- низько- і середньолеговані – Mn, Si, Cr, Ni та ін.

Більшість конструкційних леггованих сталей відноситься до перлітного класу, а в рівноважному стані – до класу доевтектоїдних. Легуючі елементи визначають переважно закалюємістю і прокаліваємістю і, в меншій мірі, механічні властивості (крім нікелю і молібдену, що поліпшують в'язкість). Найбільш широко застосовують марки 30ХГСН2А, 30ХГСН2МА, 25Х2ГНТРА, 30Х2ГСН2ВМ і 40ХН2СМА.

Конструкційні машинобудівні сталі і сплави загального призначення класифікуються за способом зміцнення як сталі: без термічної обробки, які зміцнюються в поверхневому шарі і які зміцнюються по всьому об'єму.

Рекомендованими режимами термічної обробки конструкційних вуглецевих якісних сталей в залежності від умов експлуатації виробів є нормалізація, гарт з відпусткою, поверхневий гарт з відпусткою.

Сталі (08кп, 10кп, 15кп, 08, Ст3), які використовуються без термічної обробки, поставляють, головним чином, в листах. Вони повинні мати знижений вміст вуглецю і кремнію, що забезпечує їх хорошу деформованість (штампуємість, витяжку, видавлювання та ін.) В холодному стані. Штампуємість листової сталі погіршується при наявності в ній великого і неоднорідного за розмірами зерна, третинного цементиту і інших структурних неоднорідностей.

При вимозі високої міцності поверхневого шару використовують

нітроцементування, цементування, азотування, а також гартування зі зниженою прокалюваністю (зміцнюється в поверхневому шарі) сталі. Так, в якості цементування вуглецевої сталі використовуються якісні і високоякісні сталі марок 15, 20. Після цементації, загартування у воді і низького відпустки поверхню сталі має високу твердість (HRC 58...62), що забезпечується мартенситною структурою, а серцевина не зміцнюється, так як в ній зберігається ферритно-перлітна мікроструктура.

Леговані цементовані сталі (15X, 15XA, 15XF, 12XН3А, 12X2Н4А, 20XГНР, 18XГТ і ін.) застосовують для деталей, більш сильно напружених, а також більших розмірів і складної форми – вали, осі, шестерні та ін. Легування в цьому випадку забезпечує кращу прокалюваність при більш міцній серцевині. В серцевині утворюються структури бейніта або низьковуглецевого мартенситу (HRC 30...45).

Для отримання високих міцнісних властивостей по всьому об'єму виробу застосовують поліпшення, тобто загартування в маслі, і високій (550...650°C) відпустці. При такій обробці поліпшується сталь, яка має структуру зернистого сорбіту, що забезпечує оптимальне поєднання міцності і в'язкості. До покращуваних відносяться сталі, що містять  $\approx 0,35\%$  С (вуглецеві і малолеговані) і 0,2...0,3% С (середньо- і високолеговані).

Здатність упрочнюється на ту чи іншу глибину при однаковому вмісті вуглецю визначається впливом легуючих елементів, але при невеликих перетинах виробів цей вплив менш помітно, а в деталях великого розміру у вуглецевих і менш легованих сталей механічні властивості значно нижче. Тому вибір марки сталі залежить як від рівня необхідних властивостей, так і від товщини виробу: наприклад, діаметр до 12...15 мм – сталі 35, 40, 45, 50; діаметр до 50...75 мм – 40XН, 25XГСА, 30XГС; діаметр 75...120 мм – 30XН3А, 40XН2МА. З сталей, що зміцнюються по всьому перетину, виготовляють осі, вали, шестерні, кривошипи, шпильки відповідного призначення, тонкостінні труби та ін.

### ***Конструкційні машинобудівні сталі і сплави спеціального призначення***

Спеціальне призначення конструкційних сталей і сплавів визначається вимогою до конкретного комплексу механічних, фізичних, фізико-хімічних і технологічних властивостей, необхідного для експлуатації виробів в суворо визначених умовах, наприклад, при дуже високій напрузі, низьких або підвищених температурах, динамічних або гідроабразивних навантаженнях, для спеціального призначення в приладах і апаратах електро- та радіотехнічної промисловості.

Залежно від хімічного складу сплави цієї групи поділяють на класи за основним елементом, що вміщується:

- сплави, що на залізонікелевій основі;
- сплави, що на нікелевій основі.

Класифікація машинобудівних сталей і сплавів за основною споживчою властивістю має наступні групи: *особливо високої міцності і в'язкості, корозійностійкі, зносостійкі, пружинні, автоматні, шарікоподшипникові і ливарні.*

**Сталі особливо високої міцності і в'язкості (мартенситно-старіючі)** за хімічним складом є безвуглецевими (менше 0,03% С) і високолегованими (Ni, Co, Mo, Cr, Ti, Вe і ін.). Ці сталі характеризуються такими споживчими властивостями:

$$\sigma_B = 1800 \dots 3000 \text{ МПа}; \delta > 10\%; \psi > 40\%; KCU = 0,3 \dots 2,5 \text{ кДж/м}^2.$$

Технологічні властивості мартенситно-старіючих сталей підвищені: хороша сварюваність, оброблювальність різанням і пластичність в загартованому стані; незначна деформація деталей при відпустці, що виконується після різання і створює необхідні високі механічні властивості. Мартенситно-старіючим сталей можна надати стійкість проти корозії і теплостійкість. Так, при додатковому легуванні хромом ( $\approx 12\%$ ) ці сталі стають стійкими проти корозії навіть в сильно агресивних середовищах (морській воді, кислотах і ін.).

Мартенситно-старіючі сталі – особливо високоякісні і через високу вартість застосовуються для виготовлення деталей найбільш відповідального призначення: Н18К9М5 – шестерень, валів, корпусів ракет; Н10Х12Д2Т – деталей хімічної апаратури, пружин; Н4Х12К15М4Т – штампів гарячого деформування, деталей теплоенергетичних установок і ін.

**Корозійностійкі сталі і сплави** в тому числі високолеговані, мають достатню стійкість проти корозії тільки в обмеженому числі середовищ. Вони обов'язково мають в своєму складі понад 12,5% Cr, роль якого полягає в утворенні на поверхні виробу захисної (пасивної) оксидної плівки, яка перериває контакт з агресивним середовищем. При цьому кращу стійкість проти корозії мають ті сталі і сплави, в яких весь вміст хрому доводиться на частку твердого розчину. Вміст вуглецю має бути невеликим, щоб зменшити перехід хрому в карбіди, так як це може знизити концентрацію хрому в захисній плівці. Для запобігання виділень карбідів хрому використовують також швидке охолодження з області  $\gamma$ -твердого розчину або легування титаном, ванадієм, ніобієм або цирконієм для зв'язування вуглецю в більш стійкі карбіди.

Фізико-хімічні властивості корозійностійких сталей змінюються в досить широкому діапазоні в залежності від структури.

Структура для найбільш характерних сплавів цього призначення може бути:

- ферритно-карбідною і мартенситною (12Х13, 20Х13, 20Х17Н2, 30Х13, 40Х13, 95Х18 – для слабких агресивних середовищ (повітря, вода, пар);
- ферритною (15Х28) – для розчинів азотної і фосфорної кислот;
- аустенитною (12Х18Н10Т) – в морській воді, органічних та азотній кислотах, слабких лугах;
- мартенситно-старіючою (10Х17Н13М3Т, 09Х15Н8Ю) – у фосфорній, оцтовій і молочній кислотах. Сплав 06ХН28МТ може експлуатуватися в умовах гарячих (до 60 °С) фосфорної і сірчаної (концентрації до 20%) кислот.

Корозійна стійкість сталей може бути підвищена термічною обробкою (загартуванням і високою відпусткою) і створенням шліфованої поверхні.

Корозійностійкі сталі і сплави класифікують в залежності від агресивності середовища, в якому вони використовуються, і за їх основною споживчою властивістю на власне *корозійностійкі, жаростійкі, жароміцні і криогенні*.

Вироби з власне корозійностійких сталей (лопатки турбін, клапани гідравлічних пресів, пружини, карбюраторні голки, диски, вали, труби та ін.) Працюють при температурі експлуатації до 550 °С.

З жаростійких і жароміцних машинобудівних сталей використовуються маловуглецеві (0,1...0,45% С) і високолеговані (Si, Cr, Ni, Co та ін.).

**Жаростійкі сталі і сплави** отримують на базі системи Fe + Cr + Ni з невеликою кількістю кремнію. Основною споживчою властивістю цих сталей є температура експлуатації, яка повинна бути більш 550 °С. Жаростійкі сталі стійкі проти газової корозії до 900...1200 °С в повітрі, пічних газах, в тому числі ті, що містять сірку (15X5, 15X6СМ, 40X9С2, 30X13Н7С2, 12X17, 15X28), окислювальних середовищах (20X20Н14С2), але можуть проявляти повзучість при додатку великих навантажень.

Жаростійкі сталі характеризуються температурою початку інтенсивного окислення. Величина цієї температури визначається вмістом хрому в сплаві. Так, при 15% Cr температура експлуатації виробів становить 950 °С, а при 25% Cr – 1300 °С. Жаростійкість залежить від хімічного складу сталі, а не від її структури, тому жаростійкість феритних і аустенітних сталей при рівній кількості хрому практично однакова.

Жаростійкі сталі і сплави використовуються для виробництва труб, листів, деталей високотемпературних установок, газових турбін і поршневих двигунів, пічних конвеєрів, ящиків для цементації і ін.

**Жароміцні сталі** повинні бути з високим опором хімічної корозії, але в той же час забезпечувати надійну роботу під навантаженням (тобто мати досить високі межі повзучості і тривалої міцності) при температурах експлуатації вище 400...450 °С. Температурний рівень жароміцності сплавів, в першу чергу, визначається міцністю міжатомного зв'язку, яка може бути оцінений рядом фізичних констант, в тому числі температурою плавлення. Однак при даній температурі плавлення жароміцність сильно залежить від температури рекристалізації. У зв'язку з цим сталі аустенітного класу мають більш високу жароміцність в порівнянні зі сталями перлітного класу.

При таких високих температурах експлуатації визначальну роль в руйнуванні грає не дислокаційна структура, а дифузійні процеси, що мають навіть при невеликих напругах спрямований характер і сприяють розвитку дифузійної повзучості. Так як дифузійні процеси найлегше протікають по межах зерен, що мають підвищену кількість дефектів будови, то крім хімічного складу на жароміцність істотно впливає структура металу. Зазвичай домагаються отримання легованого твердого розчину з вкрапленнями по межах зерен або всередині них дисперсних карбідних або інтерметалоїдних фаз. Більше зерно сприяє підвищенню жароміцності, хоча при цьому знижується пластичність. Надзвичайно важливий фактор – стабільність структури, так як переміщення атомів веде до збільшення повзучості.

Жароміцні сталі і сплави в своєму складі обов'язково містять нікель, який забезпечує суттєве збільшення межі тривалої корозійної міцності при незначному збільшенні межі текучості і тимчасового опору, і марганець. Вони можуть додатково леговані молібденом, вольфрамом, ніобієм, титаном, бором, йодом та ін. Так, мікролегування бором, а також рідкоземельними і деякими лужноземельними металами підвищують такі характеристики, як число оборотів при крученні, пластичність і в'язкість при високих температурах. Механізм цього впливу при мікролегуванні заснований на рафінуванні кордонів зерна і підвищення міжкристалічної міцності. Хімічний склад і структура цих сталей дуже різноманітні.

Робочі температури сучасних жароміцних сплавів складають приблизно 0,45...0,8  $t_{пл}$ . Ці сталі класифікують по температурі експлуатації: при 400...550°C – 15XM, 12X1MФ, 25X2M1Ф, 20X3MBФ; при 500...600 °C – 15X5M, 40X10C2M, 20X13; при 600...650 °C – 12X18H9T, 45X14H14B2M, 10X11H23T3MP, ХН60Ю, ХН70Ю, ХН77ТЮР, ХН56ВМКЮ, ХН62МВКЮ.

Жароміцні сталі і сплави застосовуються для виготовлення труб, клапанних, паро- і газотурбінних деталей (ротори, лопатки, диски та ін.).

**Кріогенні машинобудівні сталі і сплави** за хімічним складом є низьковуглецевими (0,10% C) і високолегованої (Cr, Ni, Mn і ін.) сталями аустенітного класу (08X18H10, 12X18H10T, 03X20H16AG6, 03X13AP9 та ін.). Основними споживчими властивостями цих сталей є пластичність і в'язкість, які з пониженням температури (20...-196 °C) або не змінюються, або мало зменшуються, тобто не відбувається різкого зменшення в'язкості, характерного при холодноламкості. Наприклад, для кріогенних сталей (ОН6А, ОН9А) після відповідної термічної обробки (подвійна нормалізація і відпустку або гарт у воді і відпустку) характерно при зниженні температури підвищення межі повзучості від 400 до 820 МПа. Кріогенні машинобудівні сталі класифікують по температурі експлуатації в діапазоні -296...-196 ° C і використовують для виготовлення деталей кріогенного обладнання.

**Зносостійкі сталі** за хімічним складом можуть бути високовуглецевими (1,1...1,3 % C) чи маловуглецевими і високолегованими (Si, Mn, Cr, Ni та ін.). Основне споживча властивість цих сталей – висока стійкість деталей при корозії кавітації і механічному зношуванні при значних ударних навантаженнях. Ці сталі (12X18H9T, 30X10Г10, 0X14AG12, 0X14AG12M, Г13) застосовують частіше в литому або кованому (катанні) стані, так як їх загальна технологічна властивість – знижена різанням. Зносостійкі сталі використовуються для виготовлення лопатей гідротурбін і гідронасосів, хрестовин рейок, шік дробарок, черпаків землерийних машин, траків та ін.

**Пружинні сталі і сплави** середньовуглецеві (0,60...0,80% C), низьколеговані (Mn, Si, Cr, Ni та ін.) сталі, що володіють високими механічними властивостями, в першу чергу, високими межами пружності і міцності, а також підвищеною релаксаційною стійкістю при достатній в'язкості і пластичності. Для отримання цих властивостей сталі повинні містити більше 0,5% C і бути здатними до термічної обробки – гартуванню та відпуску. Пружинні сталі (сталі 65Г, 70, 75; 50ХА, 55ХГР, 55С2, 60С2, 50ХФА,

60С2ХФА, 65С2ВА, 70С2ХА) в основному використовуються для виготовлення пружин і ресор.

Крім розглянутих вище пружинних сталей загального призначення в машинобудуванні широко використовуються **пружинні сталі спеціального призначення**, до яких крім вимоги високих механічних властивостей можуть пред'являтися додаткові вимоги за фізико-хімічними властивостями: немагнітність, корозійна стійкість, низький або постійний температурний коефіцієнт модуля пружності та ін.

**Автоматні сталі** містять 0,08...0,45% вуглецю і підвищений вміст сірки (0,05...0,3%), фосфору (0,05...0,16%) і часто марганцю (0,6...1,55%). Збагачення кордонів зерен фериту розчиненням у ньому фосфора і утворення тендітних включень (MnS та ін.). На кордонах зерна сталей полегшують різанню, сприяють дробленню і легкому відділенню стружки, забезпечуючи чистоту оброблюваної поверхні. Термін служби ріжучого інструменту при обробці автоматних сталей збільшується. Поліпшення оброблюваності сталі досягається також мікролегуванням свинцем, селеном, кальцієм. Однак введення цих елементів знижує міцність сталей, тому їх застосовують для виготовлення маловідповідальних деталей, від яких не вимагається високих механічних властивостей.

Автоматні сталі отримали своє найменування у зв'язку з їх обробкою на верстатах-автоматах з підвищеною швидкістю різання для виготовлення деталей масового попиту (шайби, болти, гайки, шпильки і деякі інші деталі автомобілебудування). В позначенні марки перша літера А вказує, що сталь автоматна; цифри в ній показують вміст вуглецю в сотих частках відсотка (наприклад, АН, А40Г). Присутність свинцю позначає літера С (наприклад, АС35Г2), кальцію – літера Ц (АЦ45Х, АЦ40Г2 і ін.), Селену – літера Е (А35Е, А40ХЕ та ін.).

Шарикопідшипникові сталі по хімічному складу повинні бути високовуглецевими (0,95...1,05% С), низьколегованими (Cr, Si, Mn та ін.). Жорсткі вимоги пред'являються до чистоти по неметалевих включеннях, карбідної сітки, карбідної ліквіції, пухкості і пористості металу. Мікроструктура сталі в робочому стані – дрібногольчатий (приховано кристалічний) мартенсит з рівномірно розподіленими округлими включеннями карбідів. Основні споживчі властивості цих сталей – підвищені твердість (61...65 НРС), зносостійкість і опір контактної втоми.

Шарикопідшипникові хромисті сталі позначаються літерами ШХ на початку марки; вміст хрому в цих сталях вказується в десятих частках відсотка після літерного позначення (ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ та ін.). В кінці марки може бути зазначено вид металургійного переплаву: Ш – електрошлаковий (ШХ15Ш); ВД – вакуумно-дугового (ШХ15ВД).

**Ливарні сталі** містять до 0,9% Mn, до 0,52% Si і не більше 0,06% S і 0,08% P. При твердінні виливків формуються великі зерна аустеніту, всередині яких при подальшому охолодженні в сталях з вмістом вуглецю менш 0,4% утворюються спрямовані пластини надлишкового фериту (відманштеттова структура). Зі збільшенням вмісту вуглецю частка фериту, що утворює

відманштеттову структуру, зменшується, а частка фериту у вигляді рівноосних зерен зростає. Лита сталь з відманштеттовою структурою має низькі пластичність і ударну в'язкість, і для підвищення величин цих властивостей виливки з сталей, що містять менше 0,4% С, піддають повному відпалу або нормалізації.

Ливарні властивості сталей значно гірше, ніж чавунів і більшості ливарних кольорових сплавів. Труднощі при литті створюють висока температура плавлення, низька текучість, велика лінійна усадка (до 2,3%) і схильність до утворення гарячих ливарних тріщин.

Низьковуглецеві ливарні сталі застосовують для виготовлення деталей, що піддаються ударним навантаженням; арматури; деталей зварювально литих конструкцій. Середньовуглецеві ливарні сталі застосовують для відливання станин і валків прокатних станів, великих шестерень, зубчастих коліс. Сталеві виливки часто піддають термічній обробці для зменшення ливарних напруг.

Ливарні леговані сталі за властивостями поступають вуглецевої сталі через те, що при легуванні розширюється інтервал кристалізації і зменшується теплопровідність і, отже, зростають термічні напруги. Ливарні леговані сталі поділяють на конструкційні та високолеговані зі спеціальними властивостями.

Багато ливарних сталей мають ту ж марку, що і деформуючи, відрізняючись лише літерою Л в кінці марки (15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л і 35ХМЛ, 35ХГСЛ, 12Х18Н9ТЛ і ін.). В цьому випадку хімічний склад ливарної сталі практично такий же, як у деформуємої, і відрізняється лише допустимою кількістю шкідливих домішок (в ливарної сталі воно дещо більше). Однак чимало легованих сталей розроблено спеціально в якості ливарного і не мають аналога серед деформуємих (наприклад, сталь 20ФЛ, що застосовується для відливання великогабаритних деталей вантажних вагонів, і сталь 08ГДНФЛ – для виготовлення відповідальних великих деталей в суднобудуванні, що працюють до - 60 °С).

### ***2.1.1.8. Інструментальні сталі і сплави***

Інструментальні сталі і сплави - литі тверді сплави.

***Тверді сплави*** – матеріали з високою твердістю, міцністю, ріжучими та іншими властивостями, які зберігаються при нагріванні до високих температур. Розрізняють литі і спечені (порошкові) тверді сплави.

Інструментальні сталі призначені для виготовлення ріжучого і вимірювального інструмента, штампів холодного і гарячого деформування, а також ряду деталей точних механізмів і приладів: пружин, підшипників кочення, шестерень та ін. Часто з таких сталей виготовляють тільки робочу (ріжучу) частину інструменту, а кріпильні частини виконують з конструкційних сталей.

Основними споживчими вимогами до інструментальних сталей є високі твердість, зносостійкість і міцність при хорошій (500...800 °С) теплостійкості. Крім експлуатаційних властивостей для інструментальних сталей велике значення мають технологічні властивості: прокалюваність, малі об'ємні зміни при загартуванні, оброблюваність тиском, різанням, шліфуємість.



Необхідні властивості інструментальним сталям надають карбідні фази, так як саме їх присутність обумовлює високі показники міцності і твердість (рис. 2.3).

Для забезпечення необхідних властивостей застосовують спеціальне легування і термічну обробку. Так, забезпечення теплостійкості досягається легуванням сталей вольфрамом, молібденом, ванадієм, а легування хромом і марганцем підвищують їх прокалюваність.

Термічна обробка інструментальних сталей, як правило, включає загартування і низький відпуск. В результаті такої обробки отримують міцність сталей 60...65 HRC, а межа міцності при вигині  $\sigma_B = 250...350$  МПа. Режими термічної обробки в залежності від хімічного складу сталей і вимог до їх твердості і міцності встановлені.

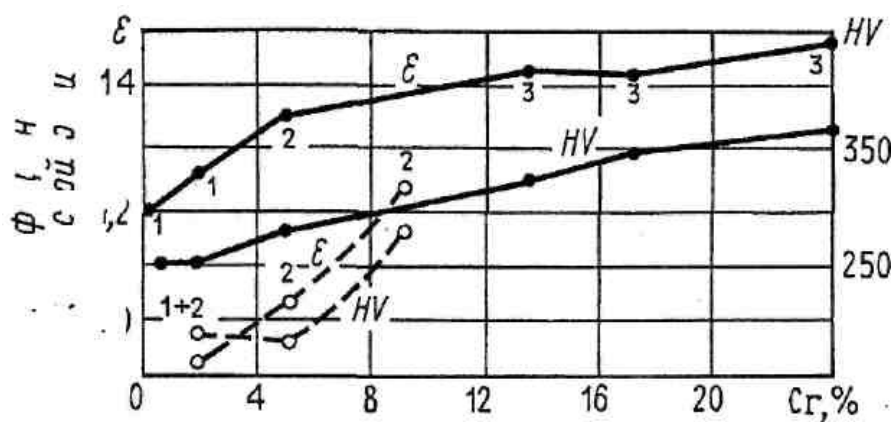


Рис. 2.3. Вплив вмісту хрому і типу карбідів в хромистих сталях на твердість НВ зносостійкість  $\epsilon$  при терті по абразиву.

Штрихові лінії – сплави, що містять 0,4% С; суцільні лінії – сплави, що містять 1 % С; 1 –  $Fe_3C$ ; 2 –  $Cr_7C_3$ ; 3 –  $Cr_{23}C_6$

Інструментальні сталі класифікуються за основними споживчими властивостями на *сталі високої твердості, сталі підвищеної в'язкості і теплостійкі сталі*. Сталі високої твердості і підвищеної в'язкості використовуються як нетеплостійка.

Інструментальні сталі високої твердості за хімічним складом можуть бути *високовуглецевими* (0,68...1,35 % С) і *низьколегованими* (Mn, Si, Cr та ін.). Структура цих сталей після термообробки – мартенсит і перліт. Температура експлуатації для виробів з таких сталей до 190...225 °С; при цьому їх твердість – 60...68 HRC.

Інструментальні сталі високої твердості (У10...У13, У10А...У13А, 13Х, ХВСГ, 9ХФ, 7ХГ2ВМ та ін.) Класифікують за прокалюваністю на сталі невеликої, підвищеної і високої прокалюваності. Величина прокалюваності визначає розмір виробу. Так, інструментальні сталі невеликої прокалюваності використовують для виготовлення тонкого інструменту діаметром менше 12...15 мм, а сталі високої прокалюваності – для масивного інструменту та інструменту складної форми.

Сталі підвищеної в'язкості за хімічним складом – середньовуглецеві (0,60...0,74% С), середньолеговані (Mn, Si, Cr та ін.). Для виробів з цих сталей температура експлуатації, як правило, менш 200 °С, а їх твердість – 62 HRC. Сталі підвищеної в'язкості (У7, У7А, 7ХФ, 6ХС) використовуються для виготовлення інструментів для обробки деревини (пилки, ножі та ін.).

Інструментальні теплостійкі сталі по температурі експлуатації в свою чергу ділять на сталі *власне теплостійкі* (500...800 °С) і *напівтеплостійкі* (до 500 °С). За хімічним складом ці сталі є вуглецевими (0,22...1,65% С), високолегованими (Mn, Si, Cr, W, Мо та ін.).

Теплостійкі сталі високої твердості об'єднують в групу так званих *швидкорізальних сталей*, маркуються літерою Р (ріжучі). Після літери Р у марці слідує цифра, яка вказує середній вміст у відсотках вольфраму – головного легуючого елемента цих сталей (літера В – його умовне позначення – пропускається); потім вказуються прийнятими в позначенні, як і в інших сталях, літерами інші легуючі елементи з цифрами, що вказують їх вміст у відсотках, якщо це вміст більше 1...2%. До складу всіх швидкорізальних сталей неодмінно входять вуглець (0,8...1,25%), хром (близько 4%) і ванадій (1...2%), вміст яких в марці не вказується.

Фазовий склад швидкорізальних сталей в відпаленому стані представлений легованим феритом і карбідами МбС, МгзСб, МС, МзС. Основним карбідом є МбС. Кількість карбідної фази в сталі Р18 досягає 25...30%, а в сталі Р6М5 – 22%.

Обробка швидкорізальних сталей включає гарячу ковку литих заготовок, відпал, загартування і багаторазова (частіше триразова) відпустка. Структура після гарту: мартенсит + карбіди + залишковий аустеніт. Відпустка викликає перетворення залишкового аустеніту в мартенсит і дисперсійне твердіння. Це супроводжується збільшенням до HRC 64 твердості (вторинна твердість) за рахунок виділення часток цементиту. Для поліпшення ріжучих властивостей і підвищення зносостійкості деякі види інструментів піддають низькотемпературному (540...570 °С) ціануванню, в результаті якого на поверхні сталі утворюється тонкий шар високої твердості (1000...1100 НV).

Напівтеплостійкі (Х12М, 5ХНМ) і теплостійкі (Р12, Р6М5, Р18; Р12Ф3, Р13Ф4К5, Р9М4К8; В11М7К23, 4Х5МФС, 4Х5В2ФС, 4Х4ВМФС, 45Х3В3МФС, 2Х8В8М2К8) сталі використовуються для виготовлення ріжучих інструментів (наприклад, фрези, свердла) і штампів, пуансонів. Для інструментальних сталей при температурі експлуатації до 650 °С твердість повинна бути 60...62 HRC, а для штампових – 45...52 HRC до 700 °С.

Інструментальні сталі для вимірювального інструмента (плиток, калібрів, шаблонів) крім твердості і зносостійкості повинні зберігати сталість розмірів і добре шліфуватися. Зазвичай використовують сталі У8...У12, Х, ХВГ, Х12Ф1. Необхідні вимоги забезпечують застосуванням обробки холодом до -60 °С (нерідко багаторазової) і відпустки при 120...130 °С безпосередньо після гарту.

Вимірювальні скоби, шкали, лінійки та інші плоскі і довгі інструменти виготовляють з листових сталей 15, 15Х. Для отримання робочої поверхні з високою твердістю і зносостійкістю інструменти піддають цементації і загартуванню.

### **2.1.1.9. Сталі і сплави з особливими фізичними властивостями**

До сталей і сплавів з особливими фізичними властивостями відносяться ті, працездатність яких оцінюється не тільки по механічним, але і по ряду інших (теплофізичних, магнітних, електричних та ін.) властивостей необхідного рівня.

Сталі і сплави з особливими фізичними властивостями часто називають *прецизійними*.

**Прецизійні сплави** – металеві сплави з особливими фізичними властивостями (магнітними, електричними, тепловими, пружними) або рідкісним поєднанням властивостей, рівень яких в значній мірі обумовлений точністю хімічного складу, відсутністю домішок, ретельністю виготовлення та обробки.

Сталі і сплави з особливими фізичними властивостями мають дуже широкий діапазон використання. Найбільше поширення мають сталі і сплави:

- з заданим температурним коефіцієнтом лінійного розширення;
- з високим електроопором (при підвищеній жаростійкості);
- магнітні сталі і сплави.

**Сталі і сплави з заданим температурним коефіцієнтом лінійного розширення** призначені для впаювання виробів на їх основі в скляні і керамічні корпуси вакуумних приладів. Хімічний склад цих сплавів базується на системі Fe + Ni + Co з невеликою кількістю міді. Точний склад кожного сплаву встановлюється для конкретного виду скла або кераміки, що використовуються у виробках, з умови рівності їх температурних коефіцієнтів лінійного розширення. Наприклад, сплав 29НК (29% Ni, 18% Co, решта Fe) з  $\alpha = (4,6...5,5) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , що має назву **ковар**, призначений для вакуумних впаїв в молібденові скла. Для виготовлення деталей, спаюється зі склом (наприклад, в телевізійних кінескопах), застосовують більш дешеві феритні залізохромисті сплави 18ХТФ і 18ХМТФ, мають  $\alpha = 8,7 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Особливе місце в сплавах з заданим температурним коефіцієнтом лінійного розширення займають сплави з малим коефіцієнтом, істотно не змінюються в високотемпературній області. Ці сплави призначені для виготовлення деталей вимірювальних приладів і технічних засобів. Промислове значення має сплав **інвар** на базі заліза і нікелю (36 %) з невеликою (0,05%) кількістю вуглецю. Для цього сплаву величина температурного коефіцієнта лінійного розширення  $\alpha = (1...1,5) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , причому зміна величини коефіцієнта при температурах 600...700 °С відбувається дуже плавно за рахунок феромагнітного ефекту. Ці сплави використовують для деталей, впаюються в неорганічні діелектрики – скло, кераміку, слюду та ін.

**Сталі і сплави з високим електроопором** повинні поєднувати високий опір (1,06...1,47 мкОм·м, що більш ніж в 10 разів вище, ніж у низьковуглецевої сталі) і мати жаростійкість 1000...1350 °С. До технологічних властивостей таких сплавів пред'являються вимоги високої пластичності, що забезпечує хорошу деформованість на прутки, смугу, дріт і стрічки, в тому числі малих перетинів, а до споживчих – малу величину температурного коефіцієнта лінійного розширення. Для цих сплавів використовуються системи Fe + Cr + Al, Fe + Ni +

Cr і Ni + Cr. Їх мікроструктура являє собою тверді розчини з високим вмістом легуючого елемента. Чим більше в сплавах хрому і алюмінію, тим вище їх жаростійкість. Кількість вуглецю в сплавах суворо обмежують (0,06...0,12%), так як поява карбідів знижує пластичність і скорочує термін експлуатації виробів.

Найбільшого поширення в техніці набули сплави феритного класу: X13Ю4 (*фехраль*), 0X23Ю5 (*хромель*) і 0X27Ю5А. Ці сплави малопластичні, тому вироби з них, особливо великі, слід виконувати при підігріві до 200...300 °С. Опір повзучості феритних сплавів невелика, тому нагрівачі при високих (1150...1200 °С) температурах нерідко провисають під дією власної ваги.

Високим електроопору володіють сплави на основі нікелю – X20Н80 (*ніхроми*). Ніхроми з залізом називають *ферохромами*, наприклад, сплав X15Н60, що містить 25% Fe. Фероніхроми володіють більш високими технологічними властивостями і дешевше, ніж ніхроми.

Сталі і сплави з високим електроопором призначені для виготовлення деталей і елементів нагрівальних приладів, реостатів, а також резисторів, терморезисторів, тензодатчиків та ін.

**Магнітні сталі і сплави** класифікують на *магнітно-тверді*, *магнітно-м'які* і *парамагнітні*.

Магнітно-тверді сталі і сплави за своїми споживчими властивостями характеризуються високими коерцитивною силою і залишковою індукцією і відповідно високою магнітною енергією ( $B_{гНс})_{\max}$ .

За хімічним складом промислові магнітно-тверді сталі і сплави в порядку зростання їх коерцитивної сили і магнітної енергії є:

- високовуглецеві сталі (1,2...1,4% С);
- високовуглецеві (1% С) сплави заліза з хромом (до 2,8%), леговані кобальтом;
- високовуглецеві сплави заліза, алюмінію, нікелю і кобальту, так звані *алніко*.

Легуючі елементи підвищують, головним чином, коерцитивну силу і магнітну енергію, а також покращують температурну і механічну стабільності постійного магніту.

У вуглецевих магнітно-твердих сталях необхідні властивості ( $H_c = 5200$  А/м) забезпечуються не рівноважною мартенситною структурою з високою щільністю дефектів. У сплавах заліза з хромом (наприклад, EX3) високі споживчі властивості забезпечують магнітна і кристалографічна текстури, одержувані в результаті термообробки, що включає нормалізацію і високу відпустку або загартування і низьку відпустку. Найбільш високі властивості ( $H_c = 500$  Е), що досягаються в сплавах алніко, реалізуються за рахунок виділення інтерметаліда NiAl і наявності магнітної і кристалографічної текстур. Для сплавів алніко використовують при термообробці нагрів до 1300 °С з наступним охолодженням зі швидкістю 0,5...5 °С/с в магнітному полі.

Позначають магнітно-тверді сталі індексом «Е», вказуючи далі літерою з цифрою наявність хрому і його вміст в цілих відсотках (наприклад, EX2, EX3).

Магнітно-тверді сталі і сплави використовуються для виготовлення різного роду постійних магнітів. У промисловості найбільш широко застосовують сплави типу *алніко* (ЮНДК15, ЮН14ДК25А, ЮНДК31ТЗБА та ін.). Ці сплави тверді, крихкі і не піддаються деформації, тому магніти з них виготовляють литтям. Після лиття проводять тільки шліфування.

Магнітно-м'які сталі і сплави відрізняються легкою намагнічуваністю у відносно слабких магнітних полях. Їх основними споживчими властивостями є висока магнітна проникність, низька коерцитивна сила, малі втрати на вихрові струми і при перемагнічуванні. Ці властивості забезпечує гомогенна (чистий метал або твердий розчин) структура, чиста від домішок. Магнітно-м'які матеріали повинні бути повністю рекристалізовані для усунення внутрішніх напружень, так як навіть слабкий наклеп істотно знижує магнітну проникність і підвищує коерцитивну силу. Магнітна проникність зростає при мікроструктурі з більш великих зерен.

За хімічним складом промислово застосовуються магнітно-м'які (електротехнічні) сталі і сплави, які діляться на:

- низьковуглецеві (0,05...0,005% С) з вмістом кремнію 0,8...6,0%;
- сплави заліза з нікелем.

У низьковуглецевих сталях кремній, утворюючи з  $\alpha$ -Fe твердий розчин, збільшує електричний опір і, отже, зменшує втрати на вихрові струми; крім того, кремній підвищує магнітну проникність, трохи знижує коерцитивну силу і втрати на гістерезис внаслідок викликається ним зростання зерна, графітузуючої дії і кращого розкислення сталей. Однак кремній знижує індукцію в сильних магнітних полях і підвищує крихкість, особливо при його утриманні 3...4%.

Залізонікелеві сплави з вмістом нікелю 36...83%, мають назву *пермалої*, мають найбільш високі споживчі властивості. Для поліпшення тих чи інших характеристик в їх склад вводять хром, молібден, мідь та ін. Величина їх магнітної проникності перевершує аналогічні показники для низьковуглецевих сталей в  $15 \cdot 10^3$  разів. Пермалої – сплави, що легко деформуються. Однак деформація значно погіршує їх початкові магнітні властивості. Для відновлення властивостей проводять термообробку по строго розробленому режиму: швидкість нагріву (до 900...1000 °С), витримка і швидкість охолодження. Застосовують їх в апаратурі, що працює в слабких частотних полях (телефон, радіо).

Для електротехнічних сталей прийняте маркування, що засноване на кодуванні. В позначенні марки використовують чотири цифри, причому їх значення відповідають кодам, що містять наступну інформацію:

*перший* – структура матеріалу (за наявністю і ступеню текстури) і вид прокати (гаряча або холодна деформація);

*другий* – хімічний склад за вмістом кремнію;

*третій* – величини втрат теплових і на гістерезис;

*четвертий* – значення споживчої властивості, що нормується.

Електротехнічні сталі виготовляють у вигляді рулонів, листів і різаної стрічки. Вони призначені для виготовлення магнітопроводів постійного і

змінного струму, якорів і полюсів електротехнічних машин, роторів, статорів, магнітних ланцюгів трансформаторів та ін.

**Парамагнітними сталями** є аустенітні сталі 12X18H10T, 17X18H9, 55Г9Н9ХЗ, 40Г14Н9Ф2 та ін. Їх хімічний склад базується на системі Fe + Cr + Ni + Ti. Основними споживчими властивостями є немагнітність і висока міцність. Необхідна міцність досягається при деформаційному і дисперсійному зміцненні виробів. До недоліків цих сталей і сплавів слід віднести низьку межа плинності (150...350 МПа), що обмежує сферу застосування тільки конструкції, що мало навантажені.

Парамагнітні сталі і сплави застосовують для виготовлення немагнітних деталей конструкцій в електротехніці, приладобудуванні, суднобудуванні і спеціальних областях техніки. Підвищення зносостійкості деталей, що працюють у вузлах тертя, досягається азотуванням (сталі 40Г14Н9Ф2 та ін.).

### **2.1.1.10. Старіння вуглецевої сталі**

Під **старінням** розуміють зміну властивостей **сталей**, що протікає в часі без помітної зміни мікроструктури.

Старіння сталей можна умовно розділити на три види: *термічне*, *деформаційне* (механічне) і *термодеформаційне*. Термодеформаційне старіння пов'язане з можливістю одночасного протікання термічного і деформаційного старіння.

**Термічне старіння** протікає в результаті зміни розчинності вуглецю і азоту в  $\alpha$ -залізі при підвищенні температури. Якщо в сталях при попередньої термічній обробці був зафіксований пересичений  $\alpha$ -твердий розчин (як, наприклад, при зварюванні, охолодженні тонкого листа після прокатки та ін.), то при подальшій її витримці при нормальній температурі (природне старіння) або при підвищеній (50...100 °С) температурі (штучне старіння) відбувається розпад твердого розчину з виділенням третинного цементиту у вигляді дисперсних частинок. Старіння технічного заліза може бути пов'язано також і з виділенням з твердого розчину частинок нітридів  $Fe_{16}N_2$  або  $Fe_4N$ .

Термічне старіння помітно протікає в низьковуглецевих сталях. При більш високому вмісті вуглецю внаслідок зародкового впливу великої кількості цементитних частинок, що утворилися при перлітному перетворенні, самостійного виділення третинного цементиту не спостерігається.

**Деформаційне старіння** протікає після пластичної деформації, якщо вона відбувається при температурі нижче температури рекристалізації, і особливо при 20 °С. Деформаційне старіння розвивається протягом 15...16 діб при 20 °С і протягом декількох хвилин при 200...350 °С. При деформаційному старінні відбувається зміцнення, що пов'язано в основному з погіршенням умов руху дислокацій і утворенням карбідних і нітридних фаз при нагріванні.

Термічне і деформаційне старіння підвищують міцність і твердість, але одночасно різко знижують ударну в'язкість і підвищують поріг холодоламкості.

Старіння негативно позначається на експлуатаційних і технологічних властивостях багатьох сталей. Воно може протікати в будівельних і мостових сталях, що піддаються пластичній деформації при згинанні, монтажі,

зварюванні, і, посилюючись зхрупчуванням при низьких температурах, стати причиною руйнування конструкції. Розвиток деформаційного старіння різко погіршує штампуємість листової сталі.

Схильність сталей до старіння знижується при модифікуванні алюмінієм, титаном і ванадієм.

### 2.1.2. Чавуни

**Чавун** – сплав Fe (основа) з C (зазвичай 2...4%), що містить постійні домішки (Si, Mn, S, P), а іноді і легуючі елементи (Cr, Ni, V, Al та ін.); як правило, крихкий.

Вуглець в чавуні може знаходитися у вигляді цементиту, графіту або одночасно у вигляді цементиту і графіту. Утворення стабільної фази – графіту в чавуні може відбуватися в результаті безпосереднього виділення його з рідкого (твердого) розчину або внаслідок розпаду попередньо утвореного цементиту (при уповільненому охолодженні розплавленого чавуну цементит може піддатися розкладанню  $Fe_3C \rightarrow Fe + 3C$  з утворенням фериту і графіту). Процес утворення в чавуні (сталі) графіту називають **графітизацією**.

Графіт підвищує зносостійкість і антифрикційні властивості чавуну внаслідок власної мастильної дії і підвищення міцності плівки мастильного матеріалу. Чавуни з графітом, як м'якої і крихкої складової, добре обробляються різанням (з утворенням ламкої стружки) і забезпечують більш чисту поверхню, ніж сталі (крім автоматних сталей).

Присутність евтектики в структурі чавунів обумовлює його використання виключно в якості ливарного сплаву. Високі ливарні властивості при невеликій вартості забезпечили широке застосування чавунів в промисловості.

Механічні властивості чавуну обумовлені, головним чином, кількістю і структурними особливостями графітної складової. Вплив графітних включень на механічні властивості чавуну можна оцінити кількісно. Чим менше графітних включень, чим вони дрібніші і більше ступінь їх ізольованості, тим вище міцність чавуну при одній і тій же металевій основі. Найбільш високу міцність забезпечує куляста форма графітної складової, а для пластівчастої складової характерні високі пластичні властивості. Чавун з пластинчастим графітом можна розглядати як сталь, в який графіт грає роль надрізів, що послаблюють металеву основу.

Застосовувані для виливків чавуни мають в середньому склад: C – 2...4%, Si – 1,5...4%, Mn – 0,6...1,25%, P – 0,1...1,2%, S < 0,06%.

Вуглець визначає кількість графіту в чавуні: чим вище його вміст, тим більше утворюється графіту і тим нижче механічні властивості. У той же час для забезпечення високих ливарних властивостей (хорошої рідкоплинності) має бути не менше 2,4% C.

Кремній дуже впливає на структуру і властивості чавунів, так як величина температурного інтервалу, в якому в рівновазі з рідким сплавом знаходяться аустеніт і графіт, залежить від його вмісту. Чим більше вміст кремнію, тим ширше евтектичний інтервал температур. Таким чином, кремній сприяє процесу графітизації, діючи в тому ж напрямку, що і уповільнення швидкості

охолодження. Змінюючи, з одного боку, зміст в чавуні вуглецю і кремнію, а з іншого – швидкість охолодження, можна отримати різну структуру металевої основи чавуну.

Сірка і марганець є шкідливими технологічними домішками, вміст яких в чавунах обмежують. Сірка погіршує механічні та ливарні властивості. І сірка, і марганець перешкоджають графітизації.

Фосфор не впливає на графітизацію, а при підвищеному (до 0,4...0,5%) вмісті підвищує зносостійкість чавунів, так як утворюються тверді включення фосфідної евтектики.

Найпоширенішим видом термообробки чавунів є відпал виливків при 430...600 °С для зменшення ливарних напруг, які можуть викликати навіть викривлення фасонних виробів. Нормалізація чавуну проводиться для аустенізації феритної і феритно-перлітної матриць і подальшого перлітного перетворення, що забезпечує зміцнення. Загартування чавуну на мартенсит з нагріванням до 850...930 °С і охолодженням у воді і олії застосовують для підвищення міцності і зносостійкості. Після гарту проводять низьку відпустку (200 °С) для зменшення гартівних напруг або високу відпустку (600...700 °С) для отримання мікроструктур сорбіту або зернистого перліту, які забезпечують підвищену в'язкість.

Класифікацію чавунів проводять *по виду і формі структурної складової, що вміщує вуглець*, тобто по наявності і формі графіту.

По виду структурної складової виділяють чавуни без графіту – *білі чавуни*, в яких практично весь вуглець знаходиться в хімічно пов'язаному стані в виді цементиту. Проміжне положення займає *половинчастий чавун*, більша (0,8 %) частина вуглецю якого знаходиться в  $Fe_3C$ . Структура половинчастого чавуна – перліт, ледебурит і пластинчатий графіт.

Чавуни з графітом в залежності від форми останнього поділяють на *сірі, ковкі* и *високоміцні*. Сірими називають чавуни, в структурі яких графіт має пластинчасту форму. У ковких чавунах графіт має пластівчасту форму, в високоміцних чавунах – кулясту. До числа високоміцних відносять також чавуни з графітом *вермикулярної* (греч. – черв'ячок) форми, які за властивостями займають проміжне положення між чавунами з кулястим і пластинчастим графітом.

**Білі чавуни** (передільні) рідко використовуються в народному господарстві в якості конструкційних матеріалів, так як через великий вміст цементиту дуже крихкі і тверді, з працею відливаються і обробляються інструментом. З них роблять деталі гідромашин, піскометів і інших конструкцій, що працюють в умовах підвищеного абразивного зношування. Для збільшення зносостійкості білі чавуни легують хромом, ванадієм, молібденом і іншими карбідоутворюючими елементами. Маркування білих чавунів не встановлено.

Різновидом білих чавунів є вибілені чавуни. Поверхневі шари виробів з таких чавунів мають структуру білого (або половинчастого) чавуну, а серцевина – сірого чавуну. Відбілювання на деяку глибину (12...30 мм) отримують шляхом швидкого охолодження поверхні (наприклад, виливок



чавуну в металеві або піщані форми). Для зняття структурних напружень, які можуть привести до утворення тріщин, виливки піддають нагріванню при 500...550 °С. Висока зносостійкість вибілених чавунів обумовлена твердістю поверхні, що досягає 400...500 НВ. З вибіленого чавуну виготовляють прокатні валки листових станів, колеса, кулі для млинів та ін.

**Сірі чавуни.** Структура сірого (ливарного) чавуну складається з металевої основи з графітом пластинчастої форми, вкрапленим в цю основу. Така структура утворюється безпосередньо при кристалізації чавуну в литві відповідно до діаграми стану системи Fe-C (стабільної). Причому, чим більше вуглецю і кремнію в сплаві і чим нижче швидкість його охолодження, тим вище ймовірність кристалізації по цій діаграмі з утворенням графітної евтектики. При низькому вмісті вуглецю і кремнію чавун модифікують невеликими дозами деяких елементів (наприклад, алюміній, кальцій, церій).

**Модифікування металів** – введення в металеві розплави модифікаторів, тобто речовин, невеликі кількості яких (зазвичай не більше десятих часток %) сприяють створенню додаткових штучних центрів кристалізації, і отже, утворення структурних складових в подрібненій або округлій формі, що покращує механічні властивості металу.

Для характеристики структури сірого чавуну необхідно визначати розміри, форму, розподіл графіту, а також структуру металевої основи. У звичайному сірому чавуні при повільному охолодженні під час кристалізації графіт дуже слабо розгалужується. Він схожий на розетку з невеликим числом вигнутих пелюстків.

Механічні властивості сірих чавунів залежать від властивостей металевої основи і, головним чином, від кількості, форми і розмірів графітних включень. Перлітна основа забезпечує найбільші значення показників міцності і зносостійкості.

Марки сірих чавунів складаються з літер «СЧ» і цифр, відповідних мінімальній межі міцності при розтягуванні  $\sigma_b$ , МПа/10. Чавун СЧ10 – феритний; СЧ15, СЧ18, СЧ20 – феритно-перлітні чавуни, починаючи з СЧ25 – перлітні чавуни.

На частку сірого чавуну з пластинчастим графітом припадає близько 80% загального виробництва чавунних виливків. Сірі чавуни мають високі ливарні якості (рідиноплинність, мала усадка, незначний пригар металу до форми та ін.). Добре обробляються і чинять опір зносу, однак через низькі міцності і пластичних властивостей в основному використовуються для невідповідальних деталей. У верстатобудуванні сірий чавун є основним конструкційним матеріалом (станини верстатів, столи і верхні санчата, колонки, каретки та ін.); в автомобілебудуванні з феритно-перлітних чавунів роблять картери, кришки, гальмівні барабани та ін., а з перлітних чавунів – блоки циліндрів, гільзи, маховики та ін. В будівництві сірий чавун застосовують, головним чином, для виготовлення деталей, що працюють при стисненні (черевиків, колон), а також санітарно-технічних деталей (опалювальних радіаторів, труб). Значна кількість чавуну витрачається для виготовлення тюрбін, з яких споруджується тунель

метрополітену. З сірого чавуну, що містить фосфор (0,5%), виготовляють архітектурно-художні вироби.

**Ковкі чавуни** з пластівчастою формою графіту одержують з білих доєвтектичних чавунів, наражаючи їх спеціальним графітуючим відпалом. Графітуючий відпал білого чавуну заснований на метастабільності цементиту і складається зазвичай з двох стадій (рис. 2.4).

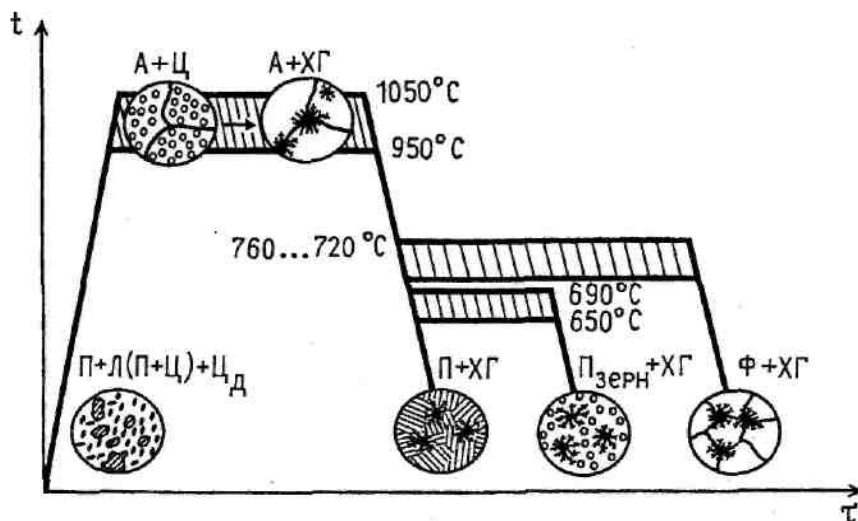


Рис. 2.4. Схема відпалу білого чавуну на ковкий

Перша стадія (950...1050 °С) підбирається по тривалості такою, щоб весь цементит, що знаходиться в структурі виливки, розпався на аустеніт і пластівчастий графіт. Процес графітоутворення полегшується при модифікуванні (наприклад, алюмінієм і бором). Чавун, отриманий таким чином, називається **модифікованим**.

На другій стадії графітуючого відпалу при температурі евтектоїдного перетворення формується металева основа ковкого чавуну. Залежно від режимів охолодження ковкі чавуни можуть мати перлітну (безперервне охолодження), феритну (дуже повільне охолодження в інтервалі 760...720 °С або ізотермічну витримка при 720...700 °С) або феритно-перлітну (скорочення тривалості другої стадії відпалу) металеві основи. Для отримання в модифікованому ковкому чавуні перлітної основи рекомендується збільшувати вміст марганцю, хрому та деяких інших елементів, які підвищують стійкість цементиту до розпаду на ферит і пластинчастий графіт в області температур евтектоїдного перетворення.

Ковкі чавуни з перлітною металевою основою мають високі твердість (235...305 НВ) і міцність ( $\sigma_B = 650...800$  МПа) в поєднанні з невеликою пластичністю ( $\delta = 3,0...1,5$  %). Ковкий феритний чавун характеризується високою пластичністю ( $\delta = 10...12$  %) і відносно низькою міцністю ( $\sigma_B = 370...300$  МПа).

Істотними недоліками графітуючого відпалу чавунів є тривалість (24...60 год) відпалу виливків і обмеження товщини їх стінок.

Ковкі чавуни маркуються двома літерами (КЧ – ковкий чавун) і двома групами цифр. Перші дві цифри в позначенні марки відповідають мінімальній

межі міцності при розтягуванні  $\sigma_b$ , МПа /10, цифри після тире – відносно подовження при розтягуванні, %. Чавуни марок КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12, що мають підвищене значення подовження при розтягуванні, відносяться до феритних, а марок КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ65-3, КЧ70-2, КЧ80-1,5 – до перлітних чавунів.

Ковкі чавуни, володіючи високими пластичними властивостями, знаходять застосування при виготовленні різноманітних тонкостінних (до 50 мм) деталей, що працюють при ударних і вібраційних навантаженнях, - фланці, муфти, картери, маточини та ін. Маса цих деталей – від декількох грамів до декількох тон.

Для підвищення твердості, зносостійкості і міцності виробів з ковкого чавуну іноді застосовують нормалізацію або загартування. Загартування з подальшим високим відпуском дозволяє отримати структуру зернистого перліту.

**Високоміцний чавун** (ЧШГ – чавун з кулястим графітом) отримують модифікуванням рідкими присадками (0,1...0,5% магнію від маси оброблюваної порції чавуну, 0,2...0,3% церію, ітрію і деяких інших елементів). При цьому перед введенням модифікаторів необхідно знизити вміст сірки до 0,02...0,03%.

Рекомендований хімічний склад високоміцного чавуну (2,7...3,7% С; 0,5...3,8% Si) вибирається в залежності від товщини стінок вилівка (чим тонше стінка, тим більше вуглецю і кремнію).

Високоміцні чавуни мають гарні ливарні і споживчі властивості (оброблюваність різанням, здатність гасити вібрації, висока зносостійкість та ін.). Вони використовуються для масивних виливків замість сталевих литих і кованих деталей – циліндри, шестерні, колінчаті і розподільні вали та ін.

Для підвищення механічних властивостей (пластичності і в'язкості) і зняття внутрішніх напружень вилівки піддають термічній обробці (відпалу, нормалізації, загартуванню та відпуску). Рекомендується піддавати чавунні вироби об'ємному загартуванню. Утворення дрібноголчатого мартенситу в загартованому поверхневому шарі виробів підвищує їх зносостійкість в три і більше разів. Для підвищення зносостійкості застосовується також азотування (або азотування з наступним «обдування дробом»), при якому в поверхневих шарах виробів створюються сприятливі стискаючі напруги.

**Чавуни спеціального призначення**. До цієї групи чавунів відносяться *жаростійкі, жароміцні і корозійностійкі* чавуни. Сюди ж можна віднести *немагнітні, зносостійкі та антифрикційні* чавуни.

Жаростійкими є сірі і високоміцні чавуни, леговані кремнієм (ЧС5) і хромом (ЧХ28, ЧХ32). Ці чавуни мають жаростійкість до 700...800 °С на повітрі, в топкових і генераторних газах. Високою термо- і жаростійкістю володіють аустенітні чавуни: високолегований нікелевий сірий ЧН15Д7 і з кулястим графітом ЧН15Д3Ш.

До жароміцним чавунів відносяться аустенітні чавуни з кулястим графітом ЧН19Х3Ш і 4Н11Г7Ш. Для підвищення жароміцності чавуни піддають відпалу з подальшим відпуском. Після відпалу леговані карбіди набувають форму дрібних округлих включень.

В якості корозійностійких застосовують чавуни, леговані кремнієм (*феросіліди*) – ЧС13, ЧС15, ЧС17 і хромом – ЧХ22, ЧХ28, 4Х32. Вони мають високу корозійну стійкість в сірчаній, азотній та ряді органічних кислотах. Для підвищення корозійної стійкості кременистих чавунів їх легують молібденом (ЧС15М4, ЧС17М3 – *антихлори*). Введення в чавун 0,2...0,5% Мо зменшує схильність до зростання зерна, підвищує в'язкість, опір зносу і покращує властивості при підвищених температурах. Високу корозійну стійкість в лугах мають нікелеві чавуни, наприклад аустенітний чавун ЧН15Д7.

В якості немагнітних чавунів також застосовуються аустенітні чавуни. Їх використовують в тих випадках, коли потрібна мінімальна втрата потужності (кришки масляних вимикачів, кінцеві коробки трансформаторів та ін.) або коли потрібно уникати спотворень магнітного поля (стійки для магнітів).

До зносостійких чавунів відносяться половинчасті і вибілені чавуни. До зносостійких половинчастих чавунів відноситься, наприклад, сірий чавун марки ІЧНХ2, легований нікелем і хромом, а також чавуни ІЧХНТ, ІЧН1МШ (з кулястим графітом). З цих чавунів відливають деталі двигунів внутрішнього згоряння (кришки і днища циліндрів, головки поршнів та ін.).

Антифрикційними чавунами є сірі і високоміцні чавуни спеціальних марок. Деяке застосування знайшли також ковкі антифрикційні феритно-перлітні чавуни АЧК-1 і АЧК-2.

Антифрикційні сірі чавуни – перлітні чавуни АЧС-1 і АЧС-2 і перлітно-феритний чавун АЧС-3. Ці чавуни мають низький коефіцієнт тертя, що залежить від співвідношення фериту і перліту в основі, а також від кількості і форми графіту. У перлітових чавунах висока зносостійкість забезпечується металевою основою, що складається з тонкого перліту і рівномірно розподіленої фосфорної евтектики при наявності ізольованих виділень пластинчастого графіту.

Антифрикційні сірі чавуни застосовують для виготовлення підшипників ковзання, втулок та інших деталей, що працюють при терті об метал, частіше в присутності мастильного матеріалу. Деталі, що працюють в парі з загартованими або нормалізованими сталевими валами, виготовляють з чавунів АЧС-1 і АЧС-2, а для роботи в парі з термічно необробленим валами застосовують чавун АЧС-3.

Антифрикційні високоміцні (з кулястим графітом) чавуни виготовляють з перлітною структурою – АЧВ-1 і феритно-перлітною (<50% перліту) – АЧВ-2. АЧВ-1 використовується для роботи у вузлах тертя з підвищеними окружними швидкостями в парі з загартованим або нормалізованим валом. АЧВ-2 застосовують для пари з валом в стані поставки («сирим»).

Головна перевага антифрикційних чавунів в порівнянні з бабітом і антифрикційними бронзами – низька вартість, а основний недолік – погана прироблюваність, що вимагає точного сполучення поверхонь, що труться.

## 2.2. Титан і сплави на его основі

**Титан** – Ti, хімічний елемент VI групи періодичної системи елементів, атомний номер 22, атомна маса 47,90. Сріблясто-білий метал; легкий, тугоплавкий, міцний, пластичний; густина  $4500 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_{\text{пл}} = 1665 \text{ }^\circ\text{C}$ .

У титана маються дві алотропічні модифікації:

– низькотемпературна до  $882 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $\beta$ -титан із гексагональною решіткою, густина  $4505 \text{ кг/м}^3$ ;

– високотемпературна – ( $\beta$ -титан з об'ємно-центрованою кубічною решіткою, густина при  $900 \text{ }^\circ\text{C}$   $4320 \text{ кг/м}^3$ ).

Постійні домішки – азот, вуглець, кисень і водень – збільшують твердість і міцність титану, але знижують пластичність, погіршують зварюваність і знижують опір корозії. Особливо шкідливий водень, крихкий титан через виділення гідридів. Вміст водню в сплавах не повинен перевищувати 0,015%.

Марки технічного титану – VT1-00 (99,53% Ti), VT1-0 (99,45% Ti).

Основні механічні властивості технічного титану:

$$\sigma_b = 300 \dots 550 \text{ МПа}; \delta = 20 \dots 25\%, \psi = 60 \dots 80\%; KCU < 1,0 \dots 1,2 \text{ МДж/м}^2;$$

$$E = 14 \cdot 10^4 \text{ МПа}; 100 \text{ НВ}.$$

Титан завдяки захисній плівці з  $\text{TiO}_2$  володіє дуже високими корозійною та хімічною стійкістю, що зберігаються в інтервалі температур ( $-250 \dots + 550$ )  $^\circ\text{C}$  і значно переважаючими ці показники у нержавіючої сталі та ін.

Технічний титан використовується для виготовлення хімічних і харчових ємностей; як конструкційний матеріал в криогенній техніці, в відновній хірургії та ін. Його поставляють у вигляді листів, труб, дроту та інших напівфабрикатів. Технічний титан добре обробляється тиском, зварюється дуговим зварюванням в атмосфері захисних газів і контактним зварюванням, але погано обробляється різанням. Карбід титану, що володіє високою твердістю, входить до складу твердих сплавів, що застосовується для виготовлення ріжучих інструментів. Оксид титану застосовується в лакофарбовому виробництві. Обмежує повсюдне використання титану його дуже висока вартість.

**Титанові сплави**. Переважна більшість металів утворюють з титаном діаграми стану з евтектоїдним перетворенням.

За структурою титанові сплави розглядають як  $\alpha$ -, ( $\alpha + \beta$ ) - і  $\beta$ -сплави.

Всі легуючі елементи по впливу на поліморфізм титану можна розділити на три групи (С.Г. Глазунов, Б.А. Колачев):

1. Перша група представлена  $\alpha$ -стабілізаторами – елементами, що підвищують температуру поліморфного перетворення титану (рис. 2.5, а). З металів до числа  $\alpha$ -стабілізаторів відносяться алюміній, галій та індій, з неметалів – вуглець, азот і кисень.

2. До другої групи належать  $\beta$ -стабілізатори – елементи, що знижують температуру поліморфного перетворення титану.  $\beta$ -стабілізатори, в свою чергу, можна розбити на три підгрупи:

а) *евтектоїдоутворюючі стабілізатори* (рис. 2.5, б), забезпечують евтектоїдний розпад  $\beta$ -фази при досить низькій температурі (хром, марганець, залізо, мідь, нікель, кобальт);

б) *ізоморфні стабілізатори* (рис. 2.5, в), утворюють безперервні розчини з  $\beta$ -титаном (ванадій, молібден, ніобій, тантал). До цієї ж підгрупи слід віднести і вольфрам в системі (рис. 2.5, г) з титаном, який утворює безперервні розчини  $\beta$ -Ti і W, при цьому  $\alpha$ -фаза при всіх температурах знаходиться в рівновазі з  $\beta$ -фазою;

в) *ізоморфні квазі- $\beta$ -стабілізатори*, стабілізуючі  $\beta$ -фазу, але без утворення  $\beta$ -твердих розчинів (рений, рутеній, родій, осмій, іридій).

3. Елементи третьої групи мало впливають на поліморфне перетворення. Ці елементи називають *нейтральними зміцнювачами* (олово, цирконій, германій, гафній і торій).

Найкраще поєднання властивостей досягається в  $(\alpha + \beta)$ -сплавах. Сплави з двофазною мікроструктурою  $(\alpha + \beta)$  в рівноважному стані піддаються термічній обробці – загартуванню і старінню. Після гарту вони мають структуру, що складається з двох метастабільних фаз – мартенситної голчастого виду ( $\alpha$ ) і  $\beta$ -фази, а при введенні модифікаторів-стабілізаторів  $\beta$ -фази – тільки з однієї метастабільної  $\beta$ -фази. Процеси старіння покращують властивості міцності, але знижують пластичність і в'язкість.

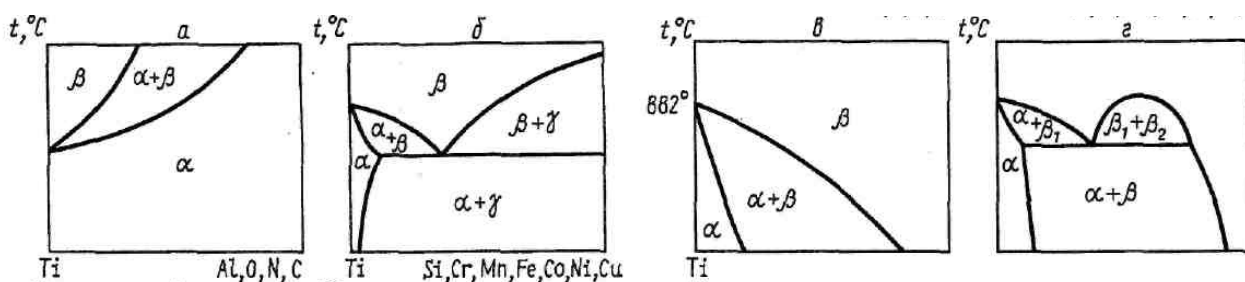


Рис. 2.5. Схема впливу легуючих елементів і домішок на температуру поліморфного перетворення титану (С.Г. Глазунов, Б.А. Колачев)

Основним легуючим елементом в промислових титанових сплавах є алюміній. Двома наступними за значимістю легуючими елементами є ванадій і молібден. В якості легуючих елементів використовуються ще 7 металів: Cr, Mn, Fe, Cu, Sn, Zr, W. Для мікролегування використовують Nb, Ta, Pd та ін. Легуючі елементи роблять різний вплив на властивості сплавів: Al, Zr, Nb – підвищують жароміцність до 550 °C; Mo, Zr, Nb, Ta, Pd – підвищують корозійну стійкість в кислотах.

З неметалів для легування титанових сплавів найбільше значення мають кремній, що вводиться для підвищення жароміцності, бор, який надає модифікуючу дію, а також елементи, що утворюють тверді розчини впровадження, –  $C_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ , що знижують пластичність, але підвищують міцність, а вуглець, крім того, збільшує твердість і зносостійкість. Так як останні з перерахованих елементів відносяться до шкідливих домішок, їх зміст в сплавах має бути мінімальним.

Титанові сплави відносяться до групи легких сплавів ( $4500 \text{ кг/м}^3$ ) і характеризуються високою питомою міцністю. Так, при однаковій міцності (наприклад,  $\sigma_b = 450 \text{ МПа}$ ) вироби з титанових сплавів в 1,8 рази легше

сталевих. У цих сплавів хороші жароміцні властивості і відсутня холодноламкість, в тому числі при дуже низьких температурах. Титанові сплави практично перевершують нержавіючі сталі, мідні і нікелеві сплави в стійкості проти корозії в морській воді, а також в таких агресивних середовищах, як вологий хлор, гаряча азотна кислота високої концентрації та ін. Титанові немагнітні сплави, мають низьку теплопровідність і малий коефіцієнт лінійного розширення. Разом з тим сплави титану поступаються сталям, особливо з підвищеним вмістом вуглецю, в твердості і зносостійкості.

Титанові сплави задовільно обробляються різанням, можуть зварюватись.

Для титанових сплавів прийнята класифікація: *за способом виробництва, за структурою, за механічними властивостями і по можливості зміцнюватись термічною обробкою.*

**За способом виробництва** титанові сплави ділять на ті, що *деформуються і ливарні* сплави. Найбільш поширені ливарні сплави ВТ1Л, ВТ5Л6 ВТ9Л. Сплав ВТ1Л має найбільшу хімічну стійкість, його застосовують для деталей, що працюють в агресивних середовищах. Механічні властивості низькі. Сплав ВТ5Л застосовують для деталей, що працюють при температурах -235...+350 °С. Сплав ВТ9Л найбільш високоміцний і призначений для виготовлення навантажених деталей, що працюють при температурі до 500 °С.

**За механічними властивостями** титанові сплави ділять на *сплави нормальної міцності, високоміцні, жароміцні і підвищеної пластичності.*

**За здатністю зміцнюватись термічною обробкою** розрізняють *зміцнюючі і незміцнюючі титанові сплави.*

Промислові титанові сплави – найважливіші конструкційні матеріали. Сплави ВТ-5, ВТ5-1, ОТ4 ( $\alpha$ -сплави); ВТ6, ВТ14, ВТ8 ( $\alpha + \beta$ -сплави) застосовуються:

- у хімічній промисловості (теплообмінники, компресори та ін.);
- в машинобудуванні (клапани, золотники, пружини, колінчаті вали та ін.);
- у виробництві конструкційних елементів (диски, лопатки компресорів, обшивка ракет та ін.).

Незважаючи на високу вартість виробництва і обробки виробів з титанових сплавів, застосування їх виявляється вигідним завдяки їх корозійній стійкості, довговічності та економії маси. Однак через дефіцитність титану використання титанових сплавів дуже обмежена. В даний час застосовують вторинні титанові сплави (ВТВ1, ВТВ2, ВТВ3, ВТВ4), основу шихти яких складають відходи технологічного виробництва, а також злитки з цих відходів.

### **2.3. Тугоплавкі метали і сплави на їх основі**

До **тугоплавких** відносять **метали**, температура плавлення яких перевищує 1800 °С. Найбільше значення в техніці мають наступні тугоплавкі метали: Nb, Mo, Cr, W.

Тугоплавкі метали мають міцні міжатомні зв'язки, що і забезпечують високі температури плавлення. Вони відрізняються малим тепловим розширенням, невеликою теплопровідністю, підвищеною жорсткістю.

Механічні властивості тугоплавких металів залежать від способу виробництва і вмісту домішок, які збільшують їх крихкість. Молібден, хром і вольфрам особливо схильні до крихкого руйнування через високу температуру порога холодноламкості, яку особливо сильно підвищують домішки впровадження С, N, H і O. Наклеп знижує температуру переходу в крихкий стан. Жароміцність тугоплавких металів може бути підвищена як легуванням, так і азотуванням при 1100...1200 °С в азоті.

Великий недолік тугоплавких металів – низька жаростійкість, тому при температурі понад 400...600 °С їх потрібно захищати від окислення.

Тугоплавкі метали важко обробляються, так як мають великий опір пластичної деформації.

Сплави на основі тугоплавких металів володіють більш високою жароміцністю, ніж самі чисті метали (1500...2000 °С).

Тугоплавкі метали легують в двох цілях:

- а) для зменшення їх схильності до крихкого руйнування;
- б) для підвищення міцності і жароміцних характеристик.

Сплави на основі тугоплавких металів поділяють на дві групи:

- 1) сплави зі структурою твердого розчину;
- 2) сплави, зміцнюється загартуванням і старінням.

У сплавах першої групи вміст легуючих елементів (Ti, Nb, Zr, Mo, W, Ta, Re) вибирають таким, щоб при збільшенні міцності не знизити пластичність і не погіршити інші властивості.

Сплави другої групи містять підвищену кількість вуглецю і карбідоутворюючі елементи. При старінні цієї групи сплавів *зміцнюючою* фазою є карбіди, які виділяються всередині зерен.

**Ніобій** – Nb, хімічний елемент V групи періодичної системи елементів, атомний номер 41, атомна маса 92,9064. Тугоплавкий світло-сірий метал, густина 8570 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{пл} = 2500$  °С, температура переходу в надпровідний стан 9,25 К,

Ніобій – високопластичний метал, має дуже низький (нижче - 196 °С) поріг холодноламкості. Хімічно дуже стійкий. Добре зварюється. Для підвищення жароміцності ніобій легують молібденом, вольфрамом і цирконієм. Широке використання отримав як компонент хімічно стійких і жаростійких сталей, з яких виготовляють деталі ракет, реактивних двигунів, хімічну і нафтопереробну апаратуру. Недоліки ніобію і його сплавів – малий модуль Юнга і велика схильність до окислення при підвищених температурах.

Основними легуючими елементами для сплавів на основі ніобію є W, Mo, Ti, Ta, V, Zr, Hf і елементи впровадження (C, O, N).

Сплави на основі ніобію (ВН-2А, ВН-4) мають гарну технологічність, зварюваність і досить високу жароміцність до 1300 °С (300...850 МПа). Ніобієм і його сплавами покривають тепловиділяючі елементи ядерних реакторів. Станід Nb<sub>3</sub>Sn, германід Nb<sub>3</sub>Ge, сплави ніобію з Sn, Ti і Zr використовують в радіоелектроніці для виготовлення надпровідних соленоїдів (Nb<sub>3</sub>Ge – надпровідник з найбільш високою температурою переходу в надпровідний стан).



Як чистий ніобій, так і його сплави активно взаємодіють при нагріванні з атмосферними газами, що вимагає застосування захисних покриттів.

**Молібден** – Mo, хімічний елемент VI групи періодичної системи елементів, атомний номер 42, атомна маса 95,94. Світло-сірий метал, густина  $10200 \text{ кг/м}^3$ ,  $t_{\text{пл}} = 2620 \text{ }^\circ\text{C}$ . Хімічно стійкий (на повітрі окислюється при температурі вище  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Сполуки молібдену мають значну окисно-відновлювану та каталітичну здатність. В природі 7 ізотопів молібдену; штучно отримано ще 10. Молібден належить до стратегічних металів.

Для виготовлення з молібдену і сплавів на його основі виробів різних профілів можна застосовувати майже всі відомі способи обробки: видавлювання, ковку, прокатку, штампування, витяжку і механічну обробку різанням. При цьому для забезпечення необхідної міцності кінцеві стадії обробки треба проводити при температурах нижче температури рекристалізації.

Більше 75% молібдену застосовують для легування сталей, що використовуються в авіа- і автомобілебудуванні, при виготовленні лопаток турбін та ін. Дуже перспективні жароміцні (для реактивних двигунів), кислототривкі (апарати хімічної промисловості) сплави; так, сплав Fe-Ni-Mo стійкий до всіх кислот (крім Hf) до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Молібден – найважливіший конструкційний матеріал у виробництві ниток для електричних ламп та катодів для електровакуумних приладів. Молібдени використовуються в гальванопластиці – молібденування, а також в аналітичній хімії для визначення фосфору, миш'яку, кремнію, германію та деяких інших елементів. Природний мінерал молібдену  $\text{MoS}_2$  є найкращим мастилом для металевих частин, що труться при високих температурах, підвищеному або зниженому тиску, в звичайній атмосфері і при відсутності кисню.

**Молібденування** – нанесення тонкого шару молібдену на поверхню металевих виробів (головним чином, зі сталі, титану, ніобію) для підвищення твердості, поверхневої міцності, корозійної стійкості в азотній кислоті, а з додатковим силіціюванням – жаростійкості.

Сплави молібдену леговані Zr, Ti, Hf, Nb, W, які утворюють з молібденом тверді розчини і зміцнюють його. Для збільшення пластичності в сплав можуть додавати Re. Низьколеговані сплави молібдену це – BM1, ЦМ2А, BM2 (системи Mo-Ti-Zr). Більшої жароміцністю володіють гетерофазні, термічно зміцнювані складнолеговані сплави – BM3, ЦМВ30, ЦМВ50, ЦМ10. Тривалу міцність молібденових сплавів підвищує вольфрам, що вводиться в великій (30 і 50%) кількості, – сплави ЦМВ30 і ЦМВ50. Сплав ЦМ10 відноситься до зварювальних сплавів через зменшення в ньому змісту вуглецю і домішок впровадження.

**Хром** – Cr, хімічний елемент VI групи періодичної системи елементів, атомний номер 24, атомна маса 51,996. Твердий метал сіро-сталевого кольору; густина  $7190 \text{ кг/м}^3$ ,  $t_{\text{пл}} = 1903 \text{ }^\circ\text{C}$ . На повітрі не окислюється. Хром – обов'язковий компонент нержавіючих, кислототривких, жаростійких сталей і великого числа інших сплавів (ніхроми, хромель, стеліт). Застосовується для хромування.

Сплави хрому, як і чистий хром, мають дуже високу стійкість до окислення, аж до 1000...1100 °С. Хром в цих сплавах легується W, V, Ni, Ti, Y (сплави ВХ-1І, ВХ-2, ВХ-4), а також Hf, Mo, Zr, Ta. Сплави хрому, крім високолегованого сплаву ВХ-4, малопластичні, але забезпечують високі значення тривалої міцності.

**Вольфрам** – W, хімічний елемент VI групи періодичної системи елементів, атомний номер 74, атомна маса 183,85. Світло-сірий, дуже важкий (густина 19300 кг/м<sup>3</sup>) метал, найбільш тугоплавкий ( $t_{пл} = 3410$  °С) з металів. Важливі властивості вольфраму: висока електронна емісія при накаливанні металу (наприклад, 298·104 мА/м<sup>2</sup> при 2230 °С) і велика потужність енергії, що випромінюється поверхнею металу при високих температурах. На повітрі при звичайній температурі він стійкий. До недоліків вольфраму слід віднести високу схильність до холодноламкості і малий опір окисленню навіть при не дуже високих температурах.

У промисловому масштабі застосовують в основному нелегований вольфрам, а число промислових і напівпромислових сплавів на його основі досить обмежена.

Головна область застосування вольфраму – виробництво сталей (близько 85%). Він входить до складу жароміцних надтвердих сталей (інструментальні, швидкорізальні) і сплавів (побідит, стеліт та ін.). Чистий вольфрам використовується в електротехніці (нитки ламп накаливання) і радіоелектроніці (катоди і аноди електронних приладів), для спіральних нагрівачів в електричних печах, електродів, різних деталей для високовакуумних і рентгенівських приладів, при атомно-водневому зварюванню.

Сплави на основі вольфраму можуть бути леговані Nb, Ta, Mo, Zr, Hf, Re, С та ін. Розрізняють однофазні сплави вольфраму – тверді розчини і гетерофазні, зміцнені дисперсійними частками карбідів, боридів і оксидів. До однофазних сплавів відносяться сплави систем W-Nb і W-Mo, до групи гетерофазних – системи W-Ta-C (сплав ТСВ).

## **2.4. Кольорові метали та сплави на їх основі**

Маркування кольорових сплавів відрізняється від прийнятого маркування для чорних металів і сплавів, в тому числі літерним позначенням хімічних елементів (табл. 2.3).

### **2.4.1. Мідь і сплави на її основі**

#### **2.4.1.1. Мідь**

**Мідь** – Cu, хімічний елемент I групи періодичної системи елементів, атомний номер 29, атомна маса 63,546. Мідь має гранецентровану кубічну решітку. Це метал червоного (в зламі рожевого) кольору, ковкий і м'який; густина 8960 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{пл} = 1083$  °С. Хімічно вона малоактивна; в атмосфері, що містить CO<sub>2</sub>, пари H<sub>2</sub>O та ін., покривається *патиною*.

**Патина** – плівка основного карбонату різних відтінків, в основному зелених, що утворюється на поверхні виробів з міді, бронзи, латуні при окисленні металу під впливом природного середовища або спеціальної обробки (патинування). Патина оберігає вироби від корозії, має і декоративне значення. Отруйна.

Серед властивостей міді найбільш істотне значення для сучасної промисловості набув її низький електричний опір – 0,0175 мкОм·м. Ця величина прийнята в електротехніці за *еталоне значення* – 100%.

Велике значення в техніці має також висока питома теплопровідність міді – 394 Вт/(м·К). Температурний коефіцієнт лінійного розширення міді  $1,67 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ .

Всі домішки, особливо що входять в твердий розчин, знижують електропровідність, а також теплопровідність міді. Найбільш сильно зменшують електропровідність домішки Р, As, Al і Sn.

Механічні властивості міді порівняно невеликі і суттєво залежать від умов виготовлення мідних виробів. Так, величина механічних властивостей:

в литому стані –  $\sigma_{\text{в}} = 160 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{0,2} = 35 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 25 \%$ ;

після гарячекатаної обробки –  $\sigma_{\text{в}} = 240 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{0,2} = 95 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 45 \%$ .

Шляхом холодного пластичного деформування межа міцності може бути підвищена до 450 МПа при зниженні відносного подовження до 3%. Модуль пружності міді – 115000 МПа.

Твердість міді майже в 2 рази менша, ніж у заліза.

Серед технологічних властивостей у міді слід зазначити хороші оброблюваність тиском і можливість пайки. До недоліків міді відносяться усадка при литті, невисока різанням і дуже погана зварюваність.

У технічній міді можуть бути присутніми шкідливі домішки, що утворюють з міддю:

- тверді розчини – Ni, Zn, Sb та ін.;
- легкоплавкі евтектики – Pb, Bi та ін.;
- тендітні хімічні сполуки – кисень, сірка.

Найбільш небезпечними з них за впливом на технологічні властивості є свинець, що викликає червоноламкість, і вісмут, що викликає і червоноламкість, і холодноламкість. Ці види крихкості пояснюються тим, що домішки свинцю і вісмуту розташовуються по межах зерен.

Мідь виготовляють по чистоті наступних марок М00к (не менше 99,99% Cu), М0К (99,97% Cu), М1К (99,95% Cu), М2К (99,93% Cu). В позначенні марки після літери М (мідь) вказується умовний номер чистоти, а потім літерою – спосіб і умови отримання міді: к – катодна мідь; б – безкислородна мідь; р – розкислена мідь; ф – мідь, що розкислена фосфором. В позначенні міді марок М1 і М1р, призначеної для електротехнічної промисловості і яка підлягає випробуванням на електропровідність, додатково включають літеру Е.

Головне застосування міді – виробництво електричних проводів. Домішки знижують електропровідність міді, тому в електротехніці використовують сорти з сумарним вмістом домішок менш 0,1%, такі, як М00, М0, М1. Мідь є

основним матеріалом для виробництва телеграфних і телефонних проводів. Мідь застосовується для виготовлення конструкційних виробів в теплотехніці (нагрівачі, радіатори, теплообмінники, холодильники та ін.) і вакуумній техніці. Мідь застосовують у вигляді листів, прутків, труб і дроту.

Більше 30% міді йде на виробництво сплавів.

Перевагами мідних сплавів є: хороша електропровідність; низький коефіцієнт тертя; висока пластичність; велика міцність (300...1200 МПа); корозійна стійкість в ряді агресивних середовищ; можливість термомеханічної обробки.

Найбільш поширені легуючі елементи в міді – цинк, алюміній, олово, залізо, кремній, марганець, берилій, нікель. Вони підвищують міцнісні властивості міді; найбільш сильну зміцнюючу дію надають кремній і алюміній (при вмісті більше 3% по масі). Цинк і марганець мало впливають на пластичність міді. Пластичність міді підвищується при легуванні до певних концентрацій алюмінієм, кремнієм, залізом. Олово займає проміжне положення між цими двома групами легуючих елементів.

За способом виготовлення деталей мідні сплави підрозділяються на *ті, що деформуються* і *ливарні сплави*. З мідних сплавів, що деформуються виготовляють листи, стрічки, труби, напівфабрикати різного профілю. З ливарних сплавів методом лиття в форми отримують фасонні деталі і художні вироби.

Зміцнення мідних сплавів шляхом термічної обробки можливо тільки в тому випадку, якщо легуючі елементи розчиняються в міді обмежено, при цьому розчинність їх зменшується з пониженням температури; крім того, якщо ці легуючі елементи утворюють з міддю або між собою зміцнюючі фази (CuBe, CuAl<sub>2</sub>, NiBe, Ni<sub>3</sub>Al та ін.).

Твердість і міцність мідних сплавів можуть бути підвищені в 1,5...3 рази за рахунок наклепу, який при необхідності може бути знятий частково або повністю відпалом (600...700 °C).

Мідні сплави підрозділяються на *латуні, бронзи і мідно-нікелеві сплави*.

#### **2.4.1.2. Латуні**

*Латунями* називають подвійні і багатокомпонентні (добавки Al, Sn, Fe, Mn, Ni, Si, Pb та ін. елементи в сумі до 10%) сплави на основі міді, в яких головною добавкою є цинк, причому вміст цинку може змінюватися до 49%.

За хімічним складом латуні поділяються на *подвійні (прості)* і *багатокомпонентні (спеціальні)*, а по структурі – на *одно- і багатофазні*. Прості латуні легуються тільки одним компонентом – цинком.

Мідь з цинком утворює твердий розчин з граничною концентрацією цинку 39%.

Зміст в латунях цинку багато в чому визначає величину їх механічних властивостей (рис. 2.6). Поки латунь має структуру  $\alpha$ -твердого розчину, збільшення вмісту цинку викликає підвищення її міцності і пластичності. Поява (30% Zn)  $\beta$ -фази супроводжується різким зниженням пластичності, але міцність продовжує підвищуватися до збільшення вмісту Zn до 45%, поки латунь

знаходиться в двофазному стані ( $\alpha + \beta$ ). Перехід латуні в однофазний стан (більше 45% Zn) зі структурою  $\beta$ -фази викликає різке зниження міцності.

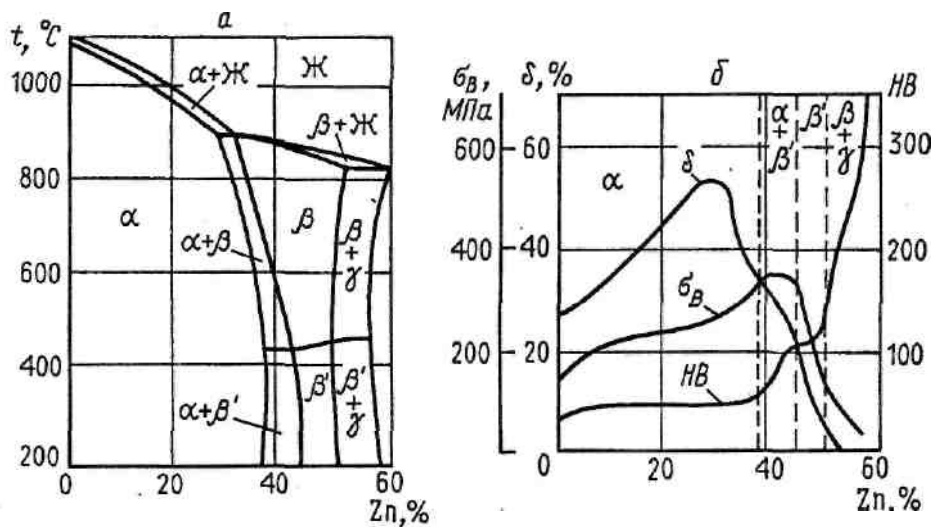


Рис. 2.6. Вплив вмісту цинку на фазовий склад (а) і механічні властивості (б) латуней

Прості латуні маркуються літерою «Л», наступна за нею цифра означає вміст міді. Легуючі елементи позначаються літерами (див. Табл. 2.3). В марці багатокомпонентної латуні після літер слідує цифри через дефіс. Перша цифра вказує середній вміст міді, решта – зміст відповідних легуючих елементів в тому ж порядку, як і літери, їх позначають. Вміст цинку в найменуванні марки латуні не вказується і визначається по різниці. Наприклад, в латуні ЛА85-1,5 – 85% Cu і 1,5% Al, решта – цинк.

Багатокомпонентні латуні (ЛАЖ60-1-1, ЛЖМц59-1-1, Л062-1, Л070-1, ЛС59-1, ЛЦ40С, ЛЦ40Мц3Ж, ЛЦ30А3 та ін.) можуть леговані різними елементами і їх комплексами. Так, алюміній, кремній, нікель і марганець підвищують механічні властивості латуней і збільшують їх корозійну стійкість. Олово підвищує корозійну стійкість латуні в морській воді. Свинець (1...3%) покращує оброблюваність латуней різанням (латуні зі свинцем є автоматними сплавами, їх використовують для виготовлення деталей в годинниковій і автотракторній промисловостях).

До однофазних ( $\alpha$ -латуні) відносяться латуні, що містять менше 32% Zn. Ці латуні вельми пластичні, добре паяються, зварюються і обробляються тиском в гарячому і холодному станах. Латуні, що містять до 10% Zn, називають томпаком (Л96, Л90), 10...20% Zn – напівтомпаки, 20...30% Zn – патронними (Л80, Л85, Л70). Зі збільшенням вмісту цинку колір латуні змінюється від червоного до світло-жовтого, підвищуються межа міцності від 270 до 320 МПа і твердість від 470 до 500 НВ.

Міцність однофазної латуні може бути значно підвищена холодною пластичною деформацією.

**Томпак** має дуже хорошу пластичність і високу корозійну стійкість. Він застосовується для виготовлення радіаторних трубок, деталей конденсаційно-

холодильного обладнання, прокладок ущільнювачів, біметалу сталь-латунь, в ювелірній справі та ін. Патронні латуні використовують для виробництва деталей електроустаткування, дроту, гільз та ін.

У двофазних ( $\alpha + \beta$ ) латунях збільшення вмісту цинку понад 40% призводить до зростання межі міцності до 360 МПа і до підвищення частки тендітної фази в їх структурі (в  $\beta$ -фазі при 450 °С відбувається впорядкування і утворюється  $\beta$ -фаза) і, як наслідок, це веде до обмеження застосування таких латуней в машинобудуванні. Двофазні латуні марок Л68...Л59 добре обробляються тиском в гарячому стані, куванням. Вироби з таких латуней (дріт, труби, прутки, листи, стрічки) виготовляються холодним штампуванням і глибокою витяжкою.

Всі латуні за способом виробництва поділяють на дві групи: ті, що *деформуються* (наприклад, ЛС59-1, ЛАЖ60-1-1), з яких виготовляють листи, стрічки, труби, дріт та інші напівфабрикати, і *ливарні* (наприклад, ЛЦ40С, ЛЦ40МцЗЖ) для *фасонного лиття*. Латуні, призначені для фасонного лиття, містять більше присадок, що поліпшують їх ливарні властивості.

Основним видом термічної обробки латуней є пом'якшувальний відпал перед пластичною деформацією при 600...700 °С з повільним охолодженням. Якщо потрібно підвищення міцності і твердості для багатофазних латуней, охолодження від зазначених температур проводять прискорено.

Латуні, за винятком містять свинець, легко піддаються обробці тиском в холодному і гарячому станах. Всі латуні добре паяються твердими і м'якими припаями. Хороші технологічні і широкий діапазон споживчих властивостей, красивий колір і порівняльна дешевизна латуні роблять їх найбільш поширеними мідними сплавами.

При вилежуванні або експлуатації в латунних виробах іноді виникають тріщини – «сезонне розтріскування». Це явище спостерігається, головним чином, в латунях з вмістом понад 20% Zn і чітко виявляється у виробах, отриманих холодною деформацією (прутках, порожнистих виробах та ін.). Сезонне розтріскування посилюється в хімічно активних середовищах. Утворення тріщин є в цьому випадку результатом спільної дії залишкових напружень, викликаних холодною деформацією, і хімічно активними середовищами.

### **2.4.1.3. Бронзи**

**Бронзами** називають сплави міді з різними елементами, серед яких олово, алюміній, кремній, берилій, свинець та ін. Конкретне найменування бронзи отримують за основними легуючими елементами системи, що утворює сплав, так, наприклад, олов'яні бронзи. Цинк і нікель можуть вводитися в бронзи як додаткові легуючі елементи.

Фазовий склад бронз описується діаграмами стану двох основних елементів, наприклад, для олов'яних бронз – діаграмою Cu - Sn. Структура і властивості бронз змінюються в залежності від швидкості охолодження сплавів, що кристалізуються, виду термічної обробки і характеру обробки тиском.

Домішки сурми, миш'яку, вісмуту, сірки, цинку і фосфору негативно впливають на всі види бронз, знижуючи їх механічні та технологічні властивості.

Бронзи немагнітних, корозійно-стійки, мають високі коефіцієнти тепло- і електропровідності, мають антифрикційні властивості. Для поліпшення властивостей їх піддають термічній обробці: відпалу, загартування та відпуску або пластичній деформації з метою наклепу. Відпал проводиться для зняття напружень, усунення наклепу, отримання однорідної структури; гарт від 700...750 °С без відпустки – для підвищення пластичності, а з відпусткою – для підвищення твердості і міцності бронзи.

Більшість бронз (за винятком алюмінієвих) добре піддаються зварюванню і пайці твердими і м'якими припаями.

Бронзи маркуються літерами Бр, далі йде літерне і цифрове позначення елементів, що в них містяться (позначення міді не вказується, а вміст визначається по різниці). В марці оброблюваних тиском бронз після Бр варто літерне позначення легуючих елементів в порядку убутання їх концентрацій, а в кінці в тій же послідовності через дефіс вказуються концентрації відповідних елементів. Наприклад, БрОФ10-1 – бронза олов'яно-фосфорна, що містить 10% Sn і 1% Р. В ливарних бронзах після кожного літерного позначення легуючого елемента вказується його вміст.

**Олов'яні бронзи** . Відповідно до діаграми фазової рівноваги Cu - Sn гранична розчинність олова в міді становить 15,8%.

Олов'яні бронзи можуть містити до 14% олова, з підвищенням вмісту якого збільшується їх твердість і міцність (рис. 2.7). Практичне значення, проте, мають бронзи, що містять до 10% Sn, так як збільшення вмісту олова викликає появу твердої і крихкої δ-фази, яка знижує в'язкість і пластичність сплаву. Через високу вартість олова частіше використовують бронзи, в яких частина олова замінена цинком (або свинцем).

Додаткове легування здійснюють Zn, Pb, Ni і Р. Фосфор (до 0,3%) покращує ливарні властивості, а при збільшенні його вмісту до 1% підвищує твердість і зносостійкість бронз. Свинець і цинк покращують оброблюваність різанням і антифрикційні властивості.

Олов'яні бронзи мають такі механічні характеристики:

в відпаленому стані –  $\sigma_b = 300...320$  МПа,  $\delta = 30...35$  %, 60...65 НВ;

в наклепаному –  $\sigma_b = 500...520$  МПа,  $\delta = 5$  % при 180 НВ.

Олов'яні бронзи мають високі антифрикційні (вищі у двофазних сплавах) і пружні властивості, корозійно-стійкі в атмосфері і прісній воді.

Олов'яні бронзи добре обробляються різанням, паяються, гірше зварюються, ніж інші бронзи. Ці бронзи мають найнижчу лінійну усадку.

За способом виготовлення виробів олов'яні бронзи підрозділяються на ливарні і ті, що деформуються.

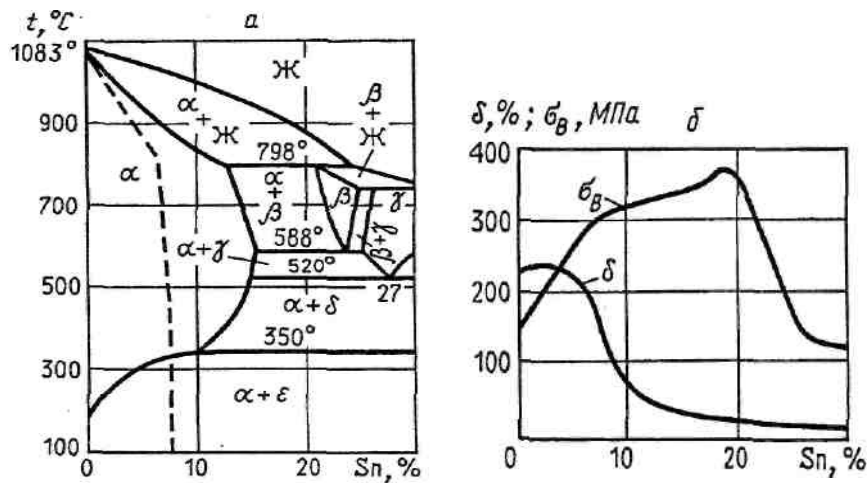


Рис. 2.7. Вплив вмісту олова на фазовий склад (а) і механічні властивості (б) олов'яних бронз (Пунктиром показаний нерівноважний солідус діаграми стану)

У машинобудуванні в даний час використовують 11 марок ливарних олов'яних бронз. З ливарних олов'яних бронз (БрОФ10-1, Бр04Ц4С17 та ін.) Відливаються підшипники ковзання, злитки, що йдуть на виготовлення стрічок, прутків, профілів, дроту для пружин. Олов'яні бронзи застосовують також для литих деталей складної форми. Однак для арматури котлів і подібних деталей вони використовуються лише при невеликих тисках пару, так як мають значну мікропористість. З олов'яних бронз, що деформуються (БрЩЦ4-3, БрОФ8,5-0,3) виготовляються деталі, які витримують дуже високі навантаження: опорні шайби, шестірні, пружини та ін.

**Алюмінієві бронзи** містять 5...11% Al. Вони є найпоширенішими дешевими заміниками олов'яних бронз і навіть перевершують їх по ряду властивостей:

- менш схильні до ліквідаційних явищ;
- мають кращу рідиноплинність, що забезпечує отримання щільних виливків (без мікропористості);
- характеризуються порівняно високими показниками міцності, жароміцності, хімічною стійкістю (крім перегрітої пари) та ін.

Негативною властивістю алюмінієвих бронз є те, що вони важко піддаються пайці твердими і м'якими припаями.

Бронзи, що містять до 7,4% Al, однофазні (рис. 2.8). Вони дуже пластичні і використовуються для виготовлення напівфабрикатів різного профілю. Ці бронзи стійкі до стирання. БрА5 є монетної. БрА7 призначена для виготовлення стрічки, листів, а після холодної прокатки – дроту для пружинних елементів і струмоведучих пружин.



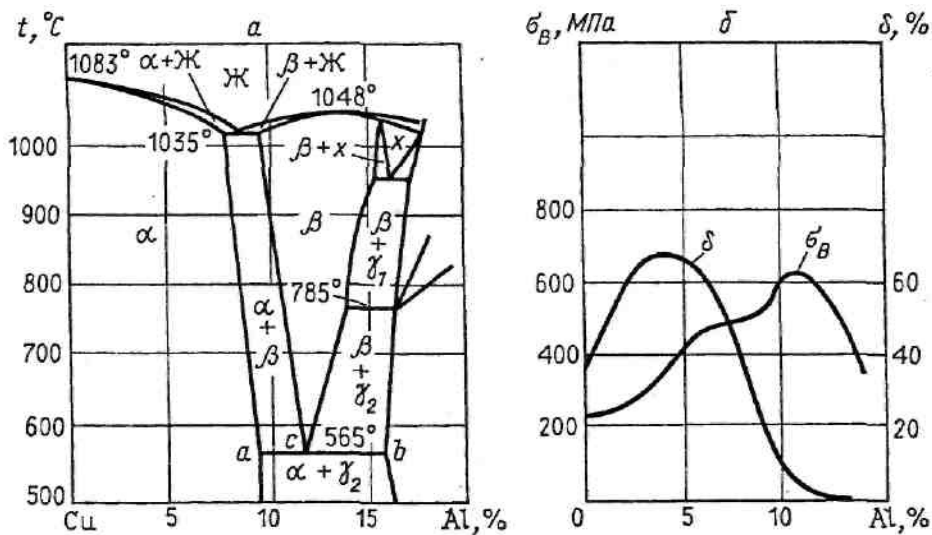


Рис. 2.8. Вплив вмісту алюмінію на фазовий склад (а) і механічні властивості (б) алюмінієвих бронз

Двофазні алюмінієві бронзи зазвичай легують. В якості легуючих добавок в алюмінієвих бронзах використовують Ni, Mn і Fe. Нікель підвищує механічні і фізико-хімічні властивості, жаростійкість і жароміцність до  $400\text{...}500^\circ\text{C}$ , корозійну стійкість і температуру рекристалізації алюмінієвих бронз. Добавки марганцю підвищують технологічні та корозійні властивості. Алюмінієві бронзи з марганцем відрізняються підвищеною морозостійкістю і відмінно обробляються тиском в гарячому і холодному стані. Добавка заліза, особливо в комплексі з марганцем і нікелем, призводить до підвищення міцності і зносостійкості бронз, збільшення їх корозійної стійкості.

З БрАЖМц10-3-1,5 виготовляють фасонні виливки, шестерні, втулки, з БрАНЖ10-4-4 – відповідальні деталі авіаційних двигунів і турбін. Алюмінієві бронзи зі свинцем мають підвищені антифрикційні властивості і застосовуються для виготовлення литих підшипників і втулок. Ливарні властивості алюмінієвих бронз нижче, ніж властивості олов'яних.

**Крем'янисті бронзи**. В крем'янистих бронзах міститься до 3,0% Si. Основними легуючими елементами є Mn і Ni. Застосування крем'янистих бронз обмежене тільки однофазними сплавами, як більш пластичними.

Крем'янисті бронзи перевершують алюмінієві бронзи і латуні по міцності і стійкості в лужних (в тому числі, стічних) середовищах. Вони застосовуються для виготовлення труб і арматури, що експлуатуються в зазначених умовах. Крем'янисті бронзи, додатково леговані марганцем (БрКМц3-1), в результаті сильної холодної деформації набувають підвищені міцність і пружність і використовуються у вигляді стрічки (або дроту), а також для виготовлення корозійностійких пружин, втулок та інших пружних елементів, будучи в машинобудуванні заміником дорогих олов'яних і берилієвих бронз при температурах експлуатації до  $250^\circ\text{C}$ . Крем'янисті бронзи легко обробляються тиском, різанням і зварюються.

**Берилієві бронзи** містять 1,8...2,5% Ве. Вони застосовуються в промисловості після зміцнення шляхом гарту і відпустки. Структура таких бронз (наприклад, БрБ2) після термічної обробки містить виділення Cu Ве, дуже дисперсні і розташовані певним чином усередині зерен твердого розчину. Освіта високодисперсних включень CuВе призводить до дуже великого зміцнення бронз:  $\sigma_v = 1200...1300$  МПа, твердість – 350...400 НВ при зниженні пластичності до 1,2...2%. Крім того, зміцнені берилієві бронзи характеризуються виключно високою пружністю і підвищеною електропровідністю. Берилієві бронзи добре обробляються різанням і зварюються. Недолік бронзи БрБ2 – висока токсичність парів берилію, що вимагає відповідної техніки безпеки при плавці.

Берилій відрізняє дуже висока токсичність. Потрапляючи в легені, він викликає важке легеневе захворювання (бериліоз). На шкірі берилієвий пил викликає свербіж, а потрапляючи в ранки – пухлини і виразки. В атмосфері виробничих приміщень не допускається вміст берилію більше  $0,001$  мг/м<sup>3</sup>.

Основними легуючими елементами берилієвих бронз є Mn, Ni, Fe, Co, Ti та ін. Mn вводиться як замітник берилію для зменшення вартості, а Ti, Ni та ін. Грають роль зміцнювачів, так як утворюють різного роду хімічні сполуки. Ni, Fe і Co уповільнюють процес фазових перетворень, що значно полегшує технологічні процеси загартування. Ni затримує рекристалізацію берилієвої бронзи і сприяє отриманню більш рівномірної структури. Введення магнію в кількості 0,1% підвищує ефект дисперсійного зміцнення, але подальше підвищення його концентрації до 0,25% і більше призводить до значного зниження пластичності.

Берилієві бронзи через високу вартість використовуються для особливо відповідальних виробів (контрольно-вимірювальних приладів, спеціальних інструментів), в якості контактів, роз'ємів, штирів, а також різних пружних елементів (стрічки, пружини, дроту та ін.) В авіаційній апаратурі, радіотехніці, засобах зв'язку, атомної та космічної техніки. Антифрикційні властивості цих бронз враховуються при виготовленні підшипників, які експлуатуються при великих швидкостях, тисках і підвищених температурах, а також шестерень, зубчастих коліс, черв'ячних передач та ін.

Важливою технологічною характеристикою берилієвих бронз, зокрема БрБ2, є величина жолоблення (деформації). Особливо небажана ця деформація в точних виробках особливо малої жорсткості, на які встановлюють суворі допуски за розмірами. Для зменшення величини деформації на всіх приладобудівних заводах старіння виробів з берилієвих бронз проводять в спеціальних затискачах.

**Свинцеві бронзи** містять 27...33% Pb. Свинець практично не розчиняється в рідкій міді, і тому сплави бронз після затвердіння мають мікроструктуру, що складається з зерен міді і евтектики (Cu + Pb), що залягає на межі зерен міді у вигляді краплеподібних скупчень. Така мікроструктура бронзи забезпечує її високі антифрикційні властивості.

Свинцеві бронзи (наприклад, БрС30) мають більш високу теплостійкість, ніж олов'яні, і допускають нагріви до 300...320 °С. При таких температурах

свинцеві включення підплавляються, і рідкий свинець виконує функції мастильного матеріалу, що зменшує коефіцієнт тертя. Недоліком сплаву БрС30 є схильність до ліквації по густині.

Свинцеві бронзи легують оловом і нікелем, які, розчиняючись в міді, підвищують зносостійкість бронз (БрОС8-12, БрСН60-2,5).

Невисокі механічні властивості свинцевих бронз ( $\sigma_b = 60$  МПа,  $\delta = 4\%$ ) дозволяють використовувати їх в техніці, в основному, в якості біметалевих підшипників. Такі підшипники відрізняються простотою виготовлення (бронзу наплавляють тонким шаром на сталеві стрічки або труби) і можливістю заміни при зношуванні.

**Біметал** – композиційний матеріал з двох шарів різнорідних металів або сплавів (наприклад, сталь і алюміній), що застосовується для підвищення міцності і жаростійкості конструкцій, зниження їх маси або як матеріал зі спеціальними властивостями.

#### 2.4.2. Алюміній і сплави на його основі

**Алюміній** – хімічний елемент III групи періодичної системи, атомний номер 13, атомна маса 26,98154. Сріблясто-білий метал з гранецентрованою кубічної решіткою,  $t_{пл} = 660$  °С. Густина 2700 кг/м<sup>3</sup>.

Механічні властивості відпаленого алюмінію високої чистоти характеризуються невисокими міцністю і твердістю при досить високій пластичності:

$$\sigma_b = 50 \text{ МПа}; \sigma_{0,2} = 15 \text{ МПа}; \delta = 50 \%, \square = 35 \%; \\ E = 71000 \text{ МПа (в три рази менша, ніж у сталі)}; 170 \text{ НВ.}$$

Міцність технічного алюмінію вище. Холодна пластична деформація підвищує межу міцності алюмінію, але відносне подовження знижується.

Алюміній характеризується високими електро- і теплопровідністю. Теплопровідність при 190 °С становить 343 Вт/(м·К); електропровідність алюмінію складає 0,65 величини електропровідності міді.

Алюміній має високу корозійну стійкість до дії різних типів природних вод, азотної і органічних кислот. Чим чистіше алюміній, тим вище його корозійна стійкість. На повітрі алюміній покривається тонкою міцною плівкою, яка захищає метал від подальшого окислення і корозії.

Серед технологічних властивостей у алюмінію слід зазначити хороші оброблюваність тиском, зварюваність (зварюється не всіма видами зварювання), полірованість (відбивна здатність до 90%), анодіруемість і порівняно погану оброблюваність різанням.

Маркування алюмінію: особливої чистоти – А999 (99,999% А1); високої чистоти – А995 (99,995% А1), А99 (99,99% А1), А97 (99,97% А1), А95 (99,95% А1) і технічної чистоти – А85, А8, А7, А6, А5, А0 (99,0% А1). В якості домішок в алюмінії присутні Fe, Si, Cu, Mn, Zn. Технічний алюміній, що деформується маркують АД0 і АД1.

Технічний алюміній виготовляють у вигляді листів, профілів, прутків, дроту та інших напівфабрикатів.

За обсягом виробництва алюміній і сплави на його основі займають перше місце серед незалізних металевих матеріалів. Алюміній застосовується для виготовлення елементів конструкцій і деталей, що не несуть навантаження, наприклад, трубопроводів, палубних надбудов; в машино- та авіабудуванні; замінює мідь при виробництві масивних провідників (кабелів, шин, конденсаторів та ін.); в металургії як легуючу добавку використовують в сплавах Cu, Mg, Ti, Ni, Zn, Fe та ін.; в харчовій та хімічній промисловості використовується як матеріал для зберігання і транспортування харчових продуктів, води та ін., а також для виготовлення предметів домашнього вжитку. Чистий і надчистий алюміній застосовують в напівпровідниковій техніці і для отримання різного роду дзеркал.

**Алюмініві сплави** . Завдяки більш високим технологічним і споживчим властивостям ширше застосовуються в промисловості, ніж чистий або технічний алюміній. Перевагами алюмінієвих сплавів є високі міцність ( $\sigma_v$  до 600 МПа), питома міцність ( $\sigma_v/\rho = 21$  Дж/кг), корозійна стійкість, тепло- і електропровідність. Алюмінієві сплави входять в групу легких сплавів (при однаковій міцності вироби з алюмінієвих сплавів в три рази легше сталевих). Однак вони поступаються сплавам на залізній основі в величині модуля пружності майже в три рази, малопридатні для зміцнення поверхневого шару способами хіміко-термічної обробки та їх твердість і зносостійкість нижче, ніж сталі. Деякі з них не мають гарну зварюваність.

Найбільше застосування для легування алюмінієвих сплавів знаходять елементи, що формують зміцнюючі фази і зони (Cu, Si, Mg, Mn, Zn Fe; рідше – Li, Ni, Ti). Марганець одночасно підвищує корозійну стійкість, а кремній бере участь в утворенні евтектики в ливарних сплавах. Літій в сплавах сприяє зростанню їх модуля пружності. Однак магній і марганець знижують тепло- і електропровідність алюмінію, а залізо – його корозійну стійкість.

Характерною особливістю структури алюмінієвих сплавів є їх фазовий склад, що включає твердий розчин і інтерметалідні фази ( $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ,  $\text{Al}_3\text{Mo}$  та ін.).

Алюмінієві сплави класифікуються за складом і основним споживчим властивостями, за способом виробництва і по можливості зміцнення термічною обробкою.

Алюмінієві сплави по складом і споживчим властивостями ділять на наступні групи:

– *сплави високої міцності* ( $\sigma_v = 400\text{...}500$  МПа у більшості сплавів і до 600 МПа у сплавів В95). Вони мають складний хімічний склад; головними легуючими елементами є мідь і магній, а у сплаві В95 – цинк;

– *жароміцні сплави*. Вони використовуються при температурах експлуатації до 300...350 °С (що нижче, ніж у жароміцних сталей і титанових сплавів). Ці сплави при меншому вмісті міді додатково легується нікелем;

– *сплави підвищеної пластичності*. Вміст міді в них обмежується 0,5%, і внаслідок цього міцність сплавів нижче 250 МПа, а пластичність вище, ніж у дуралюміна;

– сплави підвищеної пластичності, зварюваності і стійкості проти корозії. Вони майже не містять міді і додатково легуються магнієм (рідше марганцем);

– антифрикційні сплави, що представляють собою сплави алюмінію з оловом, нікелем, міддю та іншими елементами.

За способом виробництва алюмінієві сплави ділять на ливарні і ті сплави, що деформуються (прокаткою, пресуванням, штампуванням).

Переважає більшість ливарних сплавів є доевтектичними; заевтектичні сплави через охрупчуваний вплив інтерметалідів не використовують. Кращими ливарними властивостями володіють евтектичні або близькі до них за складом сплави. Тому широкого поширення набули сплави алюмінію з елементами, які утворюють з ним легкоплавкі евтектики (Al-Si, Al-Cu, Al-Mg, Al-Cu-Mn, Al-Cu-Mn-Mg та ін.). Ливарні сплави, що поєднують високу міцність і пластичність, знаходяться за складом кілька лівіше точки граничної розчинності при евтектичній температурі.

Ливарні алюмінієві сплави, що не зміцнюються термічною обробкою класифікують як сплави низької міцності (АЛ2) і антифрикційні (АСМ, А020-1, А09-2) сплави, а ті, що зміцнюються термічною обробкою – як сплави нормальної міцності, високоміцні (АЛ27, АЛ32) і жароміцні (АЛ 19) сплави.

Заміна чавуну і сталі ливарними алюмінієвими сплавами дозволяє отримувати значний техніко-економічний ефект за рахунок: зниження маси (металоемності) конструкцій; підвищення експлуатаційної надійності і довговічності; зменшення трудомісткості завдяки застосуванню більш точних литих заготовок, а також більш легкої оброблюваності різанням.

Для сплавів, що деформуються характерна структура твердого розчину з невеликою часткою евтектики. Такі сплави добре піддаються пресуванню, прокатці, згинанні, вальцюванню і використовуються для виготовлення напівфабрикатів (профілі, листи, дрід та ін.) зі злитків.

Серед алюмінієвих сплавів, що деформуються особливе місце займає сплав 1420 системи Al-Mg-Ti-Zr, який відрізняється найнижчою густиною ( $2470 \text{ кг/м}^3$ ) і забезпечує високу питому міцність ( $\sigma_{\text{в}}/\rho = 17$ ) і зниження маси зварних конструкцій до 20...25%. Сплави типу АМг називають магноліями. Ці сплави займають перше місце за обсягом виробництва серед алюмінієвих сплавів, що деформуються, у яких визначають такі їх якості, як висока стійкість проти корозії і хороша зварюваність. Перспективне його використання в автомобіле- і тракторобудуванні для деталей двигунів і систем розподілу вихлопних газів (патрубок, фланців та т.д.).

Не зміцнювані термічною обробкою алюмінієві сплави, що деформуються визначають як сплави підвищеної пластичності (АМц, АМг).

Сплави, що деформуються, зміцнювані термічною обробкою, класифікують по сплавам нормальної міцності (Д1,..., Д19), високоміцним (В95, ВАД23) сплавам, сплавам підвищеної пластичності при кімнатній (Д18) і підвищених (АК40) температурах і корозійно-стійким (АД31, АД33) сплавам.

В даний час для алюмінію і сплавів на його основі запропоновані літерне, літерно-цифрове і цифрове маркування. Поряд з цим є літерно-цифрове

маркування видів технологічної обробки напівфабрикатів і виробів, яке якісно відображає механічні, хімічні та інші властивості сплаву.

При літерному маркуванні алюмінієвих сплавів послідовно вказуються компоненти сплаву – АМг, АМц.

При літерно-цифровому маркуванню можна виділити наступні закономірності:

1) для ливарний алюмінієвих сплавів введена єдина система літерно-цифрове маркування, аналогічне застосовуваному для сталей: перша літера А показує АІ, наступні літери – основні легуючі компоненти (К – кремній, М – мідь, Мг – магній, Мц – марганець, Н – нікель, Ц – цинк), числа, що стоять після літер, показують середній вміст даного компонента в % по масі. Якщо вміст компонента менше одиниці, літера, що позначає даний компонент в марці, як правило, не вказується.

2) для сплавів, що деформуються літерами на початку марки вказують: А – технічний алюміній; Д – сплав типу дуралюміна; К – кувальний сплав; В – високоміцний сплав. Цифрами позначений умовний номер сплаву, після якого літерно-цифровим маркуванням вказано стан сплаву з урахуванням технології його отримання: М – м'який (відпалений), Т – термічно оброблений (гарт і природне старіння); Н – загартовані (підданий холодній пластичній деформації); П – полунагартований та ін.

У цифровому маркуванні цифра 1 на першому місці означає, що основою є алюміній. Друга цифра характеризує хімічний склад, останні дві цифри вказують номер сплаву. У номері сплаву також обумовлено, що остання цифра буде нести інформацію про спосіб виробництва і призначення сплаву, наприклад:

0 або непарна цифра – сплав, що деформується;

парна цифра – ливарний сплав;

9 – металокерамічний сплав;

7 – дротяний сплав.

Приклади позначення сплавів за допомогою літерно-цифрового і цифрового маркування наведені в табл. 2.4.

До найбільш поширених промислових алюмінієвих сплавів відносяться *силумін, дуралюміні, авіаль і антифрикційні сплави.*

**Силумін** – легкі ливарні сплави АІ (основа) з Si (4...13%, іноді до 23%) і деякими іншими елементами (Cu, Mn, Mg, Zn, Ti, Be). Структура сплавів при утриманні до 11,3% Si (доевтектичні сплави) складається з первинних кристалів  $\alpha$ -твердого розчину (кремнію в алюмінії) і евтектики ( $\alpha + \text{Si}$ ). При більш високій концентрації кремнію (заевтектичні сплави) в структурі сплавів, крім евтектики, присутні первинні кристали кремнію у вигляді пластинок, причому пластинчата форма кремнію в евтектиці обумовлює низькі механічні властивості силуміну. У спеціальних модифікованих силумінах можуть утворитися частинки  $\text{CuAl}_2$  і  $\text{Mg}_2\text{Si}$ . При термічній обробці в результаті гарту ці фази розчиняються, а після старіння, виділяючись в дисперсній формі, зміцнюють сплав.

## Приклади маркувань алюмінієвих сплавів

Легуючий елемент	Маркування		Легуючий елемент	Маркування	
	літерно-цифрова	цифрова		літерно-цифрова	цифрова
Al (чистий)	АД00	1010	Cu, Mg, Mn, Si	АК6	1360
Mn	АМц	1400		АК8	1380
Mg-Mn	АМг	1510	Cu, Mg, Fe, Ni, Si	АК4	1140
	АМг5	1550		АК4-1	1141
Mg – Si	АВ	1343	Zn –Mg	–	1911
Cu-Mg	Д1	1100	Zn-Mg-Cu	В95	1950
	Д16	1160		В96Ц1	1960
	ВАД1	1191	Cu-Mn	Д20	1200
	Д18	1187		-	1201

Силуміни використовуються в великосерійному виробництві мало- і середньонавантажених деталях, в тому числі для деталей пневмо- і гідросистем, так як мають гарну герметичність завдяки вузькому інтервалу кристалізації і великій кількості евтектики. З них виготовляють деталі складної конфігурації, наприклад, корпуси відбійних молотків та ін. До групи силумінів відносяться також поршневі сплави (наприклад, АК12М2МгН), що поєднують жароміцність, зносостійкість і розмірну стабільність.

*Дуралюміні* – велика група сплавів на основі алюмінію з Cu (2,2...5,2%), Mg (0,2...2,7%) і Mn (0,2...1%). Дуралюміні відносяться до тих сплавів, що деформуються (куванням, прокаткою, пресуванням або волочінням) і зміцнюються термічною обробкою. Термічна обробка зазвичай складається з відпалу, гарту і природного або штучного старіння. Тривалість старіння визначається величиною необхідних механічних властивостей.

У структурі дуралюміна після відпалу присутні фази:  $\alpha$ -твердий розчин (основа) і хімічні сполуки  $Mg_2Si$ ,  $W(Al_xCu_yMg_zSi_u)$  та ін., в тому числі що містять залізо. Структурою сплавів після гарту є практично однофазний пересичений  $\alpha$ -твердий розчин. При природному або штучному старінні в решітці  $\alpha$ -твердого розчину виникають угруповання атомів, утворені атомами легуючих елементів (міді, магнію, кремнію), причому склад цих угруповань при досягненні максимального зміцнення близький до складу відповідних надлишкових фаз ( $Mg_2S$ , W та ін.). Такі угруповання називають *зонами Гинье-Престона*. Природне старіння більш сприятливо для дуралюмінія, так як надає йому велику корозійну стійкість і в'язкість при руйнуванні, тобто він менш схильний до крихкого руйнування.

Дуралюміні застосовуються як конструкційний матеріал для авіаційного і транспортного машинобудування. Для підвищення стійкості проти корозії деякі сплави, головним чином дуралюміні, плакують, тобто покривають захисним шаром алюмінію (що, однак, знижує міцність і зносостійкість).

**Плакування** – нанесення методом гарячої прокатки або пресування на поверхню металевих листів, плит, труб, дроту тонкого шару іншого металу або сплаву (наприклад, латунного покриття на сталеві листи).

**Авіаль** – сплав Al (основа) з добавками Mg, Si, Mn (або Cr), Cu (в сумі близько 3%). Ці алюмінієві сплави відносяться до найменш легованих. Фазою-зміцнювачем є силіцид  $Mg_2Si$ . Авіаль піддають гарту з 510...530 °С і старіння при 160...170 °С протягом 10...12 год. Авіаль відносяться до числа сплавів із середньою міцністю, але високими технологічністю і стійкістю проти атмосферної корозії. Вони мають гарний зовнішній вигляд після кольорового анодування. З Авіалей виготовляють ковані і штамповані деталі складної форми. Сплав АД31 широко використовують в будівництві (віконні та дверні рами), для внутрішньої обробки кабін літаків і автомобілів; зі сплаву АВ виготовляють лонжерони лопатей гвинтів вертольотів.

**Антифрикційні сплави алюмінію** являють собою сплави алюмінію з оловом (АО3-7, АО9-2, АО9-1, АО20-1, АО6-1), нікелем (АН-2,5), міддю та іншими елементами (АСМ, АМСТ).

Антифрикційні сплави алюмінію застосовуються для відливання моно- і біметалічних вкладишів і втулок, для отримання біметалічною стрічки зі сталлю і дуралюміна методом прокатки з подальшим штампуванням вкладишів з товщиною антифрикційного шару менше 0,5 мм. Такі підшипники застосовуються при навантаженні на них 200...350 (до 400) кг/мм<sup>2</sup>, швидкості обертання валу 10...15 (до 20) м/с і температурі масла 100...120 °С.

**Матеріали і вироби на основі алюмінію.** Напівфабрикати і вироби на основі алюмінію отримують шляхом створення конструкційно-оздоблювальних матеріалів з різноманітними захисно-декоративними полімерними, лакофарбовими, емалевими і електротехнічними покриттями.

**Фольгоізол** – рулонний двошаровий матеріал з тонкої рифленої або гладкої алюмінієвої фольги, покритої з нижньої сторони захисним бітумно-гумовим складом. Це довговічний матеріал, що не вимагає догляду протягом усього періоду його експлуатації. Він призначений для утворення покрівель і парогідроізоляції будівель і споруд, герметизації стиків. Зовнішня поверхня фольгоізолу може бути забарвлена лаками в різні кольори.

**Фольгоруберойд** – гідроізоляційний матеріал з алюмінієвої фольги, покритий з обох сторін бітумною мастикою; випускають двох марок, що відрізняються товщиною алюмінієвої фольги. Він має високу міцність на розрив і довговічність. Застосовують для гідроізоляції підземних і гідротехнічних споруд.

### 2.4.3. Магній і сплави на його основі

**Магній** – хімічний елемент II групи періодичної системи, атомний номер 12, атомна маса 24,305; метал сріблясто-білого кольору. Кристалічна решітка магнію гексагональна щільно упакована. Температура плавлення 651 °С. Густина магнію 1739 кг/м<sup>3</sup>.

Магній маркується по його чистоті і випускається трьох марок: МГ99 (99,9% Mg), МГ95 (99,95% Mg), МГ96 (99,96% Mg).



Механічні властивості литого магнію:

$$\sigma_b = 115 \text{ МПа}; E = 43000 \text{ МПа}; \delta = 8 \%; 30 \text{ НВ}.$$

Величина механічних властивостей магнію може бути збільшена практично в два рази пластичним деформуванням.

Чистий магній має малу стійкість проти корозії. На повітрі при температурі нижче 450 °С магній покривається оксидною плівкою, яка має захисні властивості; при більш високих температурах ця плівка стає пухкою і легко пропускає кисень до поверхні металу. На повітрі при температурі вище 623 °С магній легко запалюється.

Вироби з магнію не виробляють, він застосовується, головним чином, у виробництві легких сплавів, для розкислення і знесірчення деяких металів, для відновлення Hf, Ti, U, Zr та інших металів із сполук (Металотермія). Чистий магній використовується в піротехніці і хімічній промисловості.

### ***Магнієві сплави***

Основна перевага магнієвих сплавів в порівнянні з іншими промисловими металами – невелика густина – 1700...1800 кг/м<sup>3</sup>. Всі магнієві сплави мають порівняно високу міцність ( $\sigma_b = 200...400$  МПа,  $\delta = 6...20\%$ ), добре поглинають вібрації. Однак через знижений ( $4,3 \cdot 10^4$  МПа) модуль пружності придатні лише для малонавантажених деталей. Магнієві сплави мають низьку корозійну стійкість, особливо в контакті з іншими металами. Недоліком також є труднощі лиття та обробки тиском. Магнієві сплави задовільно зварюються дуговим зварюванням в захисному середовищі інертних газів і добре обробляються різанням.

За впливом на пластичність магнію легуючі елементи можна розбити на дві групи:

а) елементи, що зменшують пластичність (Mn, Si);

б) елементи, що підвищують пластичність магнію при їх введенні до певної концентрації (Li, Zn, Al, Sc, Ce).

Максимальна міцність магнієвих сплавів при кімнатній температурі досягається при концентраціях легуючих елементів, близьких до межі насичення твердих розчинів при температурах їх максимальної розчинності. При температурах 150...200 °С найбільш сильно підвищує жароміцні властивості магнію неодим, а в дещо меншій мірі – торій. При температурах 250...300 °С, навпаки, торій забезпечує більш високу твердість, ніж неодим.

Магнієві сплави піддають термічній обробці – дифузійному відпалу (*гомогенізації*) після лиття і рекристалізаційного відпалу після пластичної деформації. Деякі сплави можуть бути зміцнені (на 20...35%) загартуванням і старінням, пластичність сплавів при цьому зменшується.

***Гомогенізація*** – надання однорідності будови і складу металів, сплавів, розчинів, емульсій та ін.

Магнієві сплави класифікують за способом виробництва, за міцністю, по щільності, щодо можливих температур експлуатації і по чутливості до термічної обробки.

За способом виробництва магнієві сплави ділять на ливарні (МЛ5, МЛ5пч, МЛ10, МЛ12) і ті, що деформуються (МА1, МА2-1, МА14). Перевагами

магнієвих ливарних сплавів є мала густина, висока питома міцність, здатність до поглинання енергії удару і вібраційних коливань, а також добре обробляються різанням.

Вироби з цих сплавів використовуються в різних галузях народного господарства: авіабудуванні (деталі пасажирських крісел, коліс, двигунів і агрегатів); транспортному машинобудуванні (деталі двигунів, диски коліс, корпусу човнових моторів); радіотехнічної і електронної промисловості (деталі оптичних приладів, радіо- і кіноапаратури). Деталі з сучасних магнієвих сплавів можуть довго працювати при температурах вище 300 °С і короткочасно при температурі 400 °С.

Сплави, що деформуються після лиття мають структуру  $\alpha$ -твердого розчину і надлишкової фази типу  $Mg_3Al_2$ . Використання таких сплавів дає високу масову ефективність: для великих корпусних деталей економія по масі становить 21,57 і 111% в порівнянні з алюмінієвими, титановими і сталевими деталями відповідно. Для зниження (на 30%) вартості виробів з магнієвих сплавів, що деформуються і підвищення рівня механічних властивостей використовують гранульну технологію виготовлення напівфабрикатів.

За рівнем міцності магнієві сплави поділяють на *маломіцні, середньої міцності і високоміцні*.

За густиною магнієві сплави ділять на *легкі і надтолегкі*. До надлегким сплавів ставляться сплави, леговані літієм (МА21, МА18 – найлегші конструкційні металеві матеріали), а до легких сплавів – всі інші сплави.

За чутливістю до термічної обробки розрізняють ті, що *термічно змінюються і термічно неміцніючі* сплави.

При класифікації за можливими температурами експлуатації магнієві сплави розбивають на групи:

- 1) *сплави загального призначення*, призначені для роботи при звичайних температурах;
- 2) *жароміцні сплави* – для тривалої експлуатації при температурах до 200°С;
- 3) *високожароміцні сплави* – для тривалої експлуатації при температурах до 250...300°С;
- 4) *сплави для експлуатації при криогенних температурах*.

Магнієві сплави використовуються для виготовлення навантажених і зварних деталей двигунів (коробки передач, гальмівні барабани та ін.). У зв'язку з малою стійкістю до корозії вироби з магнієвих сплавів *оксидуються*, а потім на оксидовану поверхню наносять лакофарбові покриття.

**Оксидування** – навмисне окислення поверхні металевих виробів, головним чином хімічним або електрохімічним (*анодування*) способом. Окисна плівка, що утворюється грає захисну (*пасивірування*), технологічну (*підшар*) чи декоративну (*вороніння*) ролі.

#### 2.4.4. Антифрикційні (підшипникові) сплави на олов'яній, свинцевій і цинковій основі

**Антифрикційність** – здатність матеріалу забезпечувати низький коефіцієнт тертя ковзання і тим самим низькі втрати на тертя.

**Антифрикційні сплави** – матеріали з низьким коефіцієнтом тертя ковзання, достатньою твердістю, хорошою деформуємістю і пластичністю, здатністю утримувати мастило на поверхні. Крім того, антифрикційні матеріали повинні мати низьку здатність до адгезії, гарну теплопровідність і бути корозійностійким в робочому середовищі. Антифрикційні сплави призначені для заливки вкладишів підшипників ковзання, парових турбін та ін.

Основні споживчі властивості антифрикційних сплавів реалізуються за рахунок структурних особливостей (рис. 2.9) – однорідна, м'яка, пластична основа з включенням твердих частинок (наприклад, SnSb). М'яка основа повинна забезпечувати гарну прироблюваність поверхонь тертя, а рівномірно розподілені в основі добре поліруються тверді включення – зменшувати (поряд з мастилом) коефіцієнт тертя. При обертанні вал спирається на тверді частинки, що забезпечують зносостійкість, а основна маса, що стирається швидше, прироблюється до валу і утворює мережу мікроскопічних каналів, по яких циркулює мастило і несуться продукти зносу.

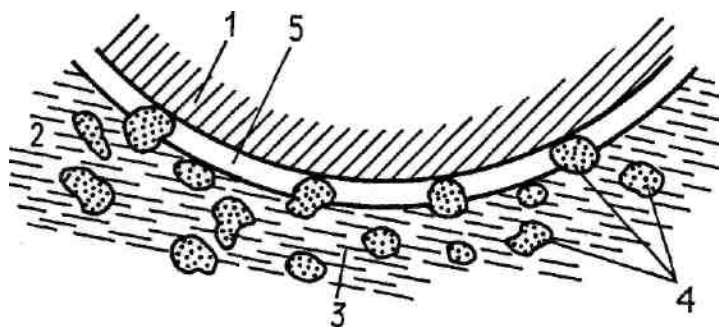


Рис. 2.9. Схеми роботи пари тертя вал-вкладиш:

- 1 – вал; 2 – вкладиш; 3 – м'яка основа матеріалу; 4 – тверді включення;  
5 – простір, що заповнюється мастилом, що зменшує сили тертя

Велика частина підшипників ковзання виготовляється з кольорових сплавів на мідній основі (латуні – ЛКС80-3-3 і бронзи – БрС30 і БрОЦС5-5-5) і на основі алюмінію. Широке поширення отримали також *бабіти*.

**Бабіти** – антифрикційні сплави на основі Sn, Pb, Ca, Zn та ін. з добавками Sb, Сі та інших елементів, призначені для заливки вкладишів підшипників. Найменування бабітів визначається переважним за вмістом елементом основи.

Кожен тип бабітів характеризується температурою експлуатації і ступенем відповідальності деталей, для яких застосовується.

##### **Олов'яні бабіти**

**Олово** – Sn, хімічний елемент IV групи періодичної системи елементів, атомний номер 50, атомна маса 118,69. Сріблясто-білий метал, м'який і пластичний;  $t_{пл} = 231,9 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Поліморфно; так зване біле олово (або  $\beta$ -Sn) з густиною  $7290 \text{ кг/м}^3$  нижче  $13,2 \text{ } ^\circ\text{C}$  переходить в сіре олово ( $\alpha$ -Sn) з густиною

5850 кг/м<sup>3</sup>. На повітрі тьмяніє, покриваючись плівкою оксиду, стійкого до хімічних реагентів. Близько 59% використовуваного олова йде на виробництво бабітів, друкарських та інших сплавів. Олово йде на покриття інших металів для захисту їх від корозії (*лугування*), на виготовлення білої жерсті для консервних банок, виготовлення фольги та ін.

Олов'яні бабіти базуються на системі Sn-Sb-Cu. Додаткове легування здійснюється Cu, Cd, As і Ni. Олов'яні бабіти маркуються літерою Б, за якою слідує цифра, що показує вміст основного компонента – олова (решта – сурма і мідь).

Структура олов'яних бабітів є гетерогенною системою, утвореною  $\alpha$ -твердим розчином, пронизаним довговісними *дендритами* Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, на яких рівномірно розподілені тверді кристали SnSb, які добре поліруються. У такій складній гетерогенній структурі є природні капіляри, по яких під тиском надходить мастильний матеріал.

**Дендрити** – структурний елемент (іноді кристали) деревовидної форми, що утворюється в результаті швидкої кристалізації по тонким тріщинах або в в'язкому середовищі.

Олов'яні бабіти (Б88, Б83) мають найкраще поєднання антифрикційних і фізико-механічних властивостей. Однак з огляду на великий вміст дорогого олова вони застосовується для заливки підшипників відповідного призначення важко навантажених машин (турбін).

#### **Свинцеві бабіти**

**Свинець** – Pb, хімічний елемент IV групи періодичної системи елементів, атомний номер 82, атомна маса 207,2. Синювато-сірий метал, важкий, м'який, ковкий; густина 11340 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{пл} = 327,4$  °С, діамантєн. На повітрі покривається оксидною плівкою, стійкою до хімічних впливів. Свинець не взаємодіє з соляною і сірчаною кислотами. Найбільш широко використовується для виготовлення пластин для акумуляторів (близько 30% виплавленого свинцю), оболонок електричних кабелів, апаратури, яка стійка в агресивних середовищах і газах, для захисту від гамма-випромінювання (стілки з свинцевих цегл).

Свинцеві бабіти застосовують для менш навантажених підшипників, ніж олов'яні. Для легування свинцевих бабітів використовують Ni, Cd і As. Свинцевий бабіт Б16 системи Pb - Sb (15...17%) з добавкою олова (15...17%) і міді (1,5...2%) є дешевим замінником олов'яних бабітів. Він використовується для виготовлення підшипників ковзання високошвидкісних двигунів, добре сприймає ударні і знакозмінні навантаження.

#### **Кальцієві бабіти**

**Кальцій** – Ca, хімічний елемент II групи періодичної системи елементів, атомний номер 20, атомна маса 40,08, відноситься до лужноземельних металів. Сріблясто-білий легкий метал, густина 1540 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{пл} = 851$  °С. Хімічно дуже активний; при звичайній температурі легко окислюється на повітрі. Як активний відновник служить для отримання U, Th, V, Cr, Zn, Be та інших металів і їх з'єднань, для розкислення сталей, бронз і так далі. Входить до складу антифрикційних сплавів. З'єднання кальцію застосовують у будівництві.

Кальцієві бабіти базуються на системі Ca - Pb - Na. Додаткове легування здійснюють Sn, Mg і Al. Ці бабіти (БКА, БК2, БК2Ш), маючи невелику міцність ( $\sigma_b = 60 \dots 120$  МПа, 20...30 НВ), можуть застосовуватися тільки в підшипниках з міцним сталевим (чавунним) або бронзовим корпусом, наприклад, на залізничному транспорті для підшипників вагонів, колінчастого вала тепловозних двигунів та ін. Для автомобільного транспорту їх застосовують у вигляді тонкостінних підшипникових вкладишів, одержуваних штампуванням з біметалічної стрічки.

### **Цинкові бабіти**

**Цинк** – Zn, хімічний елемент II групи періодичної системи елементів, атомний номер 30, атомна маса 65,38. Синювато-білий метал; густина 7130 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{пл} = 419,5$  °С. На повітрі покривається захисною плівкою оксиду. Застосовують в лужних акумуляторах, для покриття інших металів для захисту їх від корозії (цинкування) і отримання багатьох сплавів.

Для цинкових бабітів використовується цинк, легований алюмінієм, міддю або магнієм. Цинкові бабіти володіють високими антифрикційними властивостями і міцністю ( $\sigma_b = 250 \dots 400$  МПа) і можуть застосовуватися для вузлів тертя, температура яких не перевищує 100 °С, при порівняно невеликих швидкостях ковзання (до 8 м/с). Сплави ЦАМ 10-5 і ЦАМ 9,5-1,5 в литому вигляді застосовують для монометалевих вкладишів, втулок та ін., А сплав ЦАМ 10-5 – для виготовлення біметалевих виробів зі сталевим корпусом. Сплав ЦАМ 9,5-1,5 в деформованому вигляді використовують для отримання біметалевих смуг зі сталлю і алюмінієвими сплавами.

### **2.4.5. Припої**

**Припій** – метал або сплав, що заповнює зазор між сполучаємими деталями і призначений для їх з'єднання пайкою. Температура плавлення припоїв повинна бути нижче температури плавлення матеріалів деталей, що паяються, а в розплавленому стані припій повинен добре змочувати поверхні металів. Температурні коефіцієнти лінійного розширення металу і припою повинні бути близькі.

**Пайка** (паяння) – процес отримання нероз'ємного з'єднання шляхом нагрівання місця пайки і заповнення зазору між деталями, що сполучаються розплавленим припоєм з його подальшою кристалізацією.

Припої поділяють на *низькотемпературні* ( $t_{пл} < 400$  °С) і *виськотемпературні* ( $t_{пл} > 400$  °С).

Основні матеріали низькотемпературних припоїв – сплави олова та свинцю. Додаткове легування низькотемпературних (м'яких) припоїв з метою зниження температури плавлення виконується сурмою (до 6%) або кадмієм.

Позначення низькотемпературних припоїв (наприклад, ПОССу 18-2) розшифровується так: П – припій, ОС – олов'яно-свинцевий, Су – легирован сурмою, 18 і 2 – відповідно, вміст олова і сурми в відсотках.

Низькотемпературні припої використовуються для лужіння і пайки деталей електрорадіоапаратури, приладів, реле, в тому числі, оцинкованих, в кабельній, електро- і радіоелектронній промисловості, пайки білої жерсті,

лужіння і пайки деталей з закатаними і клепаними швами з латуні і міді, шпаклівки кузовів автомобілів та ін.

Високотемпературні припої виконують на мідно-латунній, мідно-нікелевій або срібній основах (наприклад, ПСР 72, де 72 – вміст срібла в %). Срібні припої застосовують для пайки чорних і кольорових металів, крім сплавів алюмінію і магнію, а припої на мідній основі – для пайки вуглецевих і легованих сталей, нікелю і його сплавів.

Припої для високотемпературної пайки забезпечують більш міцні з'єднання, ніж припої для паяння, так як внаслідок високої температури нагріву легше відбувається взаємна дифузія елементів основного металу і припою. Перехідний електроопір таких припоїв нижче, ніж низькотемпературних припоїв.

Для високотемпературної пайки міді і мідних сплавів найбільш ефективний мідно-фосфористий припій ПФОЦ7-3-2, що володіє хорошими корозійними і властивостями міцності. Для пайки алюмінієвих сплавів застосовують безсрібний припій ВПр19. З'єднання, виконані цим припоєм, після анодування мають забарвлення, однакову з основним матеріалом, що особливо важливо для отримання гарного товарного вигляду виробів.

Безсрібні припої в порівнянні тими, що вміщують срібло забезпечують значно більш високу корозійну стійкість паяних з'єднань (при тій же міцності), а отже, і їх надійність.

## 2.5. Порошкові металеві матеріали

*Металеві порошкові матеріали (металокераміка)* – матеріали, що виготовляються шляхом пресування металевих порошків в виробі необхідної форми і розмірів і наступного спікання сформованих виробів в вакуумі або захисній атмосфері при  $0,75...0,8 t_{пл}$ . Ці матеріали можуть бути отримані на основі більшості застосовуваних в техніці металів і сплавів.

*Спікання* – з'єднання дрібнозернистих і порошкоподібних матеріалів в шматки при підвищених температурах.

При спіканні відбуваються складні фізико-хімічні процеси (відновлення поверхневих оксидів, дифузія, рекристалізація та ін.) І утворюється однорідний твердий розчин (рис. 2.10). Спікання дозволяє отримати однорідний твердий розчин навіть у тому випадку, якщо в рівноважних умовах при плавленні використані компоненти практично нерозчинні одна в одній.

У процесі отримання металевих порошкових матеріалів після холодного пресування матеріали, а також заготовки і деталі з них мають невисоку міцність. Спікання знімає залишкові напруги і змінює фізичні властивості, покращуючи механічні. Однак збільшення температури і тривалості спікання призводять до зростання зерен, що може знизити механічні властивості виробу.

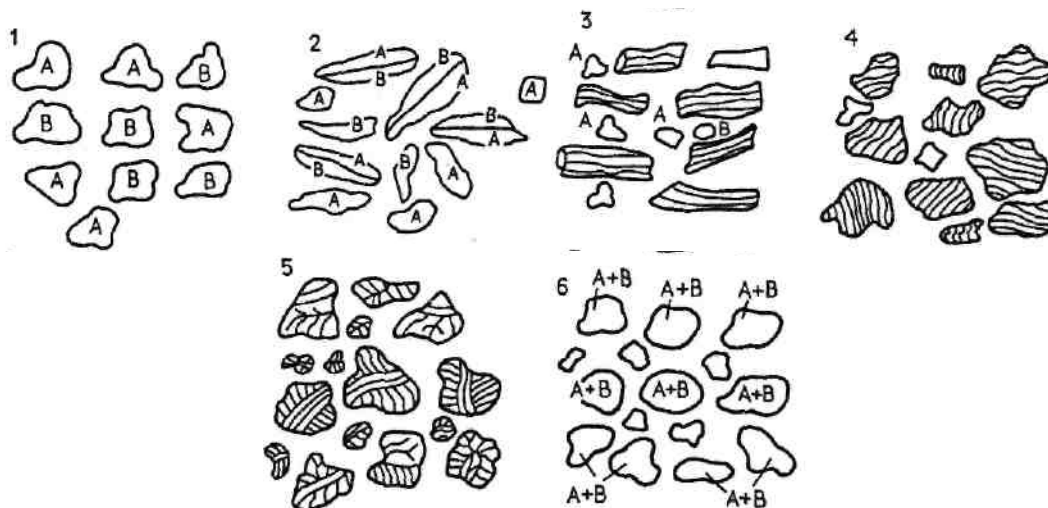


Рис. 2.10. Стадії отримання металевих порошкових матеріалів:  
 1 – початок перемішування елементів А і В; 2 – початкова стадія деформування; 3 – період переважного спікання частинок; 4 – утворення рівновісних частинок; 5 – довільна орієнтація частинок при спіканні; 6 – досягнення стійкої рівноваги

Порошкові металеві матеріали ділять на *компактні* і *пористі матеріали*. Пористими називають матеріали, в яких після остаточної обробки зберігається 10...30% залишкової пористості.

Механічні властивості виробів, отриманих з металевих порошоків, у багатьох випадках не поступаються властивостям виробів, отриманих звичайними металургійними методами, але сильно залежать від пористості і вмісту кисню. Збільшення пористості і вмісту кисню помітно знижує ударну в'язкість і міцність виробів. Для високонавантажених деталей порошкові сталі, наприклад, не застосовуються. Пористі матеріали, головним чином, використовуються для виготовлення фільтрів і як антифрикційні матеріали.

Для металевих порошкових матеріалів використовують, як і для металів, хіміко-термічну обробку (азотування, хромування, ціанування та ін.), Але процеси в цьому випадку протікають більш активно зважаючи на наявність пористості і, отже, більш розвиненої поверхні.

До переваг металевих порошкових матеріалів відносять:

- збільшення коефіцієнта використання металу;
- підвищення продуктивності;
- можливість отримати сплави з особливими фізичними властивостями (литтям можна отримати при необхідному хімічному складі).

Недоліком металевих порошкових матеріалів є те, що при існуючій технології вироби з них повинні бути простої симетричної форми, малих маси і розміру. Конструктивні форми деталі не повинні містити отворів під кутом до осі заготовки, виїмок, внутрішніх порожнин та виступів. Конструкція і форма деталі повинні забезпечувати можливість рівномірного заповнення порожнини прес-форми порошками, їх ущільнення, розподілу напружень і температури при пресуванні і видалення виробів з прес-форми.

Металеві порошкові матеріали за призначенням класифікують на *конструкційні, інструментальні* (тверді сплави) сплави і сплави *спеціального призначення із особливими властивостями*.

### 2.5.1. Конструкційні металеві порошкові матеріали

Конструкційні металеві порошкові матеріали за призначенням класифікуються на матеріали:

- антифрикційні,
- фрикційні,
- жаро- і високоміцні,
- фільтруючі (фільтри, фазорозділители, розподільники газових і рідинних потоків, глушники звукових і механічних коливань, вогнеперепинювачів та ін.),
- капілярно-пористі (випарники, конденсатори, капілярні структури теплових труб, капілярні насоси та ін.),
- зі спеціальними властивостями (пористі аноди, пластини акумуляторних батарей, замітники кісткової тканини, каталізатори, каталітично-дифузійні мембрани та ін.).

*Антифрикційні металеві порошкові матеріали* мають низький коефіцієнт тертя, легко прироблюються, витримують значні навантаження і мають гарну зносостійкість. Підшипники з порошкових сплавів можуть працювати без примусового змащування за рахунок «випотівання» масла, що знаходиться в порах. До антифрикційних металевих порошкових матеріалів відносяться залізографіт і бронзографіт.

**Залізографіт** – пористий металевий порошок антифрикційний матеріал, що складається з заліза (95...98%) і графіту (2...5%); пори залізографіту заповнені маслом.

Структура залізографіту повинна бути перлітною з масовою часткою пов'язаного вуглецю до 1%. Така структура допускає найбільш високі швидкості і навантаження при найменшому зношенню підшипників. Додаток до залізографітових матеріалів сірки (0,8...1,0%) або сульфідів (3,5...4%), що утворюють сульфідні плівки на поверхнях, що труться, зменшує зношення і прихоплюємість деталей, що сполучені, покращує прироблюваність.

Основні споживчі властивості залізографіту:

$\sigma_B = 180...300$  МПа; НВ 60...120;  $K_{тр} = 0,07...0,09$  (з мастилом);  $t_e = 100...200^\circ\text{C}$ .

Залізографіти (наприклад, ЖГр1, ЖГр3, ЖГр7, що містять 1...7% графіту) використовуються для виготовлення підшипників і втулок для різних вузлів машин і механізмів.

**Бронзографіт** – пористий металевий порошок антифрикційний матеріал, що містить частинки графіту (1,5...3%), рівномірно розподілені між частинками бронзи (до 9% Sn); пори бронзографіта заповнені маслом.

Бронзографіт по мікроструктурі представляє собою зерна твердого розчину олова в міді з включеннями графіту і порами, що заповнені мастилом.

Основні споживчі властивості бронзографіта:



$\sigma_B = 30...50$  МПа; НВ 25...50;  $K_{тр} = 0,05...0,007$  (з мастилом);  
 $t_c = 200...250^\circ\text{C}$ .

Бронзографіти (наприклад, БрОГр10-2, БрОГр8-4) в основному використовуються для виготовлення втулок для підшипників ковзання.

Найбільш суттєвою при експлуатації виробів з антифрикційними порошковими сплавами є допустиме навантаження; так, для залізографіту вона допускається до 1000...1500 МПа, а для бронзографітов – 400...500 МПа.

**Фрикційні матеріали** – матеріали, мають великий коефіцієнт тертя і високий опір зношенню. Використовуються в гальмівних пристроях.

*Фрикційні металеві порошкові матеріали* за хімічним складом належать системі Fe - Cu. При цьому основним компонентом може бути як залізо, так і мідь. Фрикційні порошкові матеріали мають підвищену крихкість і низьку міцність. Для зміцнення фрикційні матеріали виготовляють у вигляді тонких секторів (сегментів, смуг) і кріплять на сталевий основі.

Більш високими споживчими властивостями володіють матеріали на залізній основі з додаванням, крім міді, різних легуючих компонентів (карбіди кремнію, бору, тугоплавкі оксиди та ін.).

Фрикційні металеві порошкові матеріали на залізній основі використовуються для виготовлення деталей гальм, гальмівних накладок та ін., що експлуатуються без мастильного матеріалу. Найбільше застосування отримав матеріал ФМК-11 (15% Cu, 9% графіту, 3% азбесту, 3% SiO<sub>2</sub> і 6% баріту).

Фрикційні порошкові матеріали на мідній основі застосовуються для виготовлення сегментів і дисків зчеплення при рідинному терті в парі з загартованими сталевими деталями і володіють наступними споживчими властивостями: навантаження до 400 МПа; швидкість ковзання до 40 м/с;  $t_s = 300...350^\circ\text{C}$ .

*Жароміцні і високоміцні металеві порошкові матеріали* виготовляють на основі нікелю, алюмінію, титану, хрому, а також карбідів вольфраму, молібдену, цирконію та інших тугоплавких металів. Ці матеріали застосовуються для виготовлення таких деталей, хімічний склад яких не можна отримати литтям.

Фільтри з металевих порошкових матеріалів виготовляють на основі нікелю, заліза, титану, алюмінію, а також корозійно-стійких сталей, бронз та ін. Основними споживчими властивостями цих матеріалів є пористість ( $p = 45...50\%$ ) і максимальний діаметр каналу фільтрації ( $d_K = 2...20$  мкм). У порівнянні з існуючими проникними матеріалами на органічній (повсть, папір, тканина, полімер) і неорганічній (кераміка, азбест, скло) основах фільтри з металевих порошкових матеріалів характеризуються більшою проникністю, міцністю, пластичністю, стійкістю до теплових ударів, здатністю до регенерації. Вони корозійно-стійки і жароміцні; можуть працювати при температурах понад 1000 °С.

## 2.5.2. Інструментальні металеві порошкові матеріали

*Інструментальні металеві порошкові матеріали* – тверді сплави, що виготовляються з порошків пресуванням і спіканням.

Інструментальні металеві порошкові матеріали можна розділити на дві групи за змістом вольфраму і області застосування: *вольфрамову* і *безвольфрамову*.

*Інструментальні порошкові металеві матеріали вольфрамової групи* виготовляють на основі карбідів вольфраму, титану та ін. з кобальтовою зв'язкою.

Структура інструментальних порошкових матеріалів вольфрамової групи: тверді частинки карбідів вольфраму і титану (у деяких сплавів, крім того, карбідів танталу), пов'язані м'якою евтектикою. Зі збільшенням вмісту кобальту знижуються твердість і зносостійкість, але зростає міцність.

За природою карбідних частинок матеріали вольфрамової групи виготовляють як:

- 1) вольфрамові (ВК3, ВК6, ВК8, ВК10);
- 2) титановольфрамові (Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12);
- 3) титанотанталовольфрамові (ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8-Б, ТТ20К9).

Споживчі властивості інструментальних металевих порошкових матеріалів вольфрамової групи по твердості (HRA 73...75), величиною модуля Юнга ( $E = 500000$  МПа) і температурі експлуатації ( $t_e = 620...720$  °С) перевершують аналогічні показники швидкорізальних сталей, проте поступаються їм за показниками міцності ( $\sigma_B = 900...1000$  МПа,  $\sigma_{зг.} = 1400...1650$  МПа).

У марках таких матеріалів перші літери позначають групу, до якої належить сплав (ВК – вольфрамова, Т – Титановольфрамова, ТТ – титанотанталовольфрамова); цифри в вольфрамовій групі – кількість кобальту; перші цифри в Титановольфрамовій групі – кількість карбіду титану, а другі – кількість кобальту; перші цифри в титанотанталовольфрамовій групі – кількість карбідів титану і танталу, а другі – кількість кобальту. У марках після тире може бути вказана крупність порошків: ОМ – особливо дрібні порошки; М – дрібні порошки; В – найбільшзернистий карбід вольфраму; ВК – особливо великий карбід вольфраму.

Інструменти з металевих порошкових матеріалів використовуються для чистової й чорнової обробки важкооброблюваних матеріалів, буріння скельних порід та ін. З власними показниками HRC 65...69. Отримана чистота оброблюваної поверхні через високу жорсткості порошкових матеріалів краще, ніж після різання інструментами з швидкорізальних сталей. Стійкість різального інструменту з порошкових сталей в порівнянні зі стійкістю інструмента з аналогічних литих сталей в 1,2 ... 2 рази вище.

*Інструментальні металеві порошкові матеріали другої групи (безвольфрамові)* виготовляють на основі карбіду титану TiC (сплав ТН-20) або карбонітриду титану Ti(NC) (сплав КНТ-16) з Ni та Mo. Нікель і молібден утворюють зв'язуючу матрицю. Безвольфрамові матеріали, володіючи більш низькими, ніж вольфрамові матеріали, споживчими властивостями,

використовуються для виготовлення інструментів для обробки сталей і кольорових металів і буріння менш міцних гірських порід.

Технологічним недоліком інструментальних металевих порошкових матеріалів є неможливість обробки їх різанням, так як вони не піддаються термічній обробці і не змінюють своєї твердості. Таким чином, вироби з твердих сплавів з урахуванням технології їх виготовлення роблять тільки простої форми (короткі свердла) або у вигляді пластин-накладок, що закріплюються в ріжучому інструменті або штампі. На робочі поверхні багатограних непереточуваних пластин (МНП) нерідко завдають тонкі зносостійкі карбідні (TiC) або нітрідні (TiN) покриття, що підвищують термін дії інструменту в 3...4 рази.

## 2.6. Обробка металів тиском

Обробкою металів тиском називають процес отримання виробів, заснований на використанні пластичних властивостей металів та їх сплавів. При обробці тиском поряд зі зміною форми змінюється будова вихідного металу (сплаву) і його фізико-хімічні та механічні властивості.

**Обробка металів тиском** – високопродуктивний процес, що дозволяє отримувати вироби з досить точними розмірами, хорошою чистотою поверхнею, малими відходами металу і більш високими механічними властивостями в порівнянні з виливками. До способів обробки металів тиском відносять прокатку, волочіння, пресування, кування і штампування. Обробку тиском піддають злитки, сортовий прокат і листи, виготовлені зі сталі, алюмінієвих, магнієвих, мідних і інших сплавів.

Заготовки перед обробкою тиском нагрівають, до підвищення пластичності металу, в результаті його опір деформації зменшується в 10 ... 15 разів у порівнянні з холодним станом. При гарячій деформації опір деформації приблизно в 10 разів менше ніж при холодній. Це дозволяє знизити вартість виготовлених виробів. Для кожного металу і сплаву температура гарячої обробки має свої верхню і нижню межі, що утворюють область нагріву, звану **температурним інтервалом обробки**.

У процесі гарячої обробки тиском відбувається утворення дрібних зерен, зменшуються або знищуються пороки литого металу (наприклад, заварюються нерівні раковини, порожнечі з неокисленими поверхнями), кристали сталі витягуються і орієнтуються в напрямі течії металу, створюється волокниста макроструктура, внаслідок чого механічні властивості сталі уздовж волокон стають вище, ніж поперек волокон. Цю властивість використовують при виготовленні деталей; заготовку деформують так, щоб напрямок виникаючих в деталі максимальних напруг, що розтягують збігалосся з напрямком волокон, причому волокна повинні огинати контур виробів і не повинні перетинати їх.

Для нагріву заготовок застосовують полум'яні і електричні печі. Полум'яні печі працюють на твердому, рідкому і газоподібному паливі. У них нагрівають як дрібні, так і великі заготовки. За характером розподілу температури в робочому просторі печі діляться на камерні (температура в усьому робочому

просторі однакова) і методичні (температура в робочому просторі підвищується від завантажувального вікна до вікна видачі нагрітих заготовок). У полум'яних печах заготовки стикаються з продуктами горіння, тому метал чадіє. Для виключення або зменшення утворення окалини застосовують безокислительний нагрів металу в розплавлених солях, в середовищі захисних газів, в муфельних печах, захищають поверхню заготовки спеціальними покриттями зі скла, оксиду літію.

Електричні печі опору мають металеві або карборундові елементи опору, які підключають до електричної мережі. Печі частіше застосовують для нагрівання кольорових металів і сплавів, що мають невисоку температуру початку обробки тиском. У таких печах температуру можна регулювати.

**Прокаткою** називається процес обробки металу між обертовими валками прокатного стану. Метал при прокатці рухається завдяки тертю між поверхнями валків і металу зі швидкістю до 50 м/с. Прокатне виробництво металургійного заводу являє собою складний технологічний процес, який ділиться на чотири основних переділи: підготовка злитка до прокатки, отримання напівпродукту, отримання готових виробів та охолодження, різання і правка прокату.

Для отримання прокатних виробів вихідним матеріалом служать злитки або литі заготовки, що надходять з установок безперервного розливання. Злитки бувають різної форми, розмірів і маси. Для досягнення високої продуктивності станів готового прокату злитки металу масою до 28 т попередньо обжимають і надають їм необхідну форму. Злитки квадратного профілю називаються **блюмами** і обжимаються на блюмінгах; злитки прямокутного профілю називаються **слябами** і обжимаються на слябінгах. Напівпродукт у вигляді блюмів використовується для отримання сортового прокату (рис. 2.11), а сляби – для отримання листа.

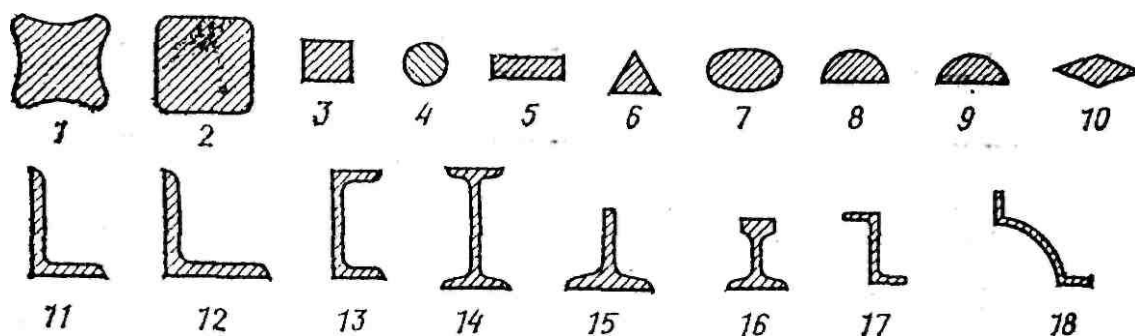


Рис. 2.11. Деякі види профілів прокату

1 – блюмс; сталь; 2 – квадратна із закругленими кутами; 3 – квадратна; 4 – кругла; 5 – полосова; 6 – трикутна; 7 – овальна; 8 – напівкругла; 9 – сегментова; 10 – ромбовидна; 11 – нерівнобічна кутова; 12 – рівнобока кутова; 13 – швелер; 14 – двотаврова балка; 15 – таврова сталь; 16 – рейка; 17 – зетова сталь; 18 – колонна (квадратна) сталь

Готовий продукт виходить на сортових станах гарячого і холодного прокату. Рельсобалочного стану призначені для отримання з блюмів рейок,

балок, швелерів та інших великих профілів; сортові стани – для виготовлення сортового прокату простого і фасонного профілів; дротові стани – для прокатки дроту діаметром 5...10 мм; листопрокатні стани – для виробництва листа; трубопрокатні стани – для отримання безшовних труб і так далі. При виробництві прокатних виробів заготовка, проходячи через ряд спеціальних установок, набуває задану форму. Наприклад, для отримання кола послідовно змінюють перетин заготовки: квадрат – овал – коло.

Особливе місце в прокатному виробництві займає холодна прокатка сталі для отримання листів і стрічок високої міцності з гарною якістю поверхні. Технологічний процес холодної прокатки складається з термічної обробки заготовки, холодної прокатки, термічної обробки готового листа.

В останні роки великого поширення отримує виготовлення фасонних гнутих профілів на безперервних профілегібних станах. Тонкостінні, легкі, складної конфігурації, що забезпечують найкращу роботу конструкції, фасонні профілі знаходять застосування в автомобілебудуванні, авіабудуванні, будівництві і тому подібних. Заміна прокату гнутими профілями дуже економічна як по раціональності форм, так і по витраті металу.

**Волочіння** – процес обробки металів тиском з протягуванням заготовки через отвір матриці, перетин якого менше вихідного перерізу заготовки. В результаті волочіння отримують, виріб із постійним перетином по всій довжині. При волочінні за рахунок зменшення поперечного перерізу заготовки збільшується її довжина. Волочіння здійснюють на волочильних станах, які за принципом роботи поділяються на дві групи: 1) з прямолінійним рухом тягнучих пристроїв (ланцюгові, рейкові, гвинтові); 2) з круговим рухом металу, що простягається (барабанні). Волочильний стан складається з двох основних частин: матриці (волоки) і тягнучого пристрою. Через фільтру за допомогою тягнучого пристрою простягається заготовка.

На станах з прямолінійним рухом виготовляють прутки, профілі та труби. На станах з круговим рухом виробляють волочіння дроту і труб малого діаметра з одночасним намотуванням їх на барабани в бухти. Волочильні, прямолінійні стани бувають однопруткові і багатопруткові, коли одночасно відбувається волочіння декількох прутків.

Барабанні стани діляться на стани одноразового волочіння, де заготівля проходить одну фільтру, і багаторазового волочіння, де заготівля проходить послідовно через кілька фільтрів (2...15 і більше) із отворами, перетин яких зменшується. На станах одноразового волочіння, в основному, виготовляють товстий дріт діаметром 0,4...8 мм; на станах багаторазового волочіння – дріт меншого перетину.

**Кування** полягає в отриманні деталі з нагрітої заготовки шляхом деформування її ударними навантаженнями, переданими молотом; або статичними навантаженнями шляхом натискання преса. Отримана деталь називається покуванням.

**Штамуванням** називають процес деформації металу в штампах. Розрізняють об'ємне і листове штампування. При об'ємному штампуванні попередньо нагріту заготовку деформують в замкнутій порожнині штампа,

форма і розміри якої визначають форму і розміри одержуваної покування. Гаряче об'ємне штампування виробляють на молотах, пресах або горизонтально-кувальних машинах. Листове штампування – деформація в холодному стані листової вихідної заготовки в штампі, має матриці з притискним кільцем і пуансон. Цей вид штампування проводять на спеціальних штампувальних пресах. Штампуванням виготовляють заставні деталі для збірного залізобетону, корпуси обладнання та машин.

## 2.7. Зварювання металів

**Зварювання** називають процес отримання нероз'ємних з'єднань металевих виробів із застосуванням місцевого нагріву. Металеві частини в місцях з'єднання нагріваються до плавлення або до пластичного стану. Зварюванням досягається різке зниження трудомісткості, прискорення процесу виробництва робіт при виготовленні конструкцій. В даний час в нашій країні до 90% металоконструкцій виготовляються зварними.

Зварюваність металів неоднакова і залежить від їх фізичних властивостей, методів і режимів, які застосовуються при зварюванні. Підвищена кількість вуглецю і розчинених газів призводить до пористості в місці зварювання, так як вуглець, з'єднуючись з киснем, утворює газоподібні продукти. Найкраще зварюються маловуглецеві сталі ( $C < 0,2\%$ ). Сталі з вмістом вуглецю понад 0,4% при зварюванні необхідно попередньо підігрівати з подальшим відпалом. Погіршує зварюваність перегрів металу внаслідок утворення голчастої структури, яка знижує міцність і підвищує крихкість зварного шва.

В результаті розігріву поблизу зони зварювання утворюється зона термічного впливу, в якій змінюється структура металу. Розміри зони термічного впливу залежать від виду зварювання, якості електродів; при газовому зварюванні вона може досягати 20...25 мм, а при електродуговій 2...8 мм. У маловуглецевих сталях метал в зоні термічного впливу не змінює механічних властивостей, але в деяких сталях в результаті різкого охолодження можуть з'явитися гартівні структури і тріщини.

При зварюванні легованих сталей не можна допускати перегріву, так як може статися вигорання спеціальних елементів, виділення карбідів, самозакалюваність зварної зони, можуть з'явитися усадочні тріщини. Труднощі зварювання чавуну є наслідком підвищеного вмісту вуглецю і невисокої його пластичності. Сварка чавуну виробляється, як правило, з підігрівом до 600...700 °С, щоб усунути внутрішні напруги і запобігти утворенню тріщин поруч зі звареним швом.

Залежно від виду енергії, використовуваної для нагрівання металу, розрізняють хімічне (газову, термічну) і електричне (дугову, контактну) зварювання. Метал при зварюванні може доводитися до рідкого або пластичного стану. Залежно від способу подачі присадочного металу і флюсів до місця зварювання. Розрізняють ручний, напівавтоматичний і автоматичний способи зварювання.

Найбільш поширені *електродугове* зварювання плавленням із застосуванням металевого електрода і *електроконтактне* зварювання. *Газове*

зварювання застосовують для зварювання чавуну, кольорових металів і сталевих деталей малої товщини.

**Електродугове зварювання** засноване на використанні теплоти від електричної дуги, що виникає між двома провідниками (електродами) при пропусканні електричного струму. При застосуванні змінного струму витрата енергії менше, ніж при постійному, обладнання простіше і дешевше. При постійному струмі горіння дуги більш стабільно, ніж при змінному струмі. Стійкість дуги при змінному струмі можна збільшити підвищенням напруги, збільшенням частоти і застосуванням спеціальної обмазки на електродах. Можна створювати дугу також між двома електродами поблизу зварюємої деталі і розплавляти метал і електрод.

При зварці одним полюсом, як правило, є зварювальна деталь, а іншим – вугільний або металевий електрод (рис. 2.12). У разі застосування вугільного електрода (рис. 2.12, а) необхідний присадний метал, для чого розплавляють спеціальний пруток, а при металевому електроді (рис. 2.12, б) розплавляється електрод.

Температура електричної дуги залежить від електродів: для металевих вона становить 2400...2600 °С, вугільних 3800...3900 °С. У центрі дуги по її осі температура сягає 7000 °С. Корисно використовується тільки 60...70% теплоти. Для запалювання дуги електрод замикається на виріб. При зварюванні металевим електродом його кінець і виріб, що зварюється розплавляються, краплі металу електрода стікають, заповнюють зварений шов і утримуються на ньому силами поверхневого натягу. Витрати електроенергії на 1 кг наплавленого металу при змінному струмі менше (3...4 кВт·г/кг), ніж при постійному струмі (6...10 кВт·г/кг).

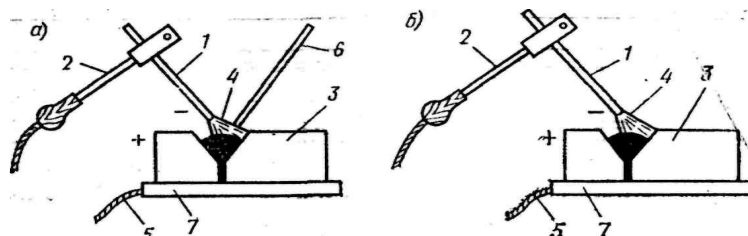


Рис. 2.12. Схема дугового електрозварювання

а – спосіб М.М. Бенардоса; б – спосіб Н.Г. Славянова; 1 – електрод; 2 – тримач; 3 – зварювальна деталь; 4 – електрична дуга; 5 – гнучкий провід; 6 – присадний метал; 7 – плита

Електроди можуть бути плавкими (сталевими, чавунними, алюмінієвими) і не плавкими (вугільними, вольфрамовими). Залежно від товщини зварюваного металу електроди застосовуються діаметром 1...12 мм і довжиною 300...450 мм. Якість електродів залежить від марки вживаного металу і виду обмазки. На електроди наносять різного виду обмазки для підвищення стійкості горіння електричної дуги шляхом іонізації повітряного проміжку, створення навколо розплавленого металу і дуги захисного шару з газів і шлаку, необхідного для захисту металу від окислення і азотування, а також забезпечує розкислення металу і зменшення швидкості його охолодження.

У разі необхідності зварювання металу товщиною 100...120 мм і більше за один прохід використовують **електрошлакове зварювання**. Таке зварювання відбувається за рахунок теплоти, що виділяється при проходженні електричного струму через розплавлений флюс (шлак), нагрітий до температури, що перевищує температуру плавлення зварюваного металу.

Електродугове зварювання під водою досягається застосуванням спеціального електроду з товстої водонепроникної обмазки, що плавиться повільніше цього електрода. Обмазка забезпечує стійкість горіння дуги під водою через утворення газового міхура. До складу обмазки входять залізний сурик, крейда, титанова руда, польовий шпат, розчинне скло.

**Електроконтактне зварювання** засноване на нагріванні місця зварювання електричним струмом високої щільності (десятки і сотні тисяч ампер) з одночасним здавленням деталей для полегшення взаємного проникнення атомів металів, що зварюються. Перевагою електроконтактного зварювання перед іншими видами зварювання є можливість повної механізації і автоматизації. Висока щільність струму і незначне напруження (0,5...10 В) створюють в місці контакту швидке нагрівання до плавлення. Схеми різних видів електроконтактного зварювання показані на рис. 2.13.

**Стикове контактне зварювання** забезпечує з'єднання окремих металевих частин деталей по всій поверхні зіткнення. Якість стикового контактного зварювання визначається вибором правильного режиму електричної потужності (5...15 кВт на 1 см<sup>2</sup>), тривалістю зварювання (4...40 с при сталевих стрижнях, діаметром 6...50 мм), швидкістю оплавлення, тиском опаді.

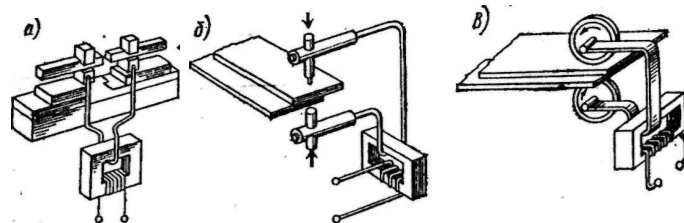


Рис. 2.13. Схема різних видів контактного зварювання  
а – стикове; б – точкове; в – роликове

**Точечне зварювання** – найпоширеніший вид електроконтактного зварювання. Воно застосовується при з'єднанні деталей в окремих місцях у вигляді невеликих майданчиків (точок). Необхідна для розігрівання теплота створюється електричним струмом, що підводиться мідними електродами, між якими міститься і затискається зварювана деталь. Точкове зварювання широко використовується при зварюванні перетинів арматури для залізобетонних конструкцій, прокатних і штампованих профілів сортової сталі малої товщини. Якість зварювання досягається правильним вибором тривалості нагріву (від десятих до тисячних часток секунди), тиску між електродами під час нагрівання і після нього, діаметр мідного електрода і інших чинників. Для точкового зварювання випускаються автоматичні і неавтоматичні машини; їх потужність залежить від товщини зварювальних виробів.



**Шовне** або **роликоче зварювання** дозволяє робити з'єднання листового металу безперервним швом. При шовному зварюванні застосовуються електроди у вигляді роликів (діаметр 40...350 мм, ширина обода 4...6мм). Цей вид зварювання по типу застосовуваних машин і за прийомами не відрізняється від точкового. Режим шовного зварювання визначається кроком точок, що утворюють шов (1,4...4,5 мм), зусиллям прикладеним до роликів, діаметром роликів, силою зварювального струму, швидкістю зварювання. При безперервному роликочому зварюванні метал і електроди сильно нагріваються, тому більш поширеним є зварювання з чергуючим короткочасним включенням і вимиканням електричного струму, але безперервним переміщенням деталі.

**Газове зварювання** засноване на отриманні необхідної теплоти для розплавлення зварювальних деталей за рахунок хімічної реакції горіння газів (ацетилену, водню, бутану, природного газу, парів бензину, гасу і т.п.). Найбільш широко в практиці застосовують газ ацетилен. Ацетилен до місця зварювання доставляють в балонах під тиском 1,6...2,2 МПа, яке знижується до робочого тиску редуктором. Ацетилен може бути отриманий і на місці споживання в спеціальних генераторах шляхом впливу води на карбід кальцію. При співвідношенні кисню до ацетилену 1,1:1,2 досягається температура горіння 3100 °С. Зміна співвідношення кисню і ацетилену приводить до порушення нормального горіння: при надлишку кисню полум'я стає окислювальним, а при надлишку ацетилену зварювальне полум'я насичується розпеченими частками вуглецю і температура різко знижується.

Ацетилен і кисень змішуються в спеціальному пальнику, на виході з якого відбувається горіння. Найбільшого поширення набули пальники інжекторного типу, в яких струмінь кисню при виході з пальника створює розрідження, завдяки чому і відбувається примусове засмоктування ацетилену. Залежно від товщини зварюваного металу наконечники і пальники змінюються.

При газовому зварюванні для створення зварювального шва вводять присадочні прутки. Такі прутки повинні мати хімічний склад, близький до складу зварюваного металу. Для підвищення продуктивності зварювання і поліпшення якості шву застосовують багатополум'яні пальники з декількома мундштуками.

Для з'єднання трубопроводів, рейок, інструменту і такого подібного застосовують **газопресове зварювання**, при якому деталі нагрівають багатополум'яними пальниками до переходу металу в пластичний стан або до оплавлення, а потім зварюють при сильному стисненні деталей.

## **2.8. Захист металів від корозії**

### **2.8.1. Види корозії**

**Корозія** – процес хімічного або електрохімічного руйнування металів під дією навколишнього середовища. Встановлено, що від корозії щорічно втрачається безповоротно близько 10% усіх вироблених металів.

**Хімічна корозія** происходит в результате окислительного и восстановительного процессов, протекающих одновременно. Химическое

взаємодія металів з зовнішнім середовищем складається в основному з окислення (с утворенням окисної плівки), дифузії атомів (іонів) металу крізь окисні плівки і зустрічного переміщення атомів (іонів) кисню до металу. Хімічна корозія можлива в будь-якому зовнішньому середовищі, але спостерігається, в основному, в повітрі при високій температурі, в рідких неелектролітах (нафта, бензин, керосин, розплавлені сірка). Хімічна корозія в газоподібному середовищі при високій температурі називається також *газовою корозією*.

**Електрохімічна корозія** – найбільш поширений вид корозії металів. Вона відбувається при взаємодії металів з рідкими електролітами (водою, водними розчинами солей, кислот, лугів, сплавами солей і лугів). При зіткненні металу з водними розчинами між ними починається взаємодія, так як катіони металів, що знаходяться на поверхні кристалічних решіток, не утримуються і переходять в навколишнє середовище. У сухому газі катіони поверхню покинути не можуть. Метал, що втратив позитивний заряд, заряджається негативно залишившимися електронами, а шар розчину, що прилягає до металу, заряджається позитивно – виникає стрибок потенціалу.

Таблиця 2.5

#### Значення потенціалів металів

Елемент	Нормальний потенціал по відношенню до водня	Елемент	Нормальний потенціал по відношенню до водня
Натрій	-2,71	Нікель	-0,23
Берилій	-1,96	Олово	-0,136
Магній	-1,55	Свинець	-0,127
Алюміній	-1,3	Водень	-0,0
Марганець	-1,1	Сурма	+0,2
Цинк	-0,762	Вісмут	+0,226
Хром	-0,51	Мідь	+0,344
Залізо	-0,439	Ртуть	+0,799
Кадмій	-0,402	Срібло	+0,799
Кобальт	-0,27	Золото	+1,29

Цей процес поступово доходить до отримання певного значення потенціалу, і потім розчинення металу припиняється. У разі порушення рівноваги, пов'язаного з переміщенням електронів, процес корозії триває.

Встановлено ряд напруг для різних елементів (табл. 2.5), згідно з яким при контакті двох металів завжди руйнується більш електронегативний метал. Наприклад, при контакті цинку з залізом руйнується цинк. Корозії сприяють неоднорідності металу, при цьому утворюється мікропара. Наприклад, в перліті ферит більш електронегативний, ніж цементит, ферит і буде руйнуватися в відповідних умовах.

На швидкість розчинення металу в електроліті впливають домішки, способи обробки, концентрація електролітів. Метал, що знаходиться під

навантаженням, корозує значно швидше ненавантаженого, так як порушується цілісність захисної плівки і утворюються мікротріщини. Активному протіканню процесу корозії сприяють вуглекислий, особливо, сірчистий газ, хлористий водень та різні солі.

### 2.8.2. Захист металів від корозії

Захист від корозії слід починати правильним підбором хімічного складу та структури металу. На практиці для захисту металу від корозії застосовують *легування і захисні покриття*.

Легуючі елементи утворюють з основним металом сплави, тверді розчини, які підвищують стійкість металу від корозії. Незначний домішок міді і хрому (менше 1%) значно підвищує опір сталі корозії, а введенням до 20% різних легуючих добавок можна отримати нержавіючі сталі.

До числа заходів по боротьбі з корозією металу відносяться:

1) очищення металів від домішок, що прискорюють корозійні процеси (видалення сірки з залізних сплавів);

2) легування елементами, які переводять метал в пасивний стан (наприклад, електродний потенціал вуглецевої сталі при введенні 12,6% хрому змінюється з -0,6 В до +1,8 В, і сталь стає стійкою до корозії не тільки в сухих газових середовищах, але і в атмосфері, воді і багатьох промислових середовищах, що містять кисень і інші окислювачі);

3) нанесення на вироби захисних покриттів.

Захист від корозії слід починати правильним підбором хімічного складу та структури металу. Однак найбільше поширення в практиці для захисту металу від корозії отримали *легування і захисні покриття*.

Захисні покриття (плівки) можуть бути *металевими, оксидними, бітумними, полімерними, лакофарбовими, склоемалевими, бетонними та іншими*.

Металеві покриття являють собою механічну (катодне покриття) або електрохімічний (анодне покриття) захист.

**Катодне покриття** – це покриття металом, який більш електропозитивний, ніж основний (лудіння заліза оловом). Руйнування основного металу може відбутися тільки в тому випадку, якщо на покритті утворюється тріщина або отвір, і плівка вже не буде механічно захищати метал.

**Анодне покриття** – це покриття більш електронегативним металом, ніж основний (наприклад, *цинкування і хромування* сталі). У разі пошкодження електрохімічне розчинення металу покриття перешкоджає корозії основного металу.

Наносити катодне і анодне покриття можна методом занурення деталі в розплавлений метал, температура плавлення якого нижче температури плавлення деталі. Більш універсальний метод покриття – гальванічний, заснований на електролітичному осадженні металевих опадів з розчинів солей, причому основний метал є катодом, обкладений метал – анодом.

При **оксидуванні** природну оксидну плівку завжди наявну на металі, роблять більш міцною шляхом її обробки сильним окислювачем, наприклад,

водним розчином NaOH + NaNO<sub>3</sub> при 125...140 °С протягом 40...60 хв. Виріб, покрий оксидною плівкою товщиною 2...5 мкм, забарвлюється в синьо-чорний колір. **Вороніння** – окремий випадок оксидування. При воронінні на поверхні також створюється оксидна плівка, але більш складними прийомами, пов'язаними з багаторазовою термічною обробкою при 300...400 °С в присутності деревного вугілля.

**Фосфатування** – полягає в отриманні на виробі поверхневої плівки з нерозчинних солей заліза або марганцю в результаті обробки металу фосфатами заліза або марганцю.

**Плакування** – накладення на основний метал тонкого шару захисного металу (біметалу) і закріплення його шляхом гарячої прокатки (наприклад, на залізомідний сплав, на дуралюміній чистий алюміній).

**Металізація** – покриття поверхні, деталі розплавленим металом, розпорошеним стисненим повітрям. Перевага цього методу захисту металу в тому, що покривати розплавом можна вже зібрані конструкції, а недолік полягає в тому, що виходить шорстка поверхня.

**Лакофарбові покриття** засновані на механічному захисті металу плівкою з різних фарб і лаків.

При тимчасовому захисті металевих виробів від корозії (транспортуванні, складуванні) використовують для покриття металу масла, що не висихають (технічний вазелін, лак етиноль), а також **інгібітори** – речовини, що уповільнюють перебіг корозії. З інгібіторів найбільш поширений нітрит натрію.

Вани, раковини, декоративні вироби для захисту від корозії покривають емалю, тобто наплавляють на метал при 750...800 °С різні комбінації силікатів (кварц, польовий шпат, буру, глину та ін.).

## 2.9. Метал для кріплення гірничих виробок

Метал є одним з найбільш досконалих кріпильних матеріалів, так як має високу міцність, можливість багаторазового використання, довговічність, вогнестійкість, значною деформуємостю без втрати несучої здатності, високим коефіцієнтом конструктивної якості, добре піддається обробці. Сталь є пружно-пластичним матеріалом, тому металеві кріплення можуть зазнавати пластичні деформації без втрати несучої здатності. Після виправлення деформованих елементів металеве кріплення може бути повторно використане для кріплення гірничих виробок. Недоліком металу як кріпильного матеріалу є схильність його корозії, яка сильно проявляється в підземних умовах, і більш висока в порівнянні з кріпильним лісом вартість.

Для кріплення застосовують чавунне і сталеве лиття, прокатну сталь різних профілів і типорозмірів, сортову сталь, а також готові металеві вироби (металовироби). Всі сорти металів і металовиробів, що застосовуються в якості кріпильного матеріалу, повинні задовольняти вимогам відповідних ДСТУ. Чавунне і сталеве лиття застосовують в основному для тубінгів (ребристі сегменти кільцевого кріплення), черевиків, фігурних накладок та інших елементів кріплення.

Для виготовлення металевих рамних кріплень застосовується переважно спеціальний жолобчастий шахтний профіль прокату (балки) СВП (спеціальний взаємозамінний профіль) з гарячокатаної сталі марки Ст5 наступних типорозмірів: 14, 17, 19, 22, 27, 33 кг/м (рис. 2.14).

Крім зазначених спеціальних шахтних профілів прокату, при виготовленні металевих кріплень застосовуються в менших обсягах профілі прокату загального призначення – двотаврові балки, швелери, рейки, кутова рівнобічна сталь та ін.

Спеціальні шахтні профілі прокату, володіючи приблизно однаковими моментами опору щодо обох головних осей, більш повно, ніж профілі загального призначення (двотавр, швелер), відповідають умовам навантаження кріплень в гірничих виробках і тому отримали широке застосування на шахтах для кріплення капітальних і підготовчих гірничих виробок.

Профілі прокату загального призначення виготовляються зі сталі марки Ст3, спеціальні шахтні профілі – зі сталі марки Ст5 і останнім часом з низьколегованих сталей 20Г2АФ, 36Г2С і деяких інших марок.

Для армування звичайних і попередньо напружених елементів залізобетонних кріплень гірничих виробок застосовується гарячекатана гладкого і періодичного профілю сталь і сталевий дріт періодичного профілю.

Арматурну гарячокатану сталь в залежності від механічних властивостей поділяють на класи: А-I, А-II, А-III, А-IV. Стрижні арматурної сталі класу А-I - круглі, гладкі; стрижні класів А-II, А-III і А-IV – періодичного профілю. Стрижні періодичного профілю арматурної сталі А-II (марки Ст5, 18Г2С) мають виступи, що йдуть по гвинтових лініях з однаковим заходом на обох сторонах стрижнів. Стрижні періодичного профілю арматурної сталі класу А-III (марки 25Г2С, 35ГС) і класу А-IV (марки 20ХГ2Ц, 20ХГСТ і 80С) мають виступи, що йдуть по гвинтових лініях: з одного боку стрижня правого заходу, а з іншого – лівого.

Для відмінності кінці стрижнів арматурної сталі класу А-IV на ділянці 30...40 см фарбують червоною фарбою.

Холоднотягнутий арматурний дріт випускають з гладкою поверхнею (класи В-I, В-II) і періодичного профілю. Для позначення арматурного дроту періодичного профілю до букви «В» (волочіння) додають букву «р» (рифлена): наприклад Вр-I, Вр-II.

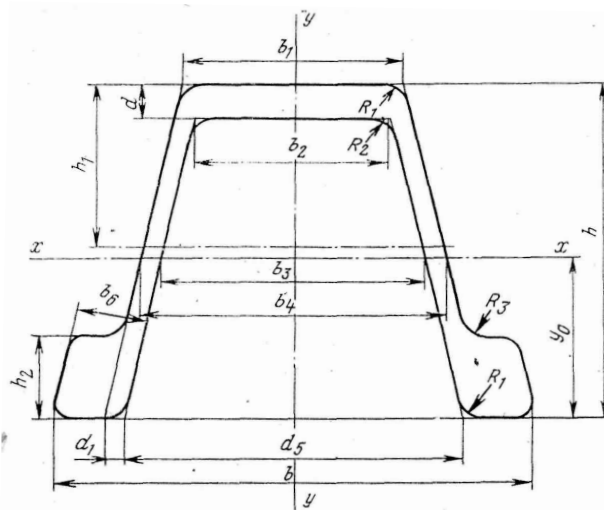


Рис. 2.15. Спеціальний (шахтний) жолобчастий профіль СВП

Арматурна сталь повинна відповідати вимогам відповідних стандартів (ДСТУ). Її поверхня не повинна мати раковин, вибоїн, подряпин, слідів обробки, окалини і мастила (допускається до застосування арматура з тонкою плівкою окису після газового зварювання й невідшаруючою окалиною).

Для зарубіжної гірничої промисловості характерним є застосування великої кількості різних форм і типорозмірів спеціальних гарячекатаних та гнутих профілів.

У Великобританії, Німеччині і Франції застосовують для виготовлення аркового кріплення спеціальні жолобчасті профілі прокату семи типорозмірів (від 13 до 44 кг/м), двотаврові широкополічні профілі масою до 55 кг/м, а також гнуті з листової сталі жолоби профілі десяти типорозмірів (від 13 до 37 кг/м) і замкнуті зварні профілі з швелерів і двотаврів. У Чехії та Угорщині випускаються для виготовлення кріпіння дзвонovidні взаємозамінні профілі прокату десяти типорозмірів (від 10 до 36 кг/м).

Для виготовлення спеціальних профілів прокату за кордоном застосовують вуглецеві і низьколеговані сталі як нормалізовані, так і поліпшені. Застосовувані легуючі елементи (особливо марганець, кремній і алюміній) несуттєво впливають на подорожчання сталі, але значно покращують її властивості. Основною перевагою поліпшених сталей є збільшення їх пластичних властивостей, підвищення межі текучості і тимчасового опору, можливість багаторазового редагування деформованого кріплення в холодному стані.

На сучасному рівні розвитку металургійної промисловості сталь з межею міцності 850 МПа і межею плинності 600 МПа є найбільш економічно вигідним матеріалом для рамного кріплення виробок. Застосування більш міцних сталей обмежується стійкістю профілю, яка залежить від форми профілю і величини прольоту балки. Високоякісні сталі доцільно застосовувати для більш стійких профілів.

### 3. БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

У розділі представлені основні відомості про сировину, технології виробництва і використання будівельних матеріалів в гірничій промисловості та народному господарстві.

Відповідно до матеріалів розділу студент повинен:

- класифікувати і обґрунтовано вибирати матеріали для застосування в гірничій промисловості та будівництві;
- знати технологію і умови застосування матеріалів;
- знати вимоги безпеки при використанні матеріалів.

#### 3.1. Природні кам'яні матеріали

##### 3.1.1. Загальна характеристика

**Гірські породи** – головне джерело отримання будівельних матеріалів. Гірські породи використовують в промисловості будівельних матеріалів як сировину для виготовлення кераміки, скла, теплоізоляційних та інших виробів, а так само для виробництва неорганічних в'язучих речовин – цементів, вапна та гіпсових.

Сотні мільйонів кубометрів піску, гравію та щебеню застосовують щорічно в якості наповнювачів бетонів і розчинів. Широко використовують природні кам'яні матеріали для облицювання будівель і споруд, влаштування підлог, сходів, мощення доріг.

Залежно від умов формування гірські породи ділять на три генетичні групи:

- 1) магматичні породи, що утворилися в результаті охолодження і затвердіння магми;
- 2) осадові породи, що виникли в поверхневих шарах земної кори з продуктів вивітрювання і руйнування різних гірських порід;
- 3) метаморфічні, які є продуктом перекристалізації і пристосування осадових гірських порід до умов, що змінюються в земній корі фізико-хімічних умов.

##### 3.1.2. Магматичні породи

###### 3.1.2.1. Класифікація магматичних порід

Внаслідок відмінності в хімічному складі магми і різних умов і середовищ, в яких відбувалося охолодження і затвердіння магми, утворювалися магматичні породи різної будови і властивостей – *глибині* і *ті, що вилились* (*щільні і пористі*).

**Глибині породи** утворилися в результаті повільного і рівномірного охолодження магми під великим тиском. Такі умови могли виникнути в природі тоді, коли магма холола і залишалася на великій глибині в земній корі. Ці умови сприяли утворенню в цій породі мінералів з зернисто-кристалічної структурою, міцно зрослися між собою без всякої цементуючої речовини

(гранітна будова). Характерним для цих порід є масивність залягання, висока щільність, а отже, велика міцність при стисненні, мале водопоглинання, значна морозостійкість і висока теплопровідність.

**Породи, що вилились** утворилися в результаті менш рівномірного і більш швидкого охолодження магми при відносно швидкому і нерівномірному скиданні тиску або навіть при атмосферному тиску. Такі умови могли виникнути в разі, коли магма холоє, вилившись у вигляді лави на поверхню землі або близько до поверхні. У цих умовах охолодження великі кристалічні зерна не встигали утворитися і виникали інші генетичні структури: прихованокристалічна, стекловата (аморфна), порфірова. Для порфірової структури характерно неоднорідна будова, коли в аморфну або дрібноокристалічну масу включені великі кристалічні сполуки – «вкрапленики», що утворилися в магмі ще в глибинних шарах під час її підняття до поверхні землі.

Зі сказаного видно, що з однієї і тієї ж магми, але при різних умовах охолодження можуть утворитися глибинні і вилилися породи (звані аналогами), близькі за хімічним складом, але відрізняються один від одного структурою і властивостями (табл. 3.1). У тих випадках, коли породи, що вилились утворилися в великій товщі, їх будова і властивості схожі з глибинними породами. Якщо ж утворення вилившея порід відбувалося в порівняно тонкому шарі і ближче до поверхні або на поверхні землі, то вони мають неоднорідне, скловате і порівняно пористу будову.

Різновидом гірських порід, що вилились є породи, що утворилися при виверженні вулканів. В цьому випадку магма під великим тиском у вигляді роздроблених частинок викидалася в атмосферу і, захоплювалася газами, дуже швидко охолоджувалася і падала на поверхню землі у вигляді затверділих частинок і шматків різної крупності, утворюючи уламкові пухкі породи пористої і скловатної структури (вулканічний попел, пісок, пемза). Деяка частина цих пухких порід злежувалася, спікалася або перемішувалася з золою, утворюючи цементовані вулканічні породи дрібнопористої будови (вулканічні туфи, траси, туфів лави).

### **3.1.2.2. Хімічний і мінеральний склад магматичних порід**

Більшість магматичних порід, що застосовуються в будівництві, містять хімічні сполуки трьох типів кремнезем, силікати і алюмосилікати у вигляді породоутворюючих мінералів (кварц, польові шпати, слюда і залізисто-магнезіальні мінерали). Кожен мінерал крім хімічного складу характеризується певними і різними фізичними властивостями (щільністю, твердістю, міцністю, стійкістю, наявністю спайності, блиску, кольору та ін.). Тому переважання в породі тих чи інших мінералів, їх розміри і розташування відображаються на будівельних властивостях кам'яного матеріалу.

**Кварц** – діоксид кремнію ( $\text{SiO}_2$ ) в кристалічній формі. Він відрізняється високою щільністю – близько  $2650 \text{ кг/м}^3$ , твердістю – 7, міцністю при стисканні – до 2000 МПа і стійкістю. При вивітрюванні магматичних порід стійкі зерна кварцу не руйнуються і утворюють піски. Кварц має недосконалою спайність,



має різне забарвлення (безбарвну, жовту, молочну) і скляний блиск. При звичайній температурі кварц не взаємодіє з кислотами (крім плавикової і гарячої фосфорної) і лугами. При підвищених температурах в середовищі насиченої пари кварц взаємодіє з лугами, наприклад з  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , утворюючи гідросилікати. При нагріванні до 575 і 870 °С він переходить в інші кристалічні форми, стрибкоподібно збільшуючись в обсязі. Плавиться кварц при 1710 °С і при швидкому охолодженні розплаву дає кварцеве скло.

**Польові шпати** – алюмосилікати, що утворилися в результаті взаємодії оксидів кремнію і алюмінію з оксидами лужних металів. Характерна особливість польового шпату – яскраво виражена спайність у двох напрямках. Найбільш поширеними різновидами польового шпату є: ортоклаз (що прямо розколюється)  $\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$  і плагіоклази, (що косо розколюються) у вигляді альбіта  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$  і анортиту  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$  і їх суміші. Польові шпати входять до складу більшості магматичних (до 2/3 їх маси), багатьох метаморфічних і деяких осадових гірських порід. Вони мають різне забарвлення від білого і сірого до рожевого і темно-червоного кольорів, щільність 2500...2760  $\text{кг}/\text{м}^3$ , твердість 6, межа міцності при стисненні до 170 МПа, температуру плавлення 1170...1550 °С. Стійкість польового шпату значно нижче, ніж кварцу. Під впливом багаторазових різких змін температури і впливу води і вуглекислоти польові шпати руйнуються (вивітрюються).

**Слюди** – мінерали з досить досконалою спайністю в одному напрямку, які здатні розщеплюватися на найтонші пружні пластинки. За хімічним складом вони представляють собою водні алюмосилікати складного складу. Найбільш часто в складі гірських порід присутні два різновиди слюди – *мусковит* (світла алюмінева слюда) і *біотит* (залізо-магнезіальна слюда темного кольору). Густина слюд 2760...3200  $\text{кг}/\text{м}^3$ , міцність 2...3, стійкість біотіту менше, ніж мусковиту. При вивітрюванні біотит переходить в гідратований різновид слюди – вермикуліт. Присутність слюд в гірських породах знижує міцність і стійкість породи, ускладнює її шліфування й полірування.

**Залізисто-магнезіальні мінерали** за їх темний колір (від темно-зеленого до чорного) називають темнозабарвленими мінералами. За хімічним складом вони представляють собою залізисто-магнезіальні силікати. Серед мінералів цієї групи найбільш поширеними породоутворюючими мінералами є амфіболи (частіше рогові обманки), піроксени (наприклад, авгіти) і олівіни. Мінерали цієї групи відрізняються великою щільністю 3000...3600  $\text{кг}/\text{м}^3$ , твердістю 5,5...7,5, високою ударною в'язкістю, підвищеною стійкістю проти вивітрювання (крім олівіну). Ці ж властивості вони надають і їх гірських порід, що вміщують.

### **3.1.2.3. Найважливіші види магматичних порід і їх будівельні властивості**

Коротка характеристика найважливіших для будівництва видів і властивостей щільних магматичних порід приведена в табл. 3.1.

Підрозділ вивержених порід за змістом  $\text{SiO}_2$  на кислі, середні і основні має практичне значення. Так, зі зменшенням вмісту  $\text{SiO}_2$ , тобто по мірі переходу від гранітів до габро або від порфірів до діабазу, зростають щільність, міцність,

ударна в'язкість, знижується температура плавлення цих порід, а колір стає темнішим.

Таблиця 3.1

**Характеристика найважливіших магматичних гірських порід**

Характеристика за вмістом SiO <sub>2</sub> , %	Породи		Важливіші породоутворюючі мінерали	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Межа міцності при стисненні, МПа
	глибинні	ті що вилились			
Кислі (65...76)	Граніт	Кварцовий порфір, ліпарит	Кварц, польові шпати, слюда	2600-2800	100-250
Середні (52...65)	Сієніт	Безкварцевий порфір, трахіт	Польові шпати, слюда	2600-2800	100-280
	Діорит	Андезит, порфірит	Польові шпати, темнозабарвлені мінерали	2800-3000	150-300
Основні (<52)	Габбро, лабрадорит	Діабаз, базальт	Темнозабарвлені мінерали, польові шпати	2900-3300	200-500

Крім перерахованих в табл. 3.1 в природі існують перехідні породи, наприклад *гранопорфіри*, *граносеніти*, *габбродіабази* і так далі.

**Граніт** і близькі до нього перехідні породи (гранітоїди) складаються з кварцу, польового шпату, слюди, іноді рогової обманки або авгіту. Це найпоширеніші з усіх магматичних порід (до 2/3 всіх глибинних порід). Колір породи визначається кольором польового шпату (від сірого до червоного різних відтінків). Маючи високі показники щільності і міцності при стисненні (табл. 3.1), граніт є слабким, оскільки його міцність при розтягуванні в 40...60 разів менше міцності при стисненні. У граніту мале водопоглинання – менше 1%, висока морозостійкість – більше 200 циклів, хороший опір стиранню, висока теплопровідність. Граніти добре обробляються (обтісуються, шліфуються і поліруються). Найбільш високими показниками властивостей володіють дрібнозернисті граніти. Граніт використовують для облицювання монументальних будівель і гідротехнічних споруд, плит для підлог, ступенів, матеріалів для доріг, крупний заповнювач для бетонів, бутового каменю і т.п.

**Сієніт** на відміну від граніту не містить кварцу, а складається в основному з польового шпату і темнопофарбованих мінералів (до 15%). За зовнішнім виглядом сієніт схожий на граніт, але в ньому виражена середньозерниста структура, а забарвлення кілька темніше. Властивості сієніту близькі до властивостей граніту, але він менш стійкий до вивітрювання і легше обробляється.

**Діорит** приблизно на 3/4 складається з польового шпату і до 25% містить темнопофарбованих мінералів. Діорит характеризується дрібно і середньозернистою будовою і сіро-зеленим або темно-зеленим кольором. За

будівельними властивостями діорит не поступається гранітам, володіє високою ударною в'язкістю і добре полірується. Найчастіше діорит застосовують при облицювальних роботах і в дорожньому будівництві.

**Габро** складається в основному з польового шпату (до 50%) і темнопофарбованих мінералів, частіше авгіту, а також рогової обманки, олівіну. Габро є полікристалічною породою від темно-сірого до чорного кольору. Габро, що складається з вапняно-натрієвого плагіоклаза – лабрадора, називається лабрадорітом. Характерною особливістю цієї породи є іризація лабрадора (синього, блакитного, золотистого кольорів) на площинах спайності або поверхні полірованої породи. Габро застосовують у вигляді штучних виробів для облицювання, дорожніх покриттів, щебеню для бетонів і інших цілей.

**Порфіри** – гірські породи, що вилилися близькі за хімічним складом до гранітів (кварцовий порфір), сієнітів (безкварцевий порфір), діоритів (порфірит) і характеризуються порфіровою структурою. Внаслідок неоднорідної будови порфіри менш стійкі до вивітрювання, слабкіше пручаються стирання, ніж глибинні породи. Інші будівельні властивості порфірів близькі до властивостей глибинних порід.

**Трахіт** – порода, що вилася має той же мінеральний склад, що і сієніти, але більш пориста, так як твердне на поверхні землі. Його застосовують як стінний матеріал і щебеню для бетонів. Різновид трахіту - бештауніт – використовують як заповнювач в кислотостійких бетонах.

**Андезит** – аналог діориту, але відрізняється від них порфіровою структурою. Щільні андезити застосовують у вигляді кислототривких плит і щебеню для кислотоопірного бетону.

**Діабаз** за мінеральним складом аналогічний габро. Забарвлення – від темно-зеленого до чорного. Структура кристалічна з зернами різної крупності, іноді порфірова. Діабаз, особливо дрібнозернисті, мають високу міцність – до 450 МПа, велику ударну в'язкість і малу стиранність, здатні розколюватися на шматки порівняно правильної форми. Використовують діабаз для виготовлення дорожніх матеріалів (бруківки, шашки, бортового каменю), щебеню для бетону, іноді для облицювальних робіт, а також в якості сировини для кам'яного литва і кислототривких виробів.

**Базальт** (як і діабаз, аналог габро) являє собою щільну важку породу, що має прихованокрісталлічеську або скловидну, а іноді порфірову будову. Базальт має темно-сірий або майже чорний колір, характеризується високою міцністю до 500 МПа. Внаслідок наявності в скловатій масі тріщин і пір, що виникли при охолодженні магми, або при порфіровій структурі міцність базальтів може різко коливатися, іноді знижуючись до 100 МПа. Велика твердість і крихкість базальтів ускладнює їх обробку. Їх широко використовують як дорожній матеріал, як щебень для бетону, для кислотоопірних матеріалів, а також кам'яного лиття та виробництва мінеральної вати.

Порошкоподібні частки (до 1 мм) називають **вулканічними попiлами**, розміром до 5 мм – вулканічними пісками, а від 5 до 30 мм (рідше більше) – пемзою. Ці породи мають пористу будову, невелику густину і малу

теплопровідність – 0,13...0,23 Вт/(м·°С), міцність при стисненні – 2...3 МПа.

Пемзу і пемзові піски використовують як заповнювач в легких бетонах, при виробництві тепло- і звукоізоляційних матеріалів і в якості абразивного матеріалу. Так як ці породи складаються з аморфного кремнезему і вулканічного скла, то в тонкоподрібненому вигляді їх використовують в якості активних добавок до мінеральних в'язких речовин.

**Вулканічні туфи** утворилися в результаті подальшого ущільнення, спікання або цементації природними цементами вулканічного попелу. До найбільш ущільненим вулканічним туфам відносяться траси. Якщо ж при виверженні до рідкої лави домішується значна кількість вулканічного попелу і пісків, то утворюються породи, звані туфовою лавою. Більшість вулканічних туфів і туфів лав має пористу будову, невелику щільність і малу теплопровідність. Ці породи мають різноманітне забарвлення і легко піддаються технологічній обробці. Одним з їх типових представників є Артійський туф, що видобувається в Вірменії. Артійський туф має рожево-фіолетове забарвлення, густина 750...1400 кг/м<sup>3</sup>, межа міцності при стисненні 6...10 МПа, теплопровідність близько 0,34 Вт/(м·°С); достатню морозостійкість.

Туфи застосовують для кладки стін у вигляді пиляних каменів правильної форми і буту, а в подрібненому вигляді – в якості наповнювачів для легких бетонів.

### 3.1.3. Осадкові гірські породи

#### 3.1.3.1. Класифікація осадових гірських порід

У складі літосфери на частку осадових порід доводиться лише близько 5%, однак вони займають до 75% площі поверхні Землі. Характерним для осадових порід є шаруватість залягання (їх називають пластовими) і в більшості випадків більш пористу будову і менша міцність, ніж у щільних магматичних порід. Залежно від умов утворення осадові породи підрозділяють на три групи: *механічні відкладення (уламкові), хімічні опади, органігенні відкладення.*

**Механічні відкладення** (пухкі і цементовані) утворилися в результаті руйнування інших порід під впливом процесу вивітрювання (дія води, вітру, коливань температури, заморожування і відтавання і інших атмосферних чинників). В результаті навіть найміцніші масивні магматичні породи руйнуються, утворюючи уламки різних розмірів: брили, шматки і більш дрібні частинки.

Поряд з механічними руйнуваннями внаслідок взаємодії складових частин гірських порід з речовинами, що знаходяться в навколишньому середовищі, може відбуватися хімічне руйнування. Так, польові шпати під дією води, - що містить діоксид вуглецю, руйнуються, утворюючи водні силікати алюмінію, зокрема мінерал каолінит –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , водний кремнезем і вуглекислі солі калію, натрію, кальцію:



Продукти руйнування залишаються на місці або частіше переносяться водними потоками, вітром, льодовиками в інші місця і після осадження

утворюють пухкі скупчення пластів уламкових осадових порід (піску, глини, гравію, природного щебеню). Деякі з них в подальшому піддаються цементуванню природними цементами, що випали в товщі пухких опадів з омиваючих їх розчинів, утворюючи суцільні (зцементовані) гірські породи різної щільності (пісковики, конгломерати, брекчії).

**Хімічні осади** утворилися в результаті випадання в осад речовин, які перейшли до складу водних розчинів в процесі руйнування гірських порід. Вони є наслідком зміни умов середовища, взаємодії розчинів різного складу і випаровування (гіпс, ангідрит, магнезит, доломіт, вапняні туфи).

**Органогенні відкладення** – породи, що утворюються в результаті відкладення відмираючого рослинного світу і дрібних тваринних організмів водних басейнів. Більшість морських організмів при житті витягують з води солі кальцію, розчинений кремнезем для побудови своїх скелетів, раковин, панцирів, стебел. Після відмирання, осідаючи на дно і ущільнюючись, вони утворюють пластові відкладення органогенних порід. Для будівельних цілей використовують, крейду, вапняки різних видів, діатоміти і трепели.

### **3.1.3.2. Хімічний і мінеральний склад осадових порід**

Середньо валовий хімічний склад всіх осадових порід близький до складу магматичних порід, але між собою окремі осадові породи розрізняються значно більше, ніж магматичні. Осадові породи, що застосовуються для будівельних цілей, як правило, містять такі хімічні сполуки: кремнезем в кристалічному і аморфному станах (безводний і водний), алюмосилікати (головним чином водні), карбонати (безводні), сульфати (безводні і водні).

З цих з'єднань і полягають основні мінерали осадових порід, які використовуються в будівельній справі: кварц, опал, каолінит, кальцит, магнезит, доломіт, гіпс, ангідрит.

**Кварц** (кристалічний кремнезем) завдяки високій стійкості при вивітрюванні залишається хімічно незмінним і входить до складу багатьох осадових порід (пісків, пісковиків, глин і ін.)

**Глини та каоліни** являють собою осадові гірські породи тонкоземлистої будови, які незалежно від їх мінерального і хімічного складу здатні при змішуванні з водою утворювати пластичне тісто, що переходить після випалу в водостійке та міцне камневидне тіло, утворилося в результаті вивітрювання, головним чином, польвошпатних порід, глини складаються з щільної суміші різних глинистих матеріалів, що представляють собою водні аномосилікати з шаруватою кристалічною структурою. Найбільш поширеними з них є каолінит  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ,  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$ ; монтмориллоніт  $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$ , і інші.

**Кальцит** ( $CaCO_3$ ) має досконалу спайність за трьома напрямками, щільність  $2700 \text{ кг/м}^3$  твердість 3. Кальцит розчиняється в кислотах, у звичайній воді - мало (близько  $0,03 \text{ г/л}$ ). Це поширений мінерал, поєднує різні види вапняків. Забарвлення біле, сіре, іноді він прозоре.

**Магнезит** ( $MgCO_3$ ) має щільність  $2900...3100 \text{ кг/м}^3$ , твердість 3,5...4,5. Він поширений значно менше кальциту і утворює породу тієї ж назви. Його

застосовують для виготовлення вогнетривких виробів, частково для отримання в'язучих речовин.

**Доломіт** ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) по фізичним властивостям близький до кальциту, але більш твердий - 3,5 ... 4, щільний ( $\rho_m=2900 \text{ кг/м}^3$ ) і міцний. Колір доломіту від білого до темно-сірого в залежності від домішок. Він зустрічається частіше, ніж магнезит, утворюючи породу тієї ж назви або входячи до складу вапняків та інших осадових порід. Застосовують доломіт також як і вапняк, а також для виробництва вогнетривів і теплоізоляційних матеріалів.

**Гіпс** ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) – мінерал кристалічної будови, його кристали мають зернисту, стовпчасту, пластинчасту, голчасту або волокнисту будову. Він білого кольору, іноді забарвлений домішками. Володіє спайністю в одному напрямку. Щільність гіпсу  $2300 \text{ кг / м}^3$ , твердість 2, порівняно легко розчиняється у воді. Гіпс утворює породу тієї ж назви.

**Ангідрит** ( $\text{CaSO}_4$ ) – безводний різновид гіпсу, утворює породи однойменної назви. Щільність ангідриту  $2900 \dots 3000 \text{ кг/м}^3$ , твердість 3...3,5.

**Гіпс і ангідрит** зовні і за своїми фізико-механічними властивостями мало відрізняються один від одного. Їх застосовують для виробництва в'язучих речовин, а деякі різновиди - для внутрішнього облицювання будівель.

**Крейда** – порода органогенного походження, зазвичай білого кольору, землистого складання, представлена мікроскопічними раковинами найпростіших організмів. За хімічним складом майже цілком складається з карбонату кальцію, має невелику міцність. Застосовують в якості білого пігменту в барвистих складах, приготуванні замазки, а також при виробництві вапна і портландцементу.

В якості будівельного каменю головним чином застосовують вапняки різних видів, доломіти і пісковики. Склад і деякі властивості цих порід наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Склад і властивості деяких осадових порід

Порода	Основні мінерали	Щільність, $\text{кг/м}^3$		Межа міцності при стисненні, МПа
		справжня	середня	
Вапняк щільний	Кальцит, доломіт	2600...2800	1800...2600	15...100 (іноді до 180)
Вапняк пористий:				
ракушечник	Теж	2600...2800	900...1800	0,4...15
вапняковий туф	Кальцит	2600...2800	1400...1800	5...15 (іноді до 80)
Доломіт	Доломіт	2500...2900	2200...2800	15...200
Пісчаник:				
кремнистий	Кварц, опал	2500...2900	2300...2600	30...200 і >
вапняковий	Кварц, кальцит	2500...2900	2300...2600	30...200 і >

**Вапняки** в більшості випадків є органогенними породами, але зустрічаються вапняки хімічного походження (вапняні туфи). Вапняки в

основному складені з мінералу кальциту, але часто містять різні домішки (кремнезем, глину, доломіт, оксиди заліза, органічні сполуки), в залежності від яких колір вапняків може бути від білого до темно-сірого з різними відтінками.

При зміні глини не більше 6% породи називають вапняком при наявності 6...20% глинистих домішок – *мергелистим вапняком*, а при більшому вмісті глини – *мергелем*. Мергель неводостійкий і неморозостійкий, тому як будівельний камінь не застосовується, але є цінною сировиною для виробництва цементу.

*Щільні вапняки* (щільність понад 1800 кг/м<sup>3</sup>), що складаються з дрібних зерен кальциту, пов'язаних безпосереднім зчепленням кристалів або різними природними цементами (вапняним, вапняно-кременистим), використовують у вигляді бутового каменю (для фундаментів, стін неопалюваних будівель або житлових будинків в районах з теплим кліматом), плит та фасонних деталей для облицювання стін, цоколів і карнизів, ступенів, а також в якості щебеню для бетону, основи для доріг і сировини для отримання вапна і портландцементу.

*Вапняки-черепашники* – пористі гірські породи характеризуються невеликою щільністю, низькою міцністю і малою теплопровідністю. Їх застосовують у вигляді каменів правильної форми для кладки стін, а найбільш щільні різновиди – для облицювання стін, а також в якості щебеню для легкого бетону. Пісковики, конгломерати і брекчії – породи, що утворилися з пухких відкладень зруйнованих гірських порід в результаті цементації їх різними природними цементами (вапняним, кременистим, глинистим, залізистим і ін.)

В результаті цементації пісків утворюються пісковики, зерен гравію – конгломерати, природного щебеню – брекчії. В якості будівельного каменю застосовують найбільш міцні і стійкі вапняні і крем'яні пісковики, а також конгломерати і брекчії на цих природних цементах. Більшість пісковиків – щільні, важкі і теплопровідні матеріали. Їх використовують головним чином для кладки фундаментів, стін неопалюваних будівель, ступенів, тротуарів, облицювання будівель, а також у вигляді щебеню для бетонів і інших цілей. Конгломерати і брекчії, що володіють декоративністю, використовують в якості облицювального каменю.

### 3.1.4. Метаморфічні породи

*Метаморфічні (видозмінні) породи* утворюються в природі в результаті зміни складу і будови осадових і вивержених порід. Процеси метаморфізму проходять при підвищених температурах без розплавлення або розчинення, при впливі високих тисків та зсувів деформації. Такі умови виникають тоді, коли вихідні породи в результаті горотворних процесів можуть переміститися з поверхні в глиб земної кори. В результаті може статися перекристалізація мінералів, глибоко змінитися будова, тобто утворитися абсолютно нові породи, більш щільні і в більшості випадків з чітко вираженою кристалічною структурою. Ці породи можуть бути цілком видозміненими (наприклад, мрамур) або з помітним вмістом вихідної породи (мармуроподібні вапняки).

Мінеральний склад метаморфічних порід часто ідентичний вихідним магматичним або осадовим породам.

Текстура метаморфічних порід може бути сланцюватою (гнейси, глинисті сланці) і масивною (мармур і кварцити). Сланцювата будова характерна для видозмінених порід, що утворилися в умовах одностороннього тиску. Сланцюватість знижує будівельні властивості метаморфічних порід, зокрема морозостійкість і міцність в напрямку, паралельному сланцюватості, але надає їм здатність відносно легко розколватися по площинах сланцюватості на більш-менш тонкі шари.

Масивна зерниста текстура характерна для порід утворених при багатосторонньому тиску, коли вихідна осадова порода в результаті перекристалізації й ущільнення стає монолітною, утвореною з тісно зрощених кристалічних зерен. Такі породи відрізняються дуже високою щільністю в порівнянні з осадовими породами, з яких вони утворилися.

У будівництві з метаморфічних порід застосовують *гнейси, глинисті сланці, мармур, кварцити*.

**Гнейси** по мінеральному складу і властивостям схожі з породами гранітного типу, з яких вони утворилися. Через сланцювату будову менш довговічні. У будівництві їх найчастіше використовують у вигляді бутових плит для кладки фундаментів, влаштування тротуарів і доріг.

**Глинисті сланці** – типові сланцеві метаморфічні породи, що утворилися з глини; колір чорний або темно-сірий. Глинисті сланці не розмокають у воді, стійкі проти вивітрювання, легко розколюються на тонкі рівні плитки (3 ... 10 мм), які застосовуються як покрівельний матеріал (природний шифер).

**Мармури** утворилися в результаті видозміни вапняків (рідше - доломіту) і складаються з міцно зрощених кристалів кальциту, іноді з домішками зерен доломіту, марганцевих, залізистих і вуглецевих сполук, які надають їм різне забарвлення. При нерівномірному розподілі домішок мармури мають строкате фарбування з різними візерунками, що додають каменю декоративність. Мармури відрізняються високою щільністю – до  $2900 \text{ кг/м}^3$ , малим водопоглинанням до 0,7% великою міцністю при стисканні – до 300 МПа, але володіють невеликою твердістю – 3. Мармур добре шліфується і полірується, розпилюється на тонкі плити. Його широко застосовують для внутрішнього облицювання стін, виготовлення ступенів, підвіконних дощок і інших виробів. Різновиди мармуру, непридатні для штучних виробів, або відходи при обробці мармуру у вигляді крихти використовують як заповнювач для оздоблювальних розчинів і бетонів. Для зовнішнього облицювання будівель більшість мармурів застосовувати не рекомендується, так як під впливом атмосферних агентів (води, сірчистого газу, змін температури і ін.) поверхня мармуру втрачає декоративний вигляд і піддається помітній корозії (стає тьмяною, шорсткою і більш пористою).

**Кварцити** утворилися в результаті видозміни кременистих пісковиків. Вони мають щільну структуру і складаються з перекристалізованих зерен кварцу, зцементованих кварцовим цементом. Забарвлення – біле, червоне, темно-вишневе. Кварцити володіють високою щільністю – близько  $2700 \text{ кг/м}^3$ , невеликим водопоглинанням – менше 0,2%, значною міцністю при стисканні – до 400 МПа, високою стійкістю – 7 і довговічністю. Кварцит застосовують для



зовнішнього облицювання підвищеної стійкості, підферменних каменів в мостах, іноді у вигляді щебеню і буту, а також як сировину для виготовлення динасових вогнетривів.

### **3.2. Основні кам'яні матеріали, що застосовуються без обробки**

Кам'яні матеріали поділяють по щільності: на важкі – щільністю більше  $1800 \text{ кг/м}^3$  і легкі – менше  $1800 \text{ кг/м}^3$ ; за межою міцності при стисканні (МПа) – на марки: для важких – від 10 до 100, для легких – від 0,4 до 20; по морозостійкості – на марки: Мрз 15...500 (важкі) і Мрз 10...25 (легкі); по водостійкості - на групи з коефіцієнтом розм'якшення не нижче 0,6; 0,75; 0,9, 1.

Залежно від призначення і умов застосування природні кам'яні матеріали оцінюють також по *твердості, стійкості до тертя і опору ударним навантаженням* (наприклад, дорожні матеріали), *стійкості проти різних хімічних впливів зовнішнього середовища і тощо*.

*За ступенем обробки* розрізняють кам'яні матеріали: *грубообробленні* (бутовий камінь, щебінь, гравій, пісок) і *профільовані* (розпилені штучні камені і блоки для стін; камені, плити і профільні вироби для зовнішнього і внутрішнього облицювання будівель і споруд, підлог; дорожнього будівництва і тощо.).

**Бутовий камінь** (бут) – шматки каменю розміром 150...500 мм по найбільшому виміру. Рваний бут (неправильної форми) видобувається переважно вибуховим способом, а плитняковий отримують з порід пластового залягання розколюванням каменекольним інструментом. З буту зводять греблі, підпірні стінки, фундаменти і стіни неопалюваних будівель. Внаслідок неправильної форми каменів бутова кладка трудомістка і вимагає підвищеної витрати розчину. В індустріальному будівництві її замінюють збірними бетонними і залізобетонними елементами. У зв'язку з цим значну частину видобутого буту переробляють на щебінь або використовують в бутобетонах (бетон з включенням до його складу бутового каменю).

**Валунний камінь** – великі уламки (більше 300 мм) гірських порід льодовикового походження, характеризується обкатанною формою, використовується для отримання брукового каменю і щебеню.

**Щебінь** – шматки каменю розміром 5...70 мм, що одержують подрібненням граніту, діабазу, вапняку, доломіту, кварциту. Зустрічається і природний щебінь званий дресвой.

**Гравій** – пухкий грубооброблений кам'яний матеріал, що утворився в результаті природного розкладання осадових порід і складається з досить обкатаних уламків розміром 5 - 70 мм.

Гравій застосовують як крупний заповнювач в бетоні для приготування гравійно-щебеневої суміші, використовуваної при спорудженні залізничної колії, автомобільних доріг.

**Пісок** – зерна різних мінералів (кварцу, польового шпату і тощо.) розміром 0,14...5 мм. У промисловості застосовуються в основному природні піски, які утворюються в результаті природного руйнування масивних гірських порід і в

залежності від походження і умов залягання діляться на гірські, річкові та морські. А по мінералогічному складу на кварцові, польовошпатні, вапняні, доломітні.

**Будівельні піски** – найбільша функціональна група природних пісків використовуваних для всіх видів бетонів і будівельних розчинів, а також для влаштування доріг і інших будівельних робіт.

Нормальним піском для будівельних робіт вважається кварцовий пісок з розміром 0,5...0,9 мм і щільністю не більше 1400 кг/м<sup>3</sup>. Для бетону найбільш придатний крупний пісок, який містить достатню кількість середніх і дрібних зерен, що забезпечить мінімальну кількість порожнеч, і невелику площа поверхні піщинок. А це в свою чергу знизить витрату цементу.

**Глини** – див. нижче.

### 3.3. Керамічні матеріали та вироби

#### 3.3.1. Загальні відомості

Керамічними називають штучні кам'яні матеріали, що виготовляються з мінеральної сировини шляхом формування, сушіння і наступного випалу при високих температурах.

Виготовлення будівельної кераміки (цегли, а потім черепиці) почалася близько 5000 років тому.

Матеріал, з якого складаються керамічні вироби після випалу, в технології кераміки називають **керамічним черепком**.

За структурою розрізняють керамічні вироби з *пористим* і з *спеченим (щільним) черепком*. Пористими умовно вважають вироби, у яких водопоглинання черепка по масі перевищує 5% (в середньому 8...20%): цегла суцільна, пустотіла і легка, керамічні камені, черепиця, облицювальні плитки, дренажні труби і тощо. Спеченим вважають черепок з водопоглинанням менше 5% (частіше 2...4%) як правило, він практично водонепроникний. До щільних виробів відносять дорожню цеглу, плитки для підлог, порцелянові вироби.

Поширеність глин в природі, а також велика міцність, значна довговічність, гарний зовнішній вигляд багатьох видів кераміки дозволили застосовувати керамічні матеріали майже у всіх конструктивних елементах будівель і споруд.

За *конструктивним призначенням* розрізняють керамічні вироби:

- для стін (цегла і керамічні камені);
- облицювання фасадів (лицьова цегла і камені, плитки);
- внутрішнього облицювання стін і підлоги (плитки), перекриттів (пустотілі камені);
- покрівлі (черепиця);
- санітарно-технічне обладнання (вироби з будівельного фаянсу);
- доріг та підземних комунікацій (дорожня цегла, труби і інші);
- теплоізоляції (легка цегла, фасонні вироби);
- кислототривкі вироби (цегла, плитки, труби і інші.);

- вогнетриви,
- заповнювачі для легких бетонів (керамзит, аглопорит).

### 3.3.2. Сировина для виробництва керамічних матеріалів і виробів

Сировинну масу для виготовлення керамічних виробів зазвичай складають з пластичних матеріалів (глини, каоліни) і непластичних матеріалів (отощаючих і вигоряючих добавок, плавнів). Глини та каоліни об'єднують загальною назвою - глинисті матеріали. У виробництві деяких штучних випалювальних матеріалів використовують діатоміти, трепели, а також шлаки, золи, сланці в чистому вигляді або з добавкою глин, пороутворюючих і інших добавок.

Поряд з глиноутворюючими мінералами в глинах зустрічаються: кварци, польовий шпат, сірчаний колчедан, гідроксиди заліза, карбонати кальцію і магнію, сполуки титану, ванадію, органічні домішки. Перераховані домішки впливають як на технологію керамічних виробів, так і на їх властивості. Наприклад, тонко розподілений вуглекислий кальцій і оксиди заліза знижують вогнетривкість глин. Якщо в глині є крупні зерна вуглекислого кальцію, то при випалюванні з них утворюються включення вапна, які гідратують зі збільшенням обсягу («дутики»), що викликає утворення тріщин або руйнування виробів.

Найбільш чисті глини, що складаються переважно з каолініту, називають **каолінами**; після випалу вони зберігають білий колір.

**Бентонітами** називають високодисперсні породи з переважним вмістом монтморилоніту.

До складу глин входять різні по крупності зерна, але характерні для глин високі пластичність і єдина здатність обумовлені наявністю в них дуже дрібних частинок пластинчастої форми, розмір яких не перевищує 0,005 мм. Ці частинки називають глинистою речовиною. Мала величина частинок а, отже, велика сумарна поверхня, та також їх пластинчаста форма забезпечують зчеплення частинок і дозволяють їм рухатися відносно один одного без втрати зчеплення. Чим більше в глині міститься глинистої речовини, тим вона пластичніше. Високопластичні глини містять частинок менше 0,005 мм – 80...90%. У більшості глин є і більші частки, що не володіють властивістю пластичності. При величині зерен 0,005...0,05 мм їх відносять до пилу, а при розмірах 0,05...2 мм – до піску.

Керамічні властивості глин характеризуються пластичністю, зв'язністю і сполучною здатністю, відношенням до сушіння і до дії високих температур.

**Пластичність** – здатність глиняного тіста деформуватися під впливом зовнішніх механічних впливів без порушення цілісності (без розриву або утворення тріщин) і зберігати отриману форму після припинення цих впливів. На цій властивості і заснована можливість формування виробів.

При змочуванні сухої глини молекули води (діполі) втягуються між лускатими частками глинистих мінералів (рис. 3.1) і адсорбуються на їх поверхні, утворюючи тонкі шари води і викликаючи набухання глини. Ці шари води грають роль мастила, що полегшує ковзання, тому глина, змішана з

водою, дає пластичну масу, що легко формується. Чим пластичніше глини, тим більше вони вимагають води для отримання удобоформуемого глиняного тіста і тим вище їх повітряна усадка. Високопластичні глини мають водопотребу більше 28% і повітряну усадку 10...15%. Глини середньої пластичності характеризуються водопотребою 20...28% і повітряною усадкою 7...10%. У малопластичних глин водопотреба менше 20%, а повітряна усадка 5...7%.

Технічним показником число пластичності:

$$Pl = \omega_t - \omega_p,$$

де  $\omega_t$  і  $\omega_p$  – значення вологості, відповідні межі текучості і межі розкочування глинистого джгута (рис. 3.2), %.

Вироби з вельми пластичних глин ( $Pl > 15$ ) при висиханні сильно зменшуються в об'ємі і дають тріщини, що у виробництві неприпустимо. Малопластичні (худі) глини ( $Pl < 7$ ) незручні в роботі, так як тісто з таких глин важко формується, тому нерідко доводиться регулювати пластичність глини. Зайва пластичність глин може бути усунена шляхом введення в них непластичних добавок або додаванням малопластичних глин. При недостатній пластичності глину виснажують, звільняючи її від піску, піддають вилежуванню на відкритому повітрі, подрібнюють на спеціальних машинах, обробляють парою, вакумують, а також додають пластичну глину. В результаті підвищується дисперсність глин, поліпшується їх набухання і підвищуються пластичність і формувальна здатність.

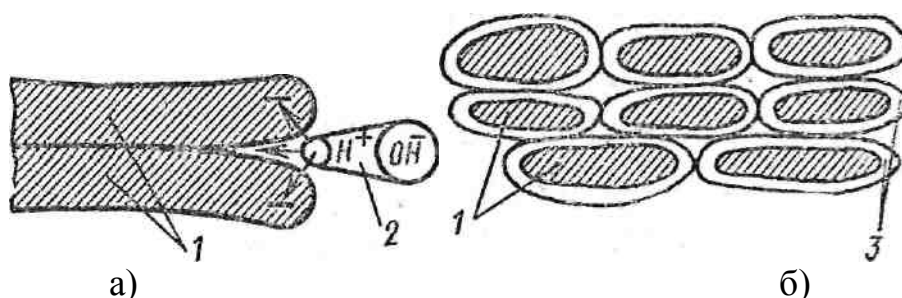


Рис. 3.1. Схема розклинювальної дії адсорбованої води:

а – на початку зволоження; б – в зволоженій глині; 1 – злиплі глинисті частинки з негативними зарядами на кінцях; 2 – дипольна молекула води; 3 – адсорбований шар води

**Зв'язність** – зусилля, необхідне для роз'єднання частинок глини. Як уже зазначалося, зв'язність глин обумовлена малою величиною і пластинчастою формою частинок глинистої речовини. Високою зв'язністю володіють глини, що містять підвищену кількість глинистих фракцій.

**Єднальна здатність** глини виражається в тому, що глина може пов'язувати частки непластичних матеріалів (піску, шамоту та ін.) і утворювати при висиханні досить міцний виріб – сирець.

**Повітряна усадка глин** – зменшення розмірів і обсягу сирцевого виробу в процесі сушіння, вода випаровується, товщина водних оболонок навколо глинистих частинок скорочується і окремі частинки глини зближуються між собою, в результаті чого відбувається повітряна усадка.

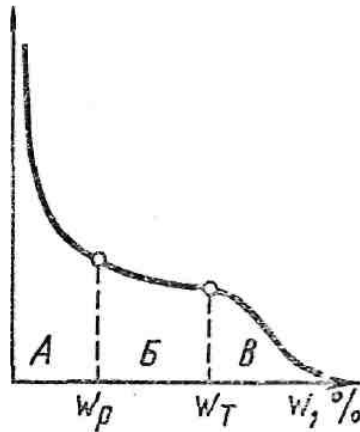


Рис. 3.2. Зміна деформативних властивостей глини в залежності від її вологості:  
 А - область крихкого стану; Б - пластичного;  
 В - в'язкотекучого

**Вогнева усадка глини** – зміна розмірів і обсягу при випалюванні виробу. При випалюванні найбільш легкоплавкі з'єднання глини переходять в стан рідини, яка обволікає нерозплавлені частки і частково заповнює проміжки між ними. Часткове плавлення глини і дію сил поверхневого натягу рідкої фази викликають зближення твердих частинок випалюваної глини і обсяг її зменшується, тобто відбувається вогнева усадка.

**Вогнева усадка** може бути 2...6%. Повною усадкою глини називають суму повітряної та вогневої усадки. Повна усадка зазвичай становить 5...18%. Для отримання виробів із заданими розмірами повну усадку враховують при формуванні, відповідно збільшуючи розміри сирцю.

**Вогнетривкість** – властивість глини витримувати дію високої температури без деформації. Глини внаслідок неоднорідності складу не мають певної температури плавлення. При дії високих температур вони розм'якшуються і поступово деформуються. За вогнетривкістю розрізняють глини трьох груп: вогнетривкі (вогнетривкість вище 1580 °С), тугоплавкі 1350...1580 °С) і легкоплавкі (нижче 1350 °С).

До вогнетривких відносяться каолінові глини, що містять мало домішок. Такі глини використовують для виробництва порцеляни, фаянсу і вогнетривких виробів. Тугоплавкі глини містять оксиди заліза, кварцовий пісок і інші домішки, в значно більшій кількості, ніж вогнетривкі. Їх застосовують для виробництва тугоплавкої, облицювальної та лицьової цегли, плиток для підлог і каналізаційних труб. Легкоплавкі глини найбільш різноманітні за мінеральним складом, містять значну кількість домішок. Їх використовують у виробництві цегли, черепиці, легких наповнювачів і тощо.

### 3.3.3. Стінові матеріали

Незважаючи на певні успіхи у виробництві індустріальних стінових матеріалів (великих блоків, панелей), на частку дрібноштучних виробів (цегли і дрібних блоків) доводиться все ще близько  $\frac{2}{3}$  загального випуску кам'яних стінових матеріалів, в тому числі випуск керамічної цегли становить майже

половину всіх стінових матеріалів.

Поряд з цеглою керамічною звичайними в групу стінових керамічних матеріалів входять різні види більш ефективних керамічних матеріалів (цегла пустотіла, пористо-пустотіла, легка, пустотілі камені), а також великорозмірні стінові цегляні блоки і панелі заводського виготовлення.

#### ***Цегла керамічна звичайна.***

**Цегла** має форму прямокутного паралелепіпеда з рівними гранями і прямими ребрами і кутами розміром  $250 \times 120 \times 65(88)$  мм, рідше  $288 \times 138 \times 65$  (модульний). Для цегли товщиною 88 мм і модульного обов'язкова наявність круглих або щілинних порожнеч (рис. 3.3), щоб маса однієї цеглини не перевищувала 4 кг. Формують цеглу пластичним і рідше напівсухим способами. Щільність цегли  $1600 \dots 1900$  кг/м<sup>3</sup>, а теплопровідність  $0.70 \dots 0,82$  Вт/(м °С). Більш високі показники цих властивостей відносяться до цеглини напівсухого пресування. Міцність цегли характеризується межею міцності при стисненні і вигині, та позначається марками: 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250 і 300. За морозостійкістю цеглу підрозділяють на чотири марки: F 15, 25, 35 і 50.

Цегла повинна бути нормально обпаленою, так як недопалена (червона цегла) має недостатню міцність, малу водостійкість і морозостійкість, а перепалена цегла (залізняк) відрізняється підвищеними щільністю, теплопровідністю і, як правило, має перекручену форму.

### **3.3.4. Керамічні матеріали та вироби різного призначення**

#### ***Цегла і камені керамічні спеціального призначення.***

Для кладки і футеровки промислових димових труб випускають *лекальну цеглу*, що відрізняється від звичайного кривизною.

Для влаштування підземних колекторів випускають *камені трапецеподібної форми*, а для мощення доріг і вулиць, підлог промислових будівель, облицювання набережних і тощо - дорожню цеглу (клінкерну). Ці вироби відрізняються високою щільністю, міцністю до 100 МПа і морозостійкістю не менше 30...100 циклів.

#### ***Покрівельні матеріали.***

**Глиняна черепиця** – найстаріший вид покрівельних матеріалів. Найбільш поширена черепиця штампована пазова, стрічкова пазова, стрічкова плоска і конькова. Для виробництва черепиці використовують ті ж глини, що і для цегли. Стрічкову черепицю виготовляють пластичним формуванням на стрічкових пресах зі спеціальним мундштуком, а штамповану пазову - напівсухим пресуванням в металевих або гіпсових формах на спеціальних пресах. Черепиця може мати червонувато-рожеве або світло-жовте забарвлення. Спеціальні види черепиці покривають глазур'ю різних тонів. Черепиця довговічна і вогнестійка. Недоліками черепиці є велика маса (до 65 кг/м<sup>2</sup> покриття), крихкість, а також велика трудомісткість зведення черепичної покрівлі та необхідність її влаштування з великим ухилом (більше 30°) для швидкого стоку води.

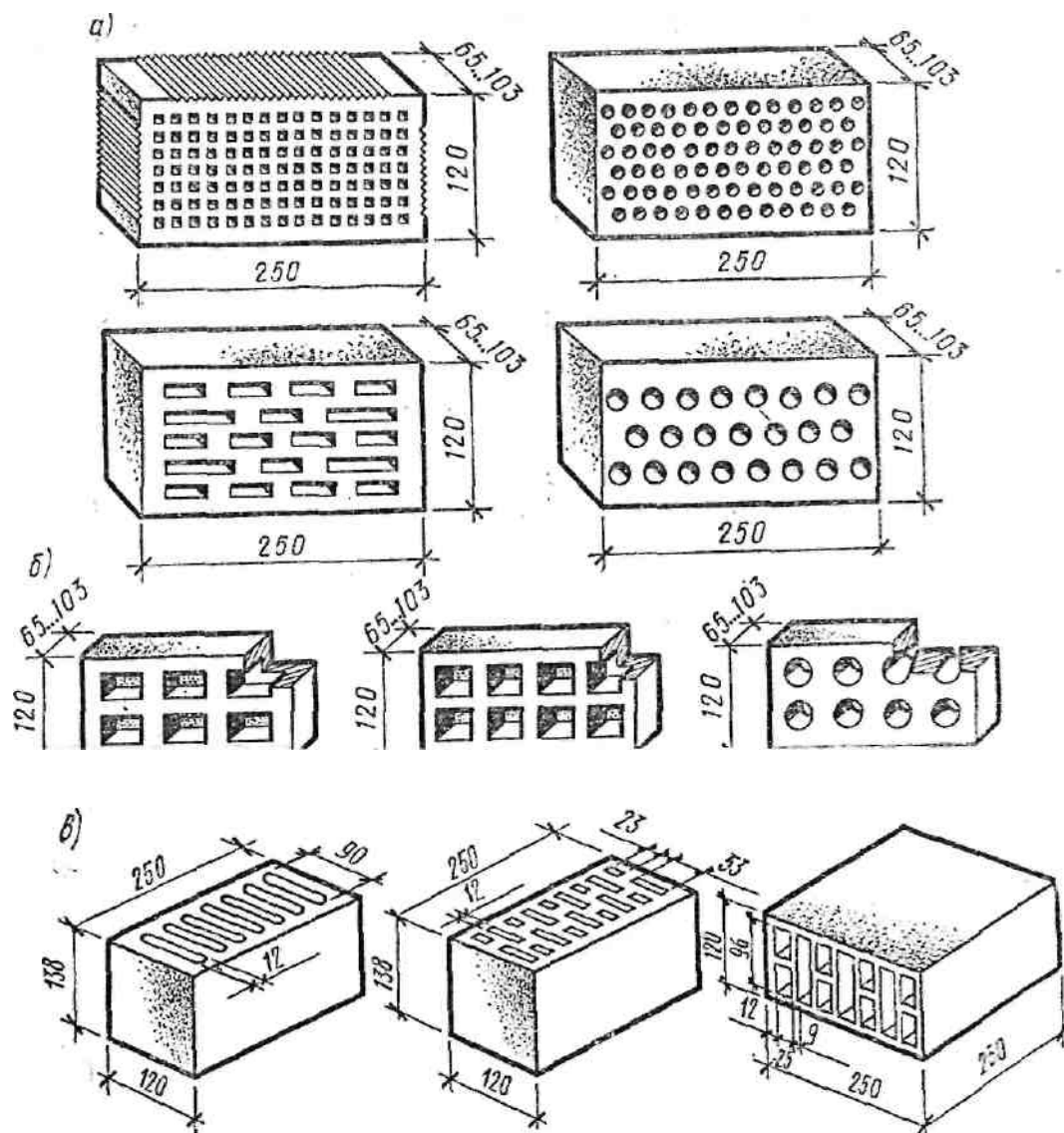


Рис. 3.3. Типи порожньої цегли і керамічних каменів:  
 а – цегла пластичного формування; б – цегла напівсухого пресування; в – камені з 7 і 18 вертикальними і з 11 горизонтальними порожнечами

### **Керамічні труби.**

**Каналізаційні керамічні труби** виготовляють з вогнетривких або тугоплавких глин без добавок або з отощуючими добавками. Поверхню труб зовні і всередині покривають кислотостійкою глазур'ю. Каналізаційні труби повинні витримувати гідравлічний тиск не менше 0,2 МПа. Їх застосовують для відводу стічних вод, кислотних і лужних розчинів на хімічних заводах, а також для дворової каналізації.

**Дренажні труби** випускають з внутрішнім діаметром 25...250 мм і довжиною до 500 мм неглазурованими без розтрубів або ж глазурованими з розтрубом і перфорацією на стінках. Для виготовлення труб використовують цегляні глини підвищеної пластичності або глини з добавками. Водопоглинання черепка труб – не більше 15%, морозостійкість – не менше 15 циклів. Їх застосовують при іригаційних роботах, а також для осушення ґрунтової основи під будівлями і спорудами.

**Санітарно-технічна кераміка.** До санітарно-технічних відносять вироби з фаянсу, напівпорцеляни і порцеляни. Для виробництва цих трьох різновидів керамічних матеріалів, що володіють різною пористістю, використовують білопекучі вогнетривкі глини і каоліни (близько 50% складу формувальної маси), кварц (для стійкості при випалюванні) і польовий шпат (для кращої спікливості) в різних співвідношеннях для кожного виду виробів. Формують санітарно-технічні вироби переважно методом лиття. Вироби з фаянсу (унітази, умивальники, змивні бачки та ін.) мають пористий черепок з водопоглинанням 10...12% і межею міцності при стисненні близько 100 МПа. У порівнянні з фаянсом черепок напівпорцеляни більш спечений з водопоглинанням 3...5% і міцністю при стисканні 150...200 МПа. Порцелян відрізняється ще більшою щільністю, що дозволяє виготовляти з нього тонкостінні вироби водопоглинанням 0,2...0,5% і міцністю до 500 МПа. Вироби покривають глазур'ю.

**Теплоізоляційні керамічні вироби.** У цю групу керамічних виробів входять цегла легка, трепельний (діатомовий), пористі штучні вироби, керамзит.

**Теплоізоляційні трепельні** (діатомові) вироби виготовляють пластичним методом з трепелу або діатоміту, іноді з вигораючими добавками. За середньою густиною вироби підрозділяють на марки 500, 600, 700. Теплопровідність таких виробів при температурі 350° – 0,18...0,27 Вт/(м·°С). Їх застосовують для теплоізоляції до 900 °С.

**Керамзит** являє собою пористий матеріал у вигляді гравію. Сировиною для його виробництва служать глини, що містять оксиди заліза і органічні домішки.

**Вогнетривкі матеріали** виготовляють у вигляді цегли, блоків, плит і фасонних елементів з різних сировинних компонентів за технологією, близькою до керамічної (формування або пресування, сушіння, випалювання). Їх поділяють на вогнетривкі (1580...1770°С), високовогнетривкі (1770...2000 °С) і вищої вогнетривкості (вище 2000°С), а в залежності від хіміко-мінерального складу – на кремнеземисті, алюмосилікатні, магнезійні, хромисті, вуглецеві. Найбільше поширення в будівництві отримали кремнеземисті і алюмосилікатні вогнетривкі вироби.

**Кремнеземисті (динасові) вогнетриви** виготовляють з кварцових порід (кварц, кварцит, кварцовий пісок) з добавкою глини. Ці вогнетриви мають високу вогнетривкість (до 1730°С), достатню міцність (15...35 МПа), але малу термічну стійкість. Застосовують динасові вироби для кладки зводів і стін мартенівських і скловарних печей.

**Алюмосилікатні вогнетриви** в залежності від вмісту  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в обпеченому продукті поділяють на три види: напівкислі, шамотні, високоглиноземисті. **Напівкислі** вогнетриви виготовляють випалюванням кварцових порід на глинистій або каоліновій зв'язці або випалюванням глини і каолінів з великим вмістом кварцового піску. Вогнетривкість виробів на каоліновій зв'язці не нижче 1710 °С, на глиняній - не нижче 1580 °С. Їх застосовують для футеровки коксових печей, вагранок і інші. **Шамотні**



*вогнетриви* отримують з вогнетривких глин і каолінів, отощених шамотом з тієї ж глини. Вогнетривкість шамотних матеріалів 1730 °С, а міцність при стисненні 10...12,5 МПа. Вони відрізняються термічною стійкістю і шлакостійкістю. Застосовують їх для кладки доменних печей, стін і пода керамічних печей, облицювання топок парових котлів, димоходів та тощо. *Високоглиноземисті вогнетриви* виготовляють з високоглиноземистої глинистої сировини з вмістом глинозему понад 45% (боксити, діаспор, корунд і інші) випалюванням для спікання або методом лиття з розплаву. Ці вироби мають вогнетривкість до 2000 °С і високу шлако- і стеклостійкість. Застосовують їх для кладки скловарних печей.

*Магнезійні вироби* складаються в основному з периклаза MgO – 80...85%, вогнетривкість їх досягає 2000 °С.

*Легковагі вогнетриви* – матеріали з високою пористістю (45...85%) і малою щільністю (1,3...0,4 г/см<sup>3</sup>), мають високу вогнетривкість, малу теплопровідність і достатню міцність. Їх застосовують для футеровки промислових печей різного призначення. При цьому значно (в 2...4 рази) скорочується тривалість розігріву (холостий хід печі), в 2...3 рази зменшується товщина огорожувальних стін і на 20...70% знижуються питомі витрати палива на теплові процеси.

Для цих же цілей використовують алюмосилікатні і інші волокна, що володіють високою міцністю, термічною стійкістю і малою теплопровідністю.

### 3.3.5. Кам'яні матеріали для кріплення гірничих виробок

*Природні камені* для кріплення гірничих виробок застосовують рідко і використовують головним чином при кладці фундаментів під кріплення з штучних каменів, бетону та залізобетону. В якості кріпильного матеріалу найбільш придатні камені з вивержених порід, а також міцні пісковики та вапняки. Зазвичай застосовують необроблений, природний камінь неправильної форми, званий бутовим.

*Штучні камені* – штучний кріпильний матеріал, виготовлений заводським способом. Для кріплення гірничих виробок застосовують в основному бетонні камені (бетоніти і блоки) і іноді керамічну цеглу, але найчастіше останню використовують для перемичок.

*Цеглу* формують з глини з добавкою піску з наступним: випалюванням в спеціальних печах. Стандартні розміри цегли 250×120×65 мм. Об'ємна маса цегли 1,6...1,9 т/м<sup>3</sup>. Відхилення розмірів не повинні перевищувати: по довжині ±5 мм, по ширині і товщині ±3 мм, а викривлення поверхонь і ребер ±3 мм. Марки вживаної цегли, відповідні середній міцності при стисненні, 150, 175 і 200. На 1 м<sup>3</sup> цегельної кладки витрачається 400 шт цегли і 0,27...0,3 м<sup>3</sup> розчину. Цегла повинна бути нормально і однорідно обпаленою, мати однорідну будову. Не допускається в ній наявність тріщин, включення каменів і вапна.

*Бетоніти* – штучні камені зі звичайного бетону або шлакобетону масою до 40 кг/шт. Бетоніти виготовляють на віброударних верстатах з наступним пропарюванням в спеціальних камерах. Міцність бетонітів повинна бути не нижче 15 МПа. Маса бетонітів коливається від 20 до 40 кг. За формою

розрізняють прямокутні і клиноподібні бетоніти. Відхилення від основних розмірів не повинні перевищувати  $\pm 3$  мм. Бетоніти з викривленням граней і ребер більше 4 мм до застосування не допускаються. Прямокутні бетоніти застосовують для кладки прямих стін кріплення горизонтальних і похилих виробок; для влаштування штучних жорстких смуг для охорони і повторного використання виїмкових гірничих виробок. А для влаштування м'яких смуг застосовують силікатні газобетонні полегшені прямокутні блоки, розміром  $200 \times 300 \times 600$  мм. Клиновидні бетоніти застосовують для кладки сводів горизонтальних і похилих виробок, для спорудження криволінійних конструкцій кріплення.

Бетонні камені великих розмірів, що вимагають для укладання і установки механічних пристроїв, називають **бетонними блоками**. Маса бетонних блоків досягає 200...300 кг і більше. Кріплення з бетонітів і блоків здатне сприймати на відміну від кріплення з монолітного бетону тиск гірських порід відразу ж після її зведення. Істотний недолік застосування бетонітів як кріпильний матеріалу - великі витрати немеханізованої праці на кріплення. При бетонних блоках цей недолік виключається, оскільки їх укладання механізуються. Бетонні блоки мають наскрізні отвори, діаметром 50 мм, для захоплення виконавчим органом кріпленнявкладача. Після укладання блоків ці отвори використовують для зміцнення кронштейнів і підвісок кабелів, трубопроводів і тощо. Блоки забезпечені монтажними петлями з дроту діаметром 8 мм, використовуваними при навантаженні і розвантаженні блоків на заводах-виробниках і в шахті.

Блоки виготовляють в багатогніздових (до 10...12 гнізд) металевих формах з ущільненням бетонної суміші на віброплощині і з подальшим пропарюванням відформованих блоків в закритих камерах. Виготовлені блоки маркують фарбою на лицьовій площині із зазначенням типорозміру блоку.

Бетонні блоки повинні мати чисті контактні поверхні. Наявність раковин, заколів, і напливів на лицьовій і контактних поверхнях не допускається. Відхилення від основних розмірів блоків не повинно перевищувати: по висоті  $\pm 3$  мм, по довжині  $\pm 5$  мм і по товщині  $\pm 10$  мм.

### 3.4. Неорганічні в'язучі речовини

#### 3.4.1. Загальні відомості

Для отримання багатьох штучних будівельних матеріалів або склеювання штучних матеріалів в виробі і конструкції широко використовують неорганічні (вапно, гіпсові в'язучі, розчинне скло, цементи) і органічні (бітуми, дьогті, смоли, клей) в'язучі речовини.

**Неорганічні в'язучі речовини** являють собою штучні тонкоподрібнені порошки, здатні при змішуванні з водою (в окремих випадках з розчинами деяких солей) утворювати пластично-в'язку і легкоформуєчу масу (в'язуче тісто), яка в результаті фізико-хімічних процесів поступово твердне і переходить в каменеvidне тіло.

У більшості випадків у в'язуче тісто вводять наповнювачі, що сприяє економії в'язучих та поліпшенню властивостей штучного каменю. Неорганічні

в'яжучі речовини, в залежності від їх здатності тверднути в певному середовищі, ділять на повітряні і гідравлічні.

**Повітряні в'яжучі** (вапно повітряне, гіпсові і магнезіальні в'яжучі, розчинне скло) тверднуть і довго зберігають міцність лише в повітряному середовищі.

В'язкі речовини, здатні тверднути і тривало зберігати або підвищувати міцність не тільки на повітрі, але ще краще в воді, називають в'яжучими **водного твердіння** або **гідравлічними в'яжучими** (гідравлічне вапно, романцемент, портландцемент і його різновиди, глиноземистий і розширюваний цементи, гіпсоцементно-пуццоланові і деякі місцеві в'яжучі речовини). Число різновидів гідравлічних в'яжучих безперервно збільшується в результаті використання нових видів сировини і застосування нових способів виробництва.

В окрему групу виділяють **в'яжучі речовини автоклавного твердіння** (вапняно-кремнеземисті, вапняно-нефелінові, бесклінкерно шлакові і зольні в'яжучі матеріали), хоча по суті вони теж відносяться до гідравлічних в'язких. Такі в'яжучі ефективно твердіють тільки в середовищі нагрітого насиченого пару в автоклавах, де температура 175 °С і більше і тиск 0,9...1,6 МПа.

У самостійну групу **кислотостійких в'яжучих** входить кислото-упорний цемент.

Міцність в'яжучих змінюється в часі, тому оцінюють в'яжучі по міцності, набране за певний час твердіння в умовах, встановлених стандартом. Цей показник приймають за марку в'яжучого. Наприклад, марка гіпсових в'яжучих визначається по міцності зразків через 2 години після їх виготовлення, а портландцементу через 28 діб твердіння.

Умовно прийнято розрізнити два періоди в процесі твердіння в'яжучої речовини - схоплювання і власне твердіння. Момент, коли пластичне в'яжуче тісто починає густіти і втрачає пластичність, відповідає **початку схоплювання**. Далі в'яжуче тісто все більше і більше ущільнюється, повністю загустіває і поступово перетворюється в тверде каменевидне тіло, не володіюче ще практично помітною міцністю. Цей момент вважають **кінцем схоплювання**.

Деякі в'яжучі схоплюються протягом декількох хвилин, а тверднуть за кілька годин (наприклад, гіпсові). Найбільш повільно твердне повітряне гашене вапно, яке в звичайних умовах помітно твердне лише через кілька тижнів або місяців. Більшість цементів схоплюється протягом десятків хвилин або декількох годин, а інтенсивно твердне в терміни до місяця, хоча процес твердіння при сприятливих умовах триває багато років. Всі операції по транспортуванню і укладанню сумішей на основі в'яжучих повинні закінчуватися до початку схоплювання. Повторне перемішування, особливо з додаванням води, з метою надання пластичності схопюванної суміші призводить до істотного зниження міцності затверділої суміші.

Неорганічні в'яжучі, одержувані штучно шляхом випалу природної сировини, з'явилися в глибокій старовині.

Деякі з них (повітряне вапно, гіпс і їх суміші) вже використовували для зведення єгипетських пірамід та інших споруджень. Римляни, споруджуючи

водопроводи, морські споруди, використовували в'язучі, що склалися з суміші повітряного вапна зі спеціальними подрібненими добавками (вулканічними попелами, обпаленою глиною), які зберігали міцність у воді.

Застосування в'язучих речовин в Росії відноситься до X ст. При спорудженні Десятинної церкви в Києві (990 р.) використовували вапно, там же при зведенні Софійського собору (XI ст.) застосовували вапно з добавкою цем'янки (товченої цегли). На вапняному розчині складені стіни Московського Кремля (кінець XV ст.).

У XVIII ст. з'явилися більш водостійкі в'язучі - гідравлічне вапно і романцемент, які отримували випалюванням вапняків з підвищеним вмістом глинистих речовин, а також мергелів і штучних сумішей вапняку і глини. Властивості цих в'язучих, досвід їх виробництва і застосування описані в роботах російських вчених акад. В.М. Севергіна (1807) і проф. А.Шарлевіля (1822).

Подальшим поштовхом розвитку виробництва і застосування в'язучих речовин з'явився винахід цементу більш високої міцності і водостійкості, названого портландцементом.

Винахід портландцементу часто приписують англійському мулярові Д. Аспдін, який в 1824 році отримав патент на виготовлення в'язучої речовини випалюванням суміші вапна з глиною. За схожістю по кольору з природним каменем з каменоломень під м. Портленд в Англії він назвав це в'язучим портландцементом. Однак Аспдін не обпалював суміш до спікання (часткового плавлення). Тому в'язуча, отримана ним, за технологією і властивостями було різновидом романцементу і, отже, не була схожа на сучасний портландцемент. У той же час в Росії військовий технік Є.Г. Челієв в 1817-1825 рр. виготовляв цемент з сумішей вапна або вапняної штукатурки з глиною, виробляючи їх випал до часткового розплавлення компонентів з подальшим подрібненням отриманого продукту. При затворенні в'язучої водою рекомендувалося вводити невелику кількість гіпсу. Свої роботи Є.Г. Челієв завершив виданням книги (1825), в якій описав і науково обгрунтував застосовуваний їм спосіб виготовлення цементу, принципово не відрізняючий його від технології сучасного портландцементу. Історично справедливо вважати основоположником портландцементу Є.Г. Челієва.

### **3.4.2. Сировинні матеріали та основи технології неорганічних в'язучих речовин**

Вихідними матеріалами для виробництва неорганічних в'язучих речовин є різні гірські породи, а також деякі масові побічні продукти металургійної, енергетичної, хімічної та інших галузей промисловості (шлаки, золи і тощо.).

Для виготовлення гіпсових в'язучих речовин застосовують гірські породи, що складаються з двуводного гіпсу і ангідриту.

Виробництво магнезійних в'язучих базується на природному магнезиті доломіті.

Карбонатні гірські породи у вигляді вапняків, крейди, доломіту і мергелів є основою для отримання повітряного і гідравлічного вапна, романцементу,

портландцементу. У виробництві портландцементу і його різновидів частіше використовують штучні суміші вапняків або крейди і глинистих порід. Для цієї ж мети, а також для отримання змішаних клінкерних і безклінкерних цементів застосовують кремнеземисті гірські породи (діатоміт, трепел, опоку, вулканічні траси і туф).

Високоглиноземисті породи (боксити), що складаються в основному з гідроксиду алюмінію, застосовують в суміші з вапняками для виробництва глиноземистого цементу.

Широко використовують для виготовлення різних в'язучих речовин масові відходи промисловості (доменні та інші металургійні шлаки, шлаки та золи від пилоподібного спалювання різних видів твердого палива, нефеліновий шлам і інші.). При цьому відпадає необхідність організації кар'єрів, вони не вимагають палива на випал, багато з цих матеріалів до того ж знаходяться в пухкому або порошкоподібному стані, що зменшує витрати енергії на помел. Крім того, використання відходів сприяє охороні природи і довкілля. Все це зумовлює високу техніко-економічну ефективність використання таких напівпродуктів в промисловості в'язучих речовин і сприяє охороні навколишнього середовища.

Для регулювання схоплювання і твердіння в'язучих в них вводять добавки, що прискорюють або сповільнюють ці процеси. Для поліпшення властивостей в'язучої, і запобігання цементів від швидкої втрати активності при далеких перевезеннях і тривалому зберіганні використовують поверхнево-активні речовини (ПАР), що вводяться в в'язуче у кількості 0,1...0,3% від маси в'язучого.

Додання в'язким спеціальних властивостей досягають введенням в них полімерних органічних речовин та інших добавок.

### 3.4.3. Повітряні в'язучі речовини

#### 3.4.3.1. Гіпсові в'язучі речовини

Гіпсовими в'язучими речовинами називають матеріали, для отримання яких використовують сировину, яка містить сірчаноокислий кальцій. Найчастіше це природні гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  і ангідрит  $\text{CaSO}_4$ , рідше – деякі побічні продукти хімічної промисловості (фосфогіпс, борогіпс).

**Виробництво.** Створюючи відповідні умови дегідратації двуводного гіпсу, можна отримати різні гіпсові в'язучі речовини, які поділяють на дві групи: низьковипалювальні (власне гіпсові) і високовипалювальні (ангідридні) - ангідритовий цемент і високовипалювальний гіпс.

При нагріванні двуводного гіпсу до  $180^\circ\text{C}$  двуводний гіпс перетворюється в напівводний:



а при подальшому нагріванні до  $200^\circ\text{C}$  повністю зневоднюється, перетворюючись в безводний розчинний ангідрид  $\text{CaSO}_4$ .

Модифікації полуводного і безводного розчинного гіпсу значно відрізняються за своїми в'язкими властивостям.

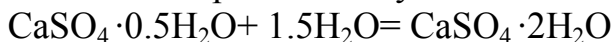
При подальшому нагріванні до 450...750 °С безводний гіпс повільно переходить в нерозчинний ангідрит, що не володіє терпкими властивостями, але якщо його розмолоти і ввести деякі речовини – каталізатори, він набуває здатність повільно схоплюватися і тверднути.

При нагріванні до 800...1000 °С нерозчинний ангідрит частково розкладається на оксид кальцію, сірчистий газ і кисень. Отриманий продукт, розмелений в порошок, внаслідок появи невеликої кількості оксиду кальцію (3...5%), що виконує роль каталізатора, знову набуває властивостей схоплюватися і тверднути.

Для отримання гіпсових в'язуих сировину обпалюють в печах (оберткових, шахтних і інших). При випалюванні у відкритих апаратах, сполучених з атмосферою, вода із сировини видаляється у вигляді пари і гіпсове в'язке переважно складається з дрібних кристалів β-модифікації  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Твердіння гіпсових в'язучих проходить за наступною схемою.

На першому етапі (підготовчому) частки полуводного гіпсу, приходячи в зіткнення з водою, починають розчинятися з поверхні до утворення насиченого розчину. Одночасно починається гідратація полуводного гіпсу до реакції.



Цей період характеризується пластичним станом тіста.

На другому етапі (коллоїдація) поряд з гідратацією розчиненого полугідратату і переходом його в двуводний гіпс відбувається пряме приєднання води до твердого напівводного гіпсу. Це призводить до виникнення двуводного гіпсу у вигляді високодисперсних кристалічних частинок. Цей період характеризується загустінням тіста (схоплюванням).

На третьому етапі (кристалізації) утворений нестійкий гель перекристалізовується в більші кристали, які зростаються між собою в кристалічні зростки, що супроводжується твердінням системи і зростанням її міцності.

Зазначені етапи не дотримуються строго один за одним, а накладаються один на інший і тривають до тих пір, поки весь напівводний гіпс не перейде в двуводний (практично через 20...40 хв після затвердіння). До цього часу досягається максимальна міцність системи у вологому стані. Подальше збільшення міцності гіпсового каменю відбувається внаслідок його висихання.

Стандартами на гіпсові в'язучі встановлено 12 марок (МПа): Г-2, Г-3, Г-4, Г-5, Г-6, Г-7, Г-10, Г-13, Г-16, Г-19, Г-22, Г-25. При цьому мінімальна межа міцності при вигині для кожної марки в'язучого, за зростанням, повинна відповідати значенням відповідно від 1,2 до 8 МПа.

Гіпсові в'язучі відносно швидко схоплюються і тверднуть. Розрізняють швидкотвердіючі (А), нормальнотвердіючі (Б) і повільно твердіючі (В) гіпси з термінами схоплювання, відповідно, початок – не раніше 2, 6 і 20 хв, кінець – не пізніше 15, 30 хв (для В – не нормується).

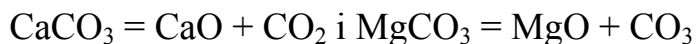
#### **3.4.3.2. Вапно будівельне повітряне**

*Сировина і виробництво.* Для отримання повітряного вапна придатні карбонатні породи (вапняки, крейда, черепашник, доломітизовані вапняки), в

яких вміст домішок глини, кварцового піску і тощо не перевищує 6%.

Випал такої сировини виробляється до повного видалення діоксиду вуглецю, в результаті отримують продукт, що складається в основному з CaO і MgO. Чим вище сумарний вміст вільних оксидів кальцію і магнію, тим вище якість вапна. Залежно від вмісту оксиду магнію розрізняють такі види повітряного вапна: кальцієві – MgO не більше 5%, магнезійних – 5...20%, доломітові – 20...40%.

Випал сировини виробляють в шахтних печах, рідше в обертових або установках для випалу в підвищеному стані і киплячому шарі. Основні реакції, що відбуваються при випалюванні:



Реакції розкладання цих карбонатів оборотні і залежать від температури і парціального тиску вуглекислого газу. При термічній дисоціації карбонату кальцію тиск вуглекислого газу досягає атмосферного при температурі близько 900 °С, а карбонату магнію – близько 400 °С. Це і є теоретично нормальні температури випалу карбонатів. Практично для задовільного ходу випалу температуру пічного простору доводять до 1000...1200 °С (дисоціація карбонатів різко прискорюється).

При оптимальній температурі випалу чистого вапняку до повного видалення CO<sub>2</sub> (теоретично 44%) його маса зменшується майже в 2 рази, обсяг же продукту лише на 10...12%. Отримане в вигляді шматків вапно являє собою досить пористий матеріал, що складається в основному з дрібних кристалів (0,5...2мкм) оксиду кальцію і частково оксиду магнію, що і зумовлює її високу реакційну здатність при взаємодії з водою.

Вапно, що виходить з печі зазвичай у вигляді шматків різної величини (грудки), називають **комовим негашеним вапном**. Це – напівпродукт, який для перетворення в в'язучий попередньо подрібнюють хімічним шляхом – гасінням водою (**гашене вапно**) або механічним шляхом – помелом в млинах (**мелене негашене вапно**).

**Гасіння вапна** полягає в тому, що вода, доторкаючись з шматками негашеного вапна, поглинається нею, всмоктуючись в пори, і одночасно хімічно взаємодіє з оксидами кальцію і магнію, утворюючи їх гідроксиди:



При цьому 1 кг вапна-кипелки виділяє 1160 кДж теплоти, яка переводить частину води в пароподібний стан. Пар викликає в вапна внутрішні розтягуючі напруження, під дією яких відбувається її подрібнення в тонкий порошок (тонше, ніж у цементу).

Залежно від кількості води, взятої при гасінні, можна отримати гідратну вапно-пушонку, вапняне тісто або вапняне молоко.

Для отримання вапна-пушонки, що представляє собою тонкий білий порошок, теоретично досить 32,13% води від маси вапна-кипелки. Практично води беруть в 2...3 рази більше (60...80%), так як при гасінні частина її випаровується. Порошок вапна-пушонки складається з дуже тонких частинок і в 2...3 рази і більше перевищує обсяг вихідного вапна-кипелки.

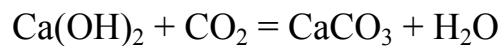
При гасінні вапна в тісто витрати води збільшують до 2...3 год (по масі) на 1 год вапна-кипелки; при ще більшій кількості води отримують вапняне молоко.

**Вапняне тісто** у вигляді пастоподібної концентрованої водної суспензії (щільність близько 1400 кг/м<sup>3</sup>) містить приблизно 50% води і 50% дуже дрібних частинок гідроксидів кальцію і магнію.

**Вапняне молоко** має вигляд рідини і щільність менш 1300 кг/м<sup>3</sup>.

У будівництві вапно, як правило, застосовують в суміші з піском або іншими наповнювачами у вигляді розчинів або бетонів.

Розчини та бетони на гашеному вапні твердіють на повітрі при звичайних температурах в результаті головним чином двох одночасно протікаючих процесів – карбонізації та кристалізації гідроксидів кальцію, викликані випаровуванням води. У процесі карбонізації, тобто взаємодії гідроксиду кальцію з вуглекислим газом повітря, утворюється карбонат кальція і виділяється вода:



Міцність при стисненні розчинів на гашеному вапні через 28 діб твердіння на повітрі рідко перевищує 0,5...1,0 МПа. При тривалому твердінні (десятки і навіть сотні років) міцність зростає до 5...7 МПа і більше. Це пояснюється не тільки подальшою карбонізацією і кристалізацією вапна, але і накопиченням з плином часу гідросилікатів кальцію, які утворюються, хоча і вкрай повільно, при взаємодії гідроксиду кальцію з діоксидом кремнію кварцового піску.

Процес утворення гідросилікатів кальцію в системі вапно – кварцовий пісок можна різко прискорити і, отже, отримати більш високу міцність виробів на вапняному в'язучому шляху обробки їх в автоклавах.

Перетворення в тверде камневидне тіло вапняних розчинів або бетонних сумішей на меленому негашеному вапні обумовлено гідратаційним твердінням такого вапна.

На відміну від гашеного вапна, мелене вапно має здатність швидко схоплюватися і тверднути. Міцність при стисненні розчинів через 28 діб твердіння на повітрі в звичайних умовах досягає 2...3 МПа і більше.

Важливою властивістю повітряного вапна, особливо гашеного, є висока пластичність, яка пов'язана з її високою водоутримуючою здатністю. Вода, адсорбційно утримуючись на поверхні тонкодисперсних частинок гідроксиду кальцію, створює своєрідне мастило, що зменшує тертя між ними.

**Застосування.** Традиційним є використання вапна для виготовлення кладок і штукатурних розчинів, експлуатованих в повітряно-сухих умовах. Широке застосування повітряне вапно знайшло у виробництві різних щільних і пористих автоклавних матеріалів у вигляді силікатної цегли і великих виробів. Повітряне вапно використовують також у виробництві місцевих в'язучих речовин і для отримання дешевих барвистих складів.

При роботі з вапном на всіх стадіях її виготовлення і застосування необхідно враховувати, що вона є лугом. Попадання вапна на шкіру, слизові оболонки і в легені шкідливо для здоров'я людини, тому при роботі з вапном необхідно вживати заходи безпеки.



### 3.4.4. Гідравлічні в'язучі речовини

#### 3.4.4.1. Портландцемент

Портландцемент і його різновиди є основним в'язким матеріалом у сучасному будівництві.

**Портландцемент** - продукт тонкого подрібнення клінкеру, одержуваного шляхом випалу до спікання, тобто часткового плавлення сировинної суміші, що забезпечує переважання в ньому високоосновних силікатів кальцію (70...80%). Для регулювання схоплювання і деяких інших властивостей при помелі клінкеру в цемент додають невелику кількість гіпсу (1,5...3,5%).

**Сировина і виробництво.** Для отримання доброякісного портландцементу хімічний склад клінкеру, а, отже, і склад сировинної суміші повинні бути стійкі.

Численні дослідження і практичний досвід показують, що елементарний хімічний склад клінкеру повинен знаходитися в наступних межах (% по масі): CaO – 63...66; SiO<sub>2</sub> – 21...24; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4...8; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2...4, їх сумарна кількість становить 95...97%. Отже, для виробництва портландцементу слід застосовувати такі сировинні матеріали, які містять багато карбонату кальцію і алюмосилікатів (вапняки, глини, вапняні мергелі). Найчастіше використовують штучні сировинні суміші з вапняку або крейди і глинистих порід при співвідношенні між ними на сировинній шихті приблизно 3:1 (% по масі): CaCO<sub>3</sub> – 75...78 і глинистої речовини – 22...25. Замість глини або для часткової її заміни використовують також відходи різних виробництв (доменні шлаки, нефеліновий шлам і тощо). Нефеліновий шлам, що виходить при виробництві глинозему, вже містить 25...30 % SiO<sub>2</sub> і 50...55 % CaO; достатньо до нього додати 15...20% вапняку, щоб отримати сировинну суміш. При цьому продуктивність печей підвищиться приблизно на 20%, а витрата палива знизиться на 20...25%. Для забезпечення потрібного хімічного складу сировинної суміші застосовують коригувальні добавки, що містять відсутні оксиди.

В якості палива використовують природний газ, рідше мазут і тверде паливо у вигляді вугільного пилу. Вартість палива складає до 26% собівартості готового цементу, тому на цементних заводах багато уваги приділяється його економії.

Технологія портландцементу в основному зводиться до приготування сировинної суміші належного складу, її випалу до спікання (отримують клінкер) і помолу в тонкий порошок.

Сировинну суміш готують сухим або мокрим способом. Відповідно до цього розрізняють і способи виробництва цементу – сухий і мокрий. В Україні на раніше побудованих цементних заводах переважає мокрий спосіб виробництва цементу, але в даний час впроваджується сухий. Найважливішою перевагою сухого способу виробництва є не тільки зниження витрат теплоти на випал в 1,5...2 рази, ніж при мокрому, але і більш високі питомі знімання в печах сухого способу.

**Твердіння.** Цементне тісто, приготовлене шляхом змішування цементу з водою, спочатку (протягом 1...3 год після замішування) пластично і легко

формується. Потім настає схоплювання, що закінчується зазвичай через 5...10 год після замішування; в період схоплювання цементне тісто загустіває, втрачаючи рухливість, але його механічна міцність ще невелика. Перехід цементного тіста в твердий стан означає кінець схоплювання і початок твердіння, яке характерно зростанням міцності. Твердіння при сприятливих умовах триває роками - аж до повної гідратації цементу.

**Хімічні реакції.** Відразу після замішування цементу водою починаються хімічні реакції. Уже в початковій стадії гідратації цементу відбувається швидка взаємодія з водою, що супроводжується утворенням гідросилікату кальцію і гідроксиду:



Після затворення гідроксид кальцію утворюється з аліта, так як беліт гідратується повільніше аліта і при його взаємодії з водою виділяється менше  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , що видно з рівняння реакції:



**Гідросилікат кальцію**  $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  утворюється при повній гідратації чистого трьохкальцієвого силікату в рівновазі з насиченим розчином гідроксиду.

Термін "**гідратація**" об'єднує процеси взаємодії цементу з водою, що відбуваються при його схоплюванні і твердінні.

При збільшенні ступеня гідратації цементу зростає обсяг новоутворень і зменшується пористість цементного каменю, при цьому підвищується міцність і довговічність бетону. Удосконалюючи технологію бетону, потрібно домагатися найбільш повного використання в'язучого, що еквівалентно його економії.

Швидкість хімічних реакцій, що протікають при твердінні цементу, а також повнота використання цементу і його міцність збільшуються при підвищенні тонкості помелу цементу.

Для безперервного підвищення міцності цементного каменю необхідне вологе тепле середовище. Твердіння практично припиняється, якщо цементний камінь буде знаходитися в сухому середовищі або при мінусовій температурі. Замерзлий камінь після відтавання здатний до подальшого твердіння, але в цьому випадку не завжди може бути досягнута така ж міцність, як при твердінні в нормальних умовах.

Виробничі вимоги часто викликають необхідність регулювати процес формування структури цементного каменю і бетону, прискорювати або уповільнювати його.

Крім вибору цементу належного мінерального складу і тонкощів помелу прискорення твердіння бетону досягають тепловологою обробкою (пропарюванням, автоклавною обробкою), введенням спеціальних добавок і їх поєднанням.

**Властивості.** До основних властивостей портландцементу відносяться тонкість помелу, водопотреба, терміни схоплювання, рівномірність зміни обсягу і міцність (марка) цементу. При необхідності оцінюють і інші властивості: щільність і насипну щільність, тепловиділення, стійкість в різних умовах середовища і тощо.

**Тонкість помелу** – один з факторів, що визначають швидкість затвердіння і міцність цементного каменю. Звичайний портландцемент подрібнюють досить тонко – залишок на ситі № 008 (4900 отв/см<sup>2</sup>) не повинен перевищувати 15%, що відповідає питомій поверхні цементу 2500...3000 см<sup>2</sup>/г.

**Водопотреба портландцементу** характеризується кількістю води (% маси цементу), яка необхідна для отримання цементного тіста нормальної густоти, тобто заздалегідь заданій стандартній пластичності, яка визначається зануренням в тісто циліндра пестика приладу. Водопотреба залежить від мінерального складу і тонкощів помелу цементу і коливається в межах 22...26%.

Терміни схоплювання і рівномірність зміни обсягу цементу визначають на тісті нормальної густоти. Початок схоплювання цементного тіста повинен наступати не раніше 45 хв, а кінець схоплювання – не пізніше 10 год. Терміни схоплювання визначають за допомогою приладу Віка шляхом занурення голки цього приладу в тісто нормальної густоти. Для отримання нормальних термінів схоплювання при помелі клінкеру вводять добавку двуводного гіпсу, а в разі необхідності – спеціальні добавки – сповільнювачі або прискорювачі схоплювання.

Процес твердіння цементного каменю супроводжується об'ємними деформаціями: набуханням при твердінні у воді, усадкою при твердінні на повітрі. Ці неминучі зміни обсягу враховуються у виробництві будівельних робіт, передбачаючи влаштування усадочних швів. Нерівномірна зміна обсягу цементного каменю при твердінні пов'язана з наявністю в клінкері вільних оксидів кальцію і магнію, які при гідратації розширюються, викликаючи місцеві деформації. За стандартом рівномірність зміни обсягу визначають в зразках-коржиках, виготовлених з тіста нормальної густоти, які через 24 год попереднього твердіння кип'ятять 3 год у воді. Коржі не повинні деформуватися, на них не допускаються радіальні тріщини. Цемент, що не володіє рівномірністю зміни обсягу, не можна застосовувати в будівництві.

**Міцність портландцементу** (марка) є головною властивістю, що характеризує його якість. Залежно від межі міцності при стисненні (кгс/см<sup>2</sup>) і з урахуванням меж міцності при вигині стандартних зразків-балочок, розміром 40×40×160 мм, через 28 діб твердіння портландцемент поділяють на марки: 400, 500, 550, 600.

**Фактичну міцність**, отриману при випробуванні на осьовий стиск половинок зазначених зразків, називають активністю (маркою) цементу.

Міцність цементу при нормальних умовах твердіння найбільш інтенсивно наростає в перші 7 діб твердіння. Уже на третю добу вона становить 30...35%, а до сьомої – 60...70%, в залежності від марки цементу.

#### **3.4.4.2. Види цементів**

Твердіння всіх гідралічних в'язучих речовин в повітряному середовищі супроводжується зменшенням об'єму цементного каменю (усадкою). Усадкові деформації можуть привести до утворення тріщин в бетонах, що порушує монолітність конструкцій і знижує їх довговічність. Для безусадкових цементів і

тих, що розширюються, характерний рівномірний приріст обсягу цементного каменю в початковий період твердіння, що компенсує усадочні явища. Лінійне розширення у цементів, що розширюються, зазвичай становить 0,3...0,1%, у безусадкових – 0,01...0,1%.

Численні види цементів, що розширюються, являють собою змішані цементи, що складаються з основної в'язучої речовини (глиноземної або портландцементів) і компонентів, що забезпечують збільшення обсягу цементного каменю в початковий період твердіння (в більшості випадків гіпс, високоосновні гідроалюмінати кальцію, глиноземисті шлаки).

В процесі твердіння цементів утворюється трьохсульфатний гідросульфоалюмінат кальцію  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot(31\text{...}32)\text{H}_2\text{O}$  і виникає пов'язаний з цим ефект розширення.

Найбільше застосування в нашій країні знайшли такі цементи, що розширюються: на основі глиноземистого цементу – *водонепроникний цемент, що розширюється* (ВРЦ), *водонепроникний безусадковий цемент* (ВБЦ), *гіпсоглиноземистий цемент*; на основі портландцементу – *портландцемент, що розширюється* (РПЦ), а на основі портландцементу і глиноземистого цементу – *напружуючий цемент* (НЦ).

***Водонепроникний цемент, що розширюється*** (ВРЦ) отримують змішуванням або спільним помелом глиноземистого цементу (70%), напівводного гіпсу (20%) і меленого спеціально виготовленого високоосновного гідроалюмінату кальцію  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$  (10%).

***Водонепроникний безусадковий цемент*** (ВБЦ) складається з тих же компонентів, що і ВРЦ, але узятих в інших співвідношеннях. Ці цементи швидко схоплюються (початок схоплювання – кілька хвилин, кінець – не пізніше 5...10 хв) і швидко тверднуть, досягаючи до 3 діб 60...80%-ної марочної міцності. Вони утворюють цементний камінь високої водонепроникності (витримує тиск води до 0,7 МПа), за що і отримали другу назву водонепроникних цементів. Водонепроникні безусадкові цементи і ті, що розширюються, застосовують для гідроізоляції і закладення швів тубінгів, розтрубних труб, стиків і тріщин в бетонних і залізобетонних конструкціях, підливках під машини і фундаментних болтів і тощо. Не можна застосовувати ці цементи в конструкціях, що експлуатуються в середовищі з недостатньою вологістю або при температурі понад 80°C.

***Портландцемент, що розширюється*** (РПЦ) отримують з (% по масі): портландцементного клінкеру – 58...63, високоглиноземистого доменного шлаку – 5...7, двуводного гіпсу – 7...10 і активної мінеральної добавки – 20...25, які спільно розмелюють в тонкий порошок - цемент. РПЦ характеризується більш швидким наростанням міцності, ніж портландцемент, особливо при короткочасному пропарюванні виробів, високою щільністю і водонепроникністю цементного каменю до 1,2 МПа і більше. Застосовують РПЦ там же, де і інші цементи, що розширюються, а також у виробництві збірних залізобетонних виробів, що дозволяє скоротити час теплової обробки до 4...6 год.

**Напружуючий цемент** (НЦ) виготовляють на основі клінкерів портландцементу (65...70%) і глиноземистого цементу (16...20%) з додаванням двуводного гіпсу (14...16%) шляхом спільного помелу до питомої поверхні щонайменше 3500 см<sup>2</sup>/г.

Напружуючий цемент швидко схоплюється (через 2...7 хв) і швидко твердне, набуваючи через добу нормального твердіння міцність до 20 МПа. Характерною особливістю цього цементу є не тільки значна величина, але і велика енергія розширення, що забезпечує самонапруження каменю до 3...4 МПа. Це властивість НЦ дозволяє використовувати його для виготовлення так званих самонапружених залізобетонних конструкцій, в яких натяг арматури виникає при розширенні твердіючого цементу. При цьому арматура може отримати дво- і трьохвісну напругу, чого важко досягти звичайними прийомами натягу арматури.

Напружуючий цемент рекомендується застосовувати для виготовлення напірних труб і інших тонкостінних залізобетонних виробів і конструкцій з напруженою арматурою.

### 3.4.5 Бетони

#### 3.4.5.1. Загальні відомості і основні властивості бетонів і бетонних сумішей

**Бетони** – штучні кам'яні матеріали, що отримуються в результаті затвердіння ретельно перемішаної і ущільненої суміші з в'язкої речовини, води, дрібного і крупного заповнювачів, взятих в певних пропорціях. До затвердіння ця суміш називається **бетонною сумішшю**.

*В'язка речовина* і *вода* є активними складовими бетону; в результаті реакції між ними утворюється цементний камінь, що скріплює зерна заповнювачів.

**Заповнювачі** (пісок, гравій, щебінь) в більшості випадків не вступають в хімічну сполуку з цементом і водою. Ці матеріали утворюють жорсткий скелет бетону і зменшують його усадку, що викликається усадкою цементного каменю при твердінні. У легких бетонах пористі заповнювачі зменшують щільність і теплопровідність бетону.

Для приготування наповнювачів використовують переважно місцеві гірські породи і відходи виробництв (шлаки та ін.). Застосування цих дешевих заповнювачів знижує вартість бетону і робить його, в основному, місцевим матеріалом, так як привізний цемент становить 10...15% маси бетону, а наповнювачі і вода – 85...90%. У разі відсутності місцевих доброякісних наповнювачів для бетону, їх доводиться привозити з спеціальних кар'єрів або заводів.

У бетон можуть вводитися спеціальні добавки, що поліпшують властивості бетонної суміші і бетону, підвищують рухливість бетонної суміші, які регулюють строки схоплювання, що прискорюють твердіння бетону в ранньому віці, підвищують його морозостійкість.

Основною технологічною властивістю бетонної суміші є легкоукладальність.

**Легкоукладальність** бетонної суміші оцінюється за вказівниками рухливості і жорсткості відповідно до методів випробувань, наведеними в ГОСТ 10181-76 (табл. 3.3).

*Рухливість* бетонної суміші слід вибирати відповідно до виду конструкції. Основними властивостями затверділого бетону є *міцність при стисненні, розтягненні і вигині, деформації усадки і розширення, водонепроникність, водопоглинання, морозостійкість*. У деяких випадках визначають *міцність при зрізі і зім'ятті, зчепленні бетону з арматурою, пружньо-пластичних властивостях, вогнестійкості*.

Таблиця 3.3

### Класифікація бетонних сумішей за ступенем їх легкоукладальності

Стан суміші	Рухливість, см	Жорсткість, с
Особливо жорстка	0	Більше 200
Жорстка	0	60...200
Помірно жорстка	0	30...60
Малорухлива	1 ...5	15...30
Рухома	6...14	5...15
Лита	Більше 15	–

Зміна витрати цементу при даному водовмісті в певних межах майже не впливає на жорсткість або рухливість бетонної суміші (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

### Мінімальна витрата цементу, що забезпечує отримання бетонної суміші, що розшаровується, кг/м<sup>3</sup>

Стан суміші	Гранична крупність зерен заповнювача, мм			
	10	20	40	70
Особливо жорстка	160	150	140	130
Жорстка	180	160	160	140
Помірно жорстка	190	170	160	140
Малорухлива	200	180	160	160
Рухома	220	200	180	160
Лита	250	220	150	180

**Міцність.** Активність і вміст в бетоні цементу прямо позначаються на міцності бетону. Однак збільшення вмісту цементу в бетоні позитивно впливає тільки до певних меж, після яких міцність мало змінюється, а інші властивості бетону можуть погіршуватися. Так, з підвищенням витрати цементу збільшуються усадка і повзучість бетону, а також його екзотермії в початковий період твердіння. У певних умовах це може викликати появу усадкових і температурних тріщин.

Підвищення активності цементу дозволяє скоротити його витрати, за винятком випадків, коли зміст цементу призначається з умов щільності бетону.

Міцність бетону багато в чому залежить від вмісту в ньому води затворення (рис. 3.4).

Якість наповнювачів також робить істотний вплив на міцність бетону. Чим

дрібніше пісок, тим більшими будуть його питома поверхня, водопотреба бетонної суміші та витрати цементу. Для орієнтовного уявлення про можливу перевитрату цементу на рис. 3.5 наведено графік приблизної залежності середньої витрати цементу в бетоні марки М150 від крупності піску за умови застосування цементу марки М300 і однакової рухливості бетонної суміші.

Зниження міцності бетону на дрібних і дуже дрібних пісках і пов'язана з цим перевитрата цементу залежать від марки вживаного бетону, активності і тонкості помелу цементу.

Використання щебеню, гравію і щебеню з гравію, що не відповідають нормативним рекомендаціям за зерновим складом, призводить до збільшення пористості суміші крупного заповнювача і, як наслідок, до зниження міцності бетону на 5...16%.

Найбільша крупність заповнювача в бетоні визначається найменшим перерізом конструкції, розташуванням в ній арматури і густотою армування. При цьому гранична крупність зерен не повинна бути більше 1/3 найменшого розміру конструкції і не більше 3/4 відстані у світлі між стержнями арматури.

Використання гравію замість щебеню знижує міцність бетону, особливо високих марок, на 10...20%.

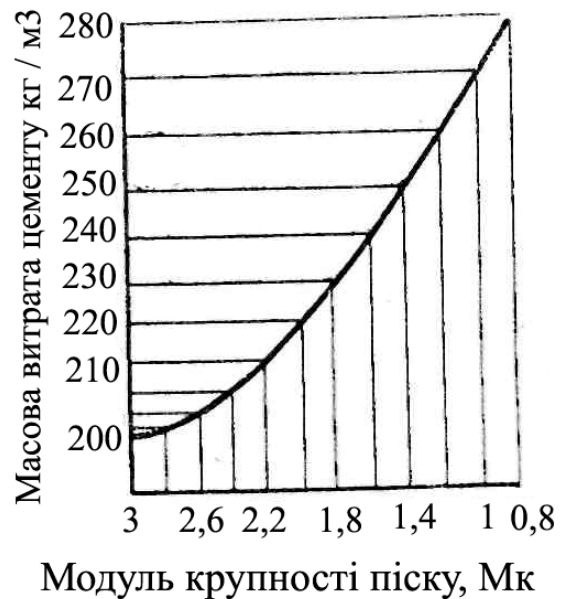
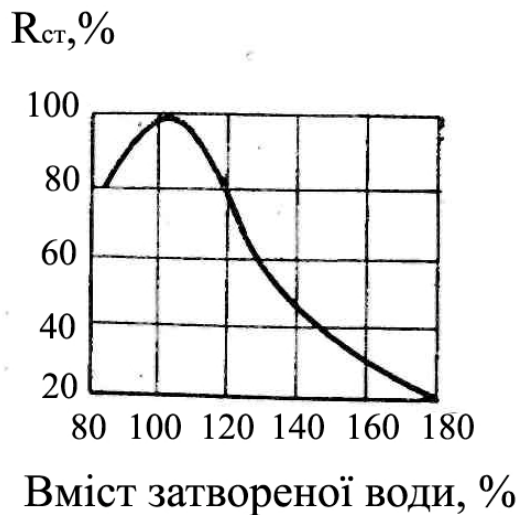


Рис. 3.4. Вплив кількості води затворення бетонної суміші на міцність бетону

Рис. 3.5. Витрата цементу для бетону марки М150 на пісках різної крупності

Великий вплив на міцність бетону надає співвідношення дрібного і крупного заповнювача. Оптимальним співвідношенням буде таке, при якому досягається найменша водопотреба при заданій легкоукладальності. Зазвичай для рухомої бетонної суміші співвідношення між дрібним і крупним заповнювачем визначають виходячи з повного заповнення пустот в крупному заповнювачі з деяким розсуненням зерен гравію або щебеню.

Зростання міцності бетону в часі можливо тільки при певних температурно-вологісних умовах, що виключають передчасне випаровування води з бетону (табл. 3.5). Чим раніше захищений бетон від висихання, тим вище кінцева міцність. Наростання міцності бетону при тепловій обробці залежить від температури ізотермічного процесу, виду застосовуваного цементу, його мінералогічного складу та питомої поверхні, значення водоцементного відношення в бетонній суміші і її жорсткості.

Таблиця 3.5

### Зростання міцності бетону на портландцементі

Вік бетону, доб	Відносна межа міцності при стисненні, %	Вік бетону, років	Відносна межа міцності при стисненні, %
7	60...70		
28	100	1	175
90	125	2	200
180	150	4...5	225

Опір бетону розтягуванню і вигину залежить від тих же факторів, що і при стисканні. Міцність бетону при розтягуванні складає 0,06...0,11 міцності при стисненні. Міцність при згині трохи вище, ніж міцність при розтягуванні, і становить 0,1...0,2 міцності при стисненні.

**Усадка і розширення.** В процесі твердіння відбуваються об'ємні зміни бетону. Твердіння бетону на повітрі, за винятком бетонів на безусадкових цементах і тих, що розширюються, супроводжується зменшенням об'єму, тобто усадкою. При твердінні бетону в воді спочатку обсяг його дещо збільшується, але в більш пізні терміни набухання припиняється і починається усадка. Велику усадку мають бетони з жирних сумішей, на швидкотверднучих високомарочних цементах і з дрібними пористими заповнювачами, що містять велику кількість води замішування.

Особливо велика усадка, в початковий період твердіння, що досягає за першу добу 60...70% місячної усадки.

Усадка бетону на звичайному цементі при середній його витраті 250...300 кг/м<sup>3</sup> коливається в межах 0,1...0,3 мм/м. У дрібнозернистому бетоні усадка досягає 0,5 мм/м і більше. При незмінних температурно-вологісних умовах усадочні деформації стабілізуються протягом 1...1,5 року.

Усадка не нормується, але її необхідно враховувати, щоб уникнути розвитку в бетоні внутрішніх напружень, що викликають появу усадочних мікротріщин, що погіршують механічні властивості бетону та знижують його стійкість в агресивному середовищі і збільшують проникність.



Об'ємні зміни в бетоні можуть бути викликані нагріванням теплом, що виділяється при екзотеричних реакціях цементу з водою. Особливо значні температурні розширення бетону в масивних спорудах.

Зміна обсягу бетону може привести до значних деформацій конструкцій. Щоб запобігти появі тріщин, в великих бетонних конструкціях влаштовують деформаційні шви. Для зменшення екзотермії бетону застосовують цементи з малим виділенням тепла при твердінні.

**Водонепроникність** бетону визначається його щільністю. Щільність, а отже і водонепроникність бетону, підвищуються зі збільшенням витрати цементу при постійній витраті води або зі зменшенням водоцементного відношення за умови, що бетонна суміш залишається зручноукладеною. При заданій витраті цементу водонепроникність тим вище, чим краще гранулометричний склад заповнювачів, (чим менше їх порожнистість) і чим краще ущільнена, бетонна суміш при укладанні.

Високу водонепроникність характеризуються бетони на розширеному і глиноземистому цементі.

**Водопоглинання** бетону залежить від щільності його структури і відбувається при сорбційному зволоженні або безпосередньому контакті з водою в результаті капілярного підсосу вологи або проникнення її через відкриті пори. Для звичайного важкого бетону водопоглинання залежить від витрати цементу і водоцементного відношення і становить 4...8% маси.

**Морозостійкість.** При заморожуванні бетону в насиченому водою стані в ньому виникають розтягуючі напруження внаслідок збільшення обсягу води при замерзанні приблизно на 10%, так як щільність льоду (0,917) менше щільності води. Величина цих напруг може перевершити власну міцність бетону на розтяг, що призводить до порушень його монолітної будови і до утворення волосяних тріщин. При подальшому насиченні бетону водою і заморожуванні, утворення льоду в мікротріщинах призводить до подальшого порушення структури бетону і зниження його міцності. Морозостійкість бетону тим вище, чим більше його щільність. При застосуванні морозостійких заповнювачів морозостійкість бетону визначається морозостійкістю цементного каменю. Зі збільшенням водоцементного відношення зменшується щільність і міцність цементного каменю, а отже, знижується його морозостійкість.

#### **3.4.5.2. Класифікація бетонів**

Бетони класифікують за такими ознаками: по щільності заповнювача, виду в'язучої речовини, крупності заповнювача, міцності, морозостійкості, призначенню.

Основну класифікацію бетонів виробляють по щільності, що залежить, головним чином, від щільності цементного каменю, виду заповнювачів і структури бетону.

З цим пов'язані основні властивості бетону – міцність, морозостійкість, водонепроникність, теплопровідність і ін. За щільністю великих заповнювачів бетони поділяються на п'ять видів:

1) особливотяжкі, що містять такі важкі заповнювачі, як сталеві тирсу або зерна (стальбетон), залізні руди або барит (баритовий бетон); щільність цих бетонів, вище  $2600 \text{ кг/м}^3$ ;

2) важкий (звичайний), що містить щільні заповнювачі (кварцовий пісок, щебінь або гравій з щільних кам'яних порід); щільність цього бетону  $2100...2600 \text{ кг/м}^3$ ;

3) полегшений, наприклад, з цегляним щебенем або великопористий (беспісчаний); щільність  $1800...2000 \text{ кг/м}^3$ ;

4) легкий, що містить пористі наповнювачі (шлак, пемзу, туф і тощо), звичайної щільної структури або великопористий; його щільність  $1200...1800 \text{ кг/м}^3$  (частіше  $1300...1500 \text{ кг/м}^3$ );

5) особливо легкий, дуже пористий, пористий (пінобетон, газобетон) або великопористий з легкими заповнювачами; щільність менше  $1200 \text{ кг/м}^3$  (частіше  $500...800 \text{ кг/м}^3$ ).

Залежно від виду в'язучих речовин бетони підрозділяються на цементний, цементно-полімерний, силікатний (на вапна), шлаколушний і інші види бетону.

**Бетон** – один з основних будівельних матеріалів. Він цінний тим, що йому можна надавати найрізноманітніші властивості, змінюючи в широких межах міцність, щільність, теплопровідність, і виготовляти з нього збірні конструкції, вироби і монолітні споруди різної форми та призначення. Бетон широко використовують в цивільному, промисловому, гідротехнічному, теплоенергетичному, дорожньому і інших видах будівництва.

Залежно від застосування розрізняють бетони: *звичайний* - для залізобетонних конструкцій (фундаментів, колон, балок, перекриттів, склепінь, мостів і тощо); *гідротехнічний* - для гребель, шлюзів, облицювання каналів, водопровідно-каналізаційних споруд і тощо; *бетон для стін будівель* (головним чином, легкий бетон) і легких перекриттів; *теплоізоляційний особливо легкий* (піно-і газобетон); *бетон для підлог*, тротуарів, дорожніх і аеродромних покриттів; *спеціального призначення*, наприклад *кислототривкий, жаростійкий, непроникний для гамма-променів* і інші.

Нижче докладно розглядається важкий (звичайний) бетон, найчастіше вживаний в промисловому, гідротехнічному і дорожньому будівництві та гірничо-рудній промисловості.

### **3.4.5.3. Основні вимоги до бетонів і проектування складу бетону**

Залежно від призначення бетони повинні відповідати таким вимогам:

– бетони для звичайних залізобетонних конструкцій повинні мати задану міцність (головним чином, при стисненні), для споруд, що знаходяться на відкритому повітрі, крім того, важлива морозостійкість;

– бетони для гідротехнічних споруд повинні володіти високою щільністю, водонепроникністю, морозостійкістю, достатньою міцністю, малою усадкою, малим виділенням теплоти при твердінні, стійкістю проти витравлюючої дії фільтруючих вод і, в ряді випадків, стійкістю по відношенню до дії мінералізованих вод;

– бетони для стін опалювальних будівель і легких перекриттів повинні

мати невеликі щільність і теплопровідність, міцність відповідно до розрахунку;  
– бетони для підлог повинні характеризуватися малою зношуваністю і достатньою міцністю на вигин, а бетони для дорожніх і аеродромних покриттів – і морозостійкістю.

Крім того, до всіх бетонів і бетонних сумішей пред'являються наступні загальні вимоги: до затвердіння бетонні суміші повинні легко перемішуватися, транспортуватися і укладатися (володіти рухливістю і легко укладатися), нерозшаровуватися; бетони повинні мати певну швидкість затвердіння відповідно до заданих термінами розпалубки виробів або конструкцій; витрата цементу повинна бути мінімальною.

Отримати бетон, що задовольняє всім поставленим вимогам, можна при правильному підборі матеріалів, точному розрахунку складу, при механізованих способах приготування, укладання і ущільнення бетонної суміші, а також при правильному догляді за укладеним бетоном в початковий період його твердіння. У цей період, для прискорення твердіння бетону, часто застосовується штучна тепловологісна обробка.

Проектування складу бетону має на меті встановити таку витрату матеріалів на 1 м<sup>3</sup> бетонної суміші, при якому найбільш економічно забезпечується отримання зручноукладаючої бетонної суміші і заданої міцності бетону, а в ряді випадків, необхідної морозостійкості, водонепроникності і спеціальних властивостей бетону.

Склад бетонної суміші виражають у вигляді співвідношення по масі, рідше за обсягом (менш точно) кількості цементу, піску і щебеню (або гравію) із зазначенням водоцементного відношення. Кількість цементу приймають за одиницю. Тому в загальному вигляді склад бетонної суміші виражають співвідношенням цемент : пісок : щебінь = 1 : x : y при  $B/C = z$  (наприклад, 1:2,4:4,5 при  $B/C = 0,45$ ). На бетонних заводах, матеріали дозують по масі і склад бетону висловлюють у вигляді витрат матеріалів на 1 м<sup>3</sup> ущільненої бетонної суміші, наприклад, цементу 260, піску 700, щебеню 1260 кг і води 170 л.

Розрізняють два склади бетону: номінальний (лабораторний), що приймається для матеріалів в сухому стані, і виробничий (польовий) - для матеріалів з природною вологістю. До моменту розрахунку складу бетонної суміші потрібно визначити якість вихідних матеріалів, води, піску і щебеню (гравію) згідно з вимогами ГОСТів.

Склад важкого бетону зручно розраховувати за методом «абсолютних обсягів», розробленого проф. Б.Г. Скрамтаєвим і його школою. В основу цього методу покладено умову, що важкий бетон, ущільнений в свіжому стані, наближається до абсолютної щільності, тобто. сума абсолютних обсягів вихідних матеріалів в 1 м<sup>3</sup> дорівнює обсягу ущільненої бетонної суміші:

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{B}{\rho_b} + \frac{P}{\rho_n} + \frac{Щ(Г)}{\rho_{щ(г)}} = 1$$

де  $C, B, P, Щ(Г)$  – зміст цементу, води, піску і щебеню (гравію), кг, в 1 м<sup>3</sup>;  $\rho_c, \rho_b, \rho_n, \rho_{щ(г)}$  – щільність цих матеріалів, кг/м<sup>3</sup>.

Неточність, допущену в розрахунку, виправляють досвідченим шляхом, уточнюючи склад бетону за фактичною об'ємною масою пробного замісу.

Вихідними даними для розрахунку складу бетону є: задана марка бетону  $R_b$ ; характеристика бетонної суміші за ступенем рухливості, або жорсткості, а також характеристики вихідних матеріалів – активність  $R_6$  і щільність цементу, насипна маса і щільність піску і щебеню (або гравію) і порожнистість щебеню або гравію. У завданні, в залежності від умов, в яких буде перебувати бетон в спорудженні або конструкції, до бетону можуть пред'являти також і інші вимоги, наприклад ступінь морозостійкості, стійкості до дії агресивних вод, водонепроникності.

Склад бетону розраховують в наступному порядку:

- визначають цементно-водне відношення, що забезпечує отримання бетону заданої міцності;
- визначають витрату води;
- розраховують потрібну витрату цементу, а потім щебеню (або гравію) і піску;
- перевіряють рухливість (жорсткість) бетонної суміші; при відхиленні цих показників від проектних склад бетонної суміші коригують;
- готують зразки для визначення міцності та випробовують їх у визначені терміни;
- перераховують номінальний склад бетонної суміші на виробничий.

**Витрати води.** Оптимальна кількість води, л, на  $1 \text{ м}^3$  бетонної суміші (водоутримання) має забезпечувати, необхідну рухливість (або жорсткість) бетонної суміші. Орієнтовно його встановлюють за даними табл. 3.6, в якій враховується також якість вихідних матеріалів.

Для гарного укладання відношення  $V / Ц$  застосовують  $0,4...0,7$  (для хімічної взаємодії досить  $0,15...0,2$ ). Надлишкова вода, що не вступила у взаємодію з цементом випаровується з бетону, утворюючи пори, що веде до зниження щільності і, відповідно, міцності бетону. Виходячи з цього, міцність бетону можна підвищити шляхом зменшення водоцементного відношення і посиленого ущільнення.

**Витрата цементу.** За певним з формули значенням  $V/Ц$  і прийнятої за табл. 3.6 водопотреби, бетонної суміші розраховують орієнтовну витрату цементу, кг, на  $1 \text{ м}^3$  бетону, по формулі:

$$Ц = \frac{Ц}{V} B.$$

Витрата цементу на  $1 \text{ м}^3$  бетону повинна бути не менше мінімальної, що допускається СНиП 1-В.3-62. Якщо витрата цементу виявиться нижче тієї що допускається, то необхідно довести його до норми або ввести тонкомолоту добавку.

## Водовміст бетонної суміші

Характеристика бетонної суміші		Водовміст бетонної суміші, л/м <sup>3</sup> , при величині гравію, мм		
осадка конусу, см	зручноукладність, с	10	20	40
0	150...200	145	130	120
0	90...120	150	135	125
0	60...80	160	145	130
0	30...50	165	150	135
0	15...30	175	160	145
1		185	170	155
2		190	175	160
3		195	180	165
5		200	185	170
7		205	190	175
8		210	195	180
10		215	200	185

**Витрата заповнювачів.** Для визначення витрати піску і щебеню (гравію) задаються двома умовами:

1) сума абсолютних обсягів усіх складових частин бетону, л, дорівнює 1 м<sup>3</sup> (1000 л) ущільненої бетонної суміші:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ(\Gamma)}{\rho_{щ(\varepsilon)}} + B = 1000.$$

2) цементно-піщаний розчин заповнить порожнечі в крупному заповнювачі з деяким розсуненням зерен, тобто

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + B = V_{пуст.щ(\varepsilon)} \frac{Щ(\Gamma)}{\rho_{н.щ(\varepsilon)}} \alpha,$$

де  $V_{пуст.щ(\varepsilon)}$  – пустотність щебеню (гравію) в стандартному пухкому стані (в формулу підставляють у вигляді відносного значення);  $\rho_{н.щ(\varepsilon)}$  – насипна маса щебеню (гравію), кг/л;  $\alpha$  - коефіцієнт розсунення зерен щебеню; для жорстких сумішей  $\alpha = 1,05...1,1$ ; для рухливих сумішей  $\alpha = 1,25...1,4$  і більше; коефіцієнт  $\alpha$  називають ще коефіцієнтом надлишку розчину.

Вирішуючи спільно ці два рівняння, знаходимо формулу для визначення потреби в щебені (або гравії):

$$Щ(\Gamma) = \frac{1000}{V_{пуст.щ(\varepsilon)} \frac{\alpha}{\rho_{н.щ(\varepsilon)}} + \frac{1}{\rho_{щ(\varepsilon)}}}.$$

Після визначення витрати щебеню (гравію) розраховують витрату піску, кг, на 1 м<sup>3</sup> як різниця між проєктованим обсягом бетонної суміші та сумою абсолютних обсягів крупний заповнювача, цементу і води:

$$P = \left[ 1000 - \left( \frac{Ц}{\rho_{ц}} + B + \frac{Щ}{\rho_{щ}} \right) \right] \rho_n.$$

При застосуванні повітрязалучаючих добавок враховують кількість залученого повітря.

Якщо щебінь (гравій) складають з декількох фракцій, то необхідно заздалегідь встановити оптимальне співвідношення між ними, користуючись графіком найкращого зернового складу або підбираючи суміш з мінімальною кількістю порожнеч.

**Перевірка рухливості бетонної суміші.** Після попереднього розрахунку складу бетону роблять пробний заміс і визначають осадку конуса або жорсткість. Якщо бетонна суміш вийшла менш рухомою, ніж потрібно, то збільшують кількість цементу і води без зміни цементно-водного відношення. Якщо рухливість буде більше необхідної, то додають невеликими порціями пісок і великий заповнювач, зберігаючи відношення їх постійним. Таким шляхом домагаються заданої рухливості бетонної суміші.

**Уточнення розрахункового складу бетону.** Розрахунковий склад бетону уточнюють на пробних замісах. Для цього проводять досвідчені замішування бетону при трьох значеннях водоцементного відношення, у тому числі одне приймають розрахунковим, а два інших відповідно більше і менше на 10...20%. Кількість цементу, води, піску і щебеню (гравію) для бетону з водоцементним відношенням, не рівним розрахунковому, визначають за описаним вище методом. З кожного замісу бетонної суміші готують, по три зразка-куба розміром 20×20×20 см, які витримують в нормальних умовах і випробовують у віці 28 діб при визначенні марки бетону (або в інші терміни). За результатами випробувань будують графіки залежності міцності бетону від цементно-водного відношення, за якими вибирають значення Ц/В, що забезпечує отримання бетону заданої марки. При пробних замісах перевіряють також рухливість або жорсткість бетонної суміші (вона повинна задовольняти проектній), визначають об'ємну масу і, за результатами випробування пробних замісів, вносять відповідні корективи в розрахований склад бетону, піску і щебеню (гравію). При цьому враховують вологість наповнювачів. Кількість вологих заповнювачів змінюють настільки, щоб вміст у них сухого матеріалу дорівнював розрахунковому, а кількість введеної в заміс води зменшувалася на значення, рівне вмісту води в заповнювачах.

При перемішуванні бетонної суміші дрібні зерна компонентів її розташовуються в пустотах між великими зернами, пісок розташовується в пустотах між щебенем (гравієм), а пустоти в піску заповнюються цементним тістом. Обсяг бетонної суміші тому буде завжди менше, ніж сума насипних обсягів складових його сухих матеріалів. У зв'язку з цим вводять поняття "коефіцієнт виходу бетону". Він дорівнює відношенню обсягу отриманої бетонної суміші  $V_{б.с}$  в ущільненому стані до суми насипних обсягів сухих вихідних компонентів:

$$\beta = \frac{V_{б.с}}{V_{ц} + V_{п} + V_{щ(г)}}$$

де  $V_{ц}, V_{п}, V_{щ(г)}$  – насипні обсяги цементу, піску, щебеню (гравію), л.

Коефіцієнт виходу бетону – важлива техніко-економічна характеристика якості наповнювачів і бетону: чим він вищий, тим економічніше бетон. Зазвичай для крупнозернистих бетонів  $\beta = 0,67...0,7$ , а для дрібнозернистих  $\beta = 0,7...0,8$ .

Користуючись значенням  $\beta$ , розраховують потребу матеріалів на заміс бетономішалки певного обсягу (або для виконання заданого обсягу будівельно-монтажних робіт):

$$Ц_V = \frac{\beta V}{1000} Ц; B_V = \frac{\beta V}{1000} B;$$

$$П_V = \frac{\beta V}{1000} П; Щ_V(\Gamma_V) = \frac{\beta V}{1000} Щ(\Gamma);$$

де  $Ц_V, П_V, Щ_V(\Gamma_V), B_V$  – відповідно кількість цементу, піску, щебеню (гравію), кг і води, л, необхідна на заміс бетономішалки об'ємом  $V$ , кг.

#### 3.4.5.4. Вибір цементу для бетону

При виборі цементу для бетону враховують вимоги, що пред'являються до бетону (міцність, морозостійкість, хімічна стійкість і інші), а також технологію виготовлення виробів. Марку цементу рекомендується вибирати в залежності від проектної марки бетону при стисканні:

Марка бетону:	M100	M200	M250	M300
Марка цементу:	300	300...400	400	400...500
Марка бетону:	M400	M500	M600 і вище	
Марка цементу:	500...600	600	600	

На практиці найбільш широко застосовують портландцемент марок 400...500. Приготування бетону з використанням більш високої марки цементу забезпечує його економію в середньому на 10...15% при підвищенні марки цементу на 10 МПа.

Для виготовлення морозостійких бетонів, а також бетонів, що піддаються сульфатній корозії, рекомендується застосовувати сульфатостійкий портландцемент. Для швидкотверднучого бетону використовують швидкотверднучий цемент (ШТЦ).

Для бетону збірних виробів і конструкцій рекомендується застосовувати цемент з підвищеним вмістом  $C_3S$  і  $C_3A$ , що забезпечують швидке твердіння в умовах тепловологісної обробки, застосовуваної на заводах збірного залізобетону для прискорення твердіння цементу.

#### 3.4.5.5. Заповнювачі для бетону

**Пісок.** Природний пісок, застосовуваний для виготовлення звичайного бетону, являє собою утворену в результаті вивітрювання гірських порід пухку

суміш зерен (розміром 0,14...5 мм) різних матеріалів, що входять до складу вивержених (рідше осадових) гірських порід. При відсутності придатного природного піску виготовляють штучний пісок шляхом дроблення твердих гірських порід, але цей пісок коштує набагато дорожче.

Найчастіше зустрічаються кварцові піски з домішкою польового шпату, листочків слюди і зерен інших мінералів, рідше – полешпатові, вапнякові та інші піски. Кварцові піски придатні для бетону будь-яких марок. Решта пісків, особливо вапнякові та черепашкові, повинні бути попередньо перевірені на міцність в розчині або бетоні необхідної марки.

За умовами залягання піски поділяють на *річкові, морські та гірські (ярові)*.

У більшості випадків зерна річкового і морського піску стираються при перенесенні водою і мають, тому, округлу форму. Зерна гірських (ярових) пісків, навпаки – гострокутні. Річкові і морські піски зазвичай чистіші, тобто містять менше глинистих і органічних домішок, ніж ярові. У морському піску часто є домішки вапнякових зерен і уламків раковин, які легко руйнуються і можуть знизити міцність бетону.

Бажано застосовувати пісок з гострокутними зернами, так як він краще зчіплюється з цементним каменем, надаючи бетону велику міцність. У той же час цей пісок повинен бути якомога чистішим. Оскільки промивка піску складна і дорога, зазвичай вважають за краще річковий пісок. Взагалі ж вибір піску для бетону проводиться завжди з урахуванням всіх його властивостей і вартості.

Для звичайного бетону вимоги до природного піску наступні:

а) зміст в піску зерен, що проходять через сито 0,14 мм, не повинно перевищувати 10%, а вміст глинистих, мулистих і пилоподібних домішок, які визначаються відмулюванням, не повинно перевищувати 3% по масі. Найбільш шкідлива домішка глини, огортаючої зерна піску, так як вона перешкоджає зчепленню з цементним каменем. Від цієї глини пісок можна звільнити тільки ретельним промиванням;

б) органічні домішки (гумусові і інші) допускають тільки в самій невеликій кількості, так як вони у взаємодії з органічними кислотами, знижують міцність і навіть руйнують цемент.

**Великими наповнювачами** в бетоні є *гравій, щебінь*, а також *щебінь з гравію*.

**Гравій** являє собою зерна розмірами 5...70 мм, що мають округлу, окатану форму і гладку поверхню. Зазвичай в гравії міститься певна кількість піску; при вмісті піску 25...40% матеріал називають піщано-гравійною сумішшю.

**Щебінь** отримують дробленням гірських порід на шматки розмірами 5...70 мм. Зерна щебеню мають кутасту форму і більш розвинену, ніж у гравію, шорстку поверхню. Завдяки цьому зчеплення з цементним каменем у щебеню вище, ніж у гравію. Для високоміцного бетону краще застосовувати щебінь. Для бетонів середньої міцності буває вигідніше застосовувати дешевий місцевий гравій, а не привізний щебінь.



Для характеристики зернового складу крупного заповнювача необхідно знати його найбільшу і найменшу крупність. Найбільша крупність заповнювача  $D$  відповідає розміру отворів стандартного сита, на якому повний залишок ще не перевищує 10% по масі. Найменша крупність  $d$  визначається розміром отворів першого з сит, повний залишок на якому перевищує 95%, тобто через нього проходить не більше 5% проби, яку просівають. Найменша крупність зазвичай дорівнює 5мм.

Для того щоб заповнювач при бетонуванні рівномірно, без зависань, розподілявся в обсязі конструкції, його найбільшу крупність потрібно призначати з урахуванням виду і розмірів конструкції і густоти армування.

При бетонуванні плит найбільша крупність зерен заповнювача повинна бути не більше половини товщини плити. Для бетонної суміші, що укладається в ковзаючу опалубку, розмір зерен заповнювача приймають не більше  $\frac{1}{2}$  найменшого розміру поперечного перерізу конструкції. У залізобетонних конструкціях найбільша крупність заповнювача повинна бути не більше  $\frac{3}{4}$  найменшої відстані у світлі між стержнями арматури. Крупність заповнювачів в бетонних сумішах, що подаються по хоботах і віброхоботах, повинна бути не більше  $\frac{1}{3}$  їх діаметра.

Щебінь і гравій застосовують, як правило, фракціонованим, для чого їх поділяють на фракції 5...10, 10...20, 20...40 і 40...70 мм. При необхідності складають суміш з двох-трьох фракцій. Зерновий склад кожної фракції заповнювача, що забезпечує мінімальну витрату цементу в бетоні, повинен відповідати наступним вимогам:

Розмір отворів контрольних сит	Повний залишок на ситах, % по масі
$d = 5(3)$ мм	95...100
$d = 10$ мм і більше	90...100
$0,5(d+D)$ для одної фракції	40...80
$0,5(d+D)$ для суміші фракцій	50...70
$D$	0...10
$1.25D$	0

У великих заповнювачах, як і в піску, обмежують вміст глинистих, мулистих і пилоподібних частинок, до яких відносять зерна розміром не більше 0,05 мм. У гравії таких частинок має бути не більше 1...2% по масі, в щебені – не більше 1...3%, в тому числі глини в грудках – не більше 0,25%.

Міцність великих заповнювачів нормують з урахуванням міцності бетону. Так, міцність щебеню з природного каменю повинна бути вище міцності бетону хоча б в 1,5...2 рази. У всіх випадках межа міцності щебеню із вивержених гірських порід повинен бути не нижче 80, з метаморфічних порід – не нижче 60, з осадових порід – не нижче 30 МПа.

#### **3.4.5.6. Вода. Домішки до бетону**

В технології бетонних робіт воду використовують для наступних цілей:

- 1) приготування бетонних і розчинних сумішей;

- 2) поливання конструкцій в процесі твердіння бетону;
- 3) промивання заповнювачів.

Якість води оцінюють за змістом шкідливих домішок, які можуть перешкоджати нормальному схоплюванню і твердінню в'язучої речовини, або викликають появу в структурі бетону новоутворень, що зменшують його міцність і довговічність.

**Водневий показник води** (рН) повинен знаходитися в межах від 4 до 12,5, тобто може допускатися вода, що дає слабокислу або слаболужну реакцію. Шкідливими домішками у воді вважаються органічні речовини, розчинні солі, особливо ті, що містять іони  $\text{SO}_4^{2-}$  і  $\text{Cl}^{1-}$ , а також зважені частинки глини, пілу, піску, ґрунту.

Неприпустимі в воді домішки *нафтопродуктів, масел, жирів*. Ці речовини можуть осідати на поверхні цементних часток, сповільнюючи їх гідратацію; якщо ж вони адсорбуються на зернах наповнювачів, то перешкоджають утворенню міцного контакту з цементним каменем і тим самим зменшують міцність бетону. Для того щоб довести міцність бетону до проектної, потрібно в цьому випадку збільшити витрату цементу, що викличе необґрунтоване подорожчання бетону. Простіше і дешевше використовувати чисту воду, на поверхні якої немає плівки масел, нафтопродуктів або жирів.

Таким чином, для замішування бетонної суміші і поливання бетону, що твердіє можна без попередньої перевірки застосовувати питну воду, а також річкову, озерну воду або воду з штучних водойм, які не забруднені стічними викидами, солями і маслами.

Морська вода містить розчинні солі, сульфатіони і хлоріони у великій кількості. Її вживають для замішування бетону масивних неармованих конструкцій лише в тих випадках, коли на їх поверхні допускається поява висолів.

Болотні і стічні (побутові і промислові) води не можна застосовувати без їх очищення. Крім того, на використання стічних вод повинно бути обов'язково отримано дозвіл санепідемстанції.

З розвитком технології бетону все більшого поширення набувають різного роду добавки, які покращують властивості бетонної суміші і підвищують якість затверділих бетонів і будівельних розчинів.

Залежно від функціонального призначення і досягаючого ефекту розрізняють добавки, що регулюють *реологічні властивості бетонних сумішей, схоплювання бетонних сумішей і твердіння бетонів, пористість бетону*, надають бетону спеціальні властивості, що скорочують витрату цементу, добавки поліфункціонального дії.

Добавки для регулювання реологічних<sup>1</sup> властивостей бетонних сумішей поділяють на пластифіцитуючі, стабілізуючі і водоутримуючі.

**Пластифікуючими** називають добавки, що збільшують рухливість (або знижують жорсткість) бетонних сумішей без зниження міцності бетону. Пластифіцитуючі добавки являють собою поверхнево-активні речовини.

---

<sup>1</sup> Реологія – наука о деформаціях і перебігу речовини

Найбільше застосування отримала добавка ЛСТ – лігносульфонати технічні (колишня назва СДБ). Поставляється зазвичай в рідкому вигляді, іноді – в твердому, легко розчиняється у воді. Для пластифікації бетонних сумішей її вводять в невеликій кількості – від 0,1 до 0,5% маси цементу. У розрахунку на 1 м<sup>3</sup> бетону витрата добавки становить зазвичай 0,5...1 кг.

Особливо ефективно використовувати цю добавку в жирних бетонних сумішах, тобто сумішах з великим вмістом в'язучої. При введенні ЛСТ та інших пластифікуючих добавок можна вирішити одну з наступних задач:

1) поліпшити легкоукладальність бетонної суміші при збереженні витрати цементу і міцності бетону;

2) зменшити витрату води, а витрату цементу залишити колишньою; при цих умовах міцність бетону збільшиться;

3) зменшити витрату води і цементу при збереженні колишньої легкоукладальності, при цьому міцність бетону залишиться незмінною, але витрата цементу скоротиться на 8...10%.

У цьому велике значення пластифікуючих добавок: вводячи їх до складу бетону в невеликих кількостях, вони покращують легкоукладальність суміші і тим самим знижують витрати праці і енергії на бетонних роботах; в той же час вони дозволяють отримати істотну економію цементу.

Вітчизняна промисловість почала випускати добавки нового типу – *суперпластифікатори*. У більшості це синтетичні полімерні матеріали, що вводяться в бетонну суміш в кількості 0,2...1,2% від маси цементу. На відміну від традиційних добавок суперпластифікатори мають більш сильну розріджуючу дію і не уповільнюють твердіння бетону.

Суперпластифікатор «10-30» випускають на базі похідних смоли меламіну; супер пластифікатори «40-03» та НСП є похідними нафталінсульфоокислоти, а добавки «ОП-7», «20-03», СПД виробляють з використанням вторинних продуктів хімічного синтезу.

Різко збільшуючи рухливість бетонних сумішей, суперпластифікатори полегшують їх транспортування і укладання. При необхідності зберегти рухливість скорочують витрати води в бетонній суміші, а це дозволяє отримати бетон з високою міцністю (до 80 МПа). Досить ефективні суперпластифікатори при перекачуванні сумішей бетононасосами.

Розглянуті добавки поверхнево-активних речовин можна використовувати, в якості стабілізуючих (попереджувальних розшарування) і водоутримуючих (зменшують водовиділення бетонних сумішей).

*Добавки.* Серед добавок, що регулюють схоплювання бетонних сумішей і твердіння бетонів, виділяють: *прискорюючі* або *сповільнюючі схоплення*; *прискорюють тверднення*; *протиморозні*.

У практиці виробництва бетонних робіт часто виникає необхідність в прискоренні або уповільненні схоплювання і твердіння бетону. Наприклад, при зведенні споруд з монолітного бетону та залізобетону для інтенсифікації темпів бетонування треба, щоб бетон швидше набирив опалубну міцність. Висока швидкість затвердіння бетону потрібна і при аварійно-відновлювальних роботах.

У той же час нерідкі випадки, коли схоплювання бетонної або розчинної суміші навмисно уповільнюють, наприклад, під час перевезення в автосамосвалах на великі відстані, перекачуванні бетононасосами, укладанні бетону в жарку погоду.

На практиці частіше використовують такі прискорювачі твердіння бетону: хлорид кальцію  $\text{CaCl}_2$ , сульфат натрію  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , нітрити кальцію  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  і натрію  $\text{NaNO}_3$ . Нерідко застосовують і багатокомпонентні добавки: нітрит-нітрат кальцію, нітрит-нітрат-хлорид кальцію та інші.

Дія прискорювачів пояснюється тим, що вони знижують розчинність  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , що виділяється при гідратації цементу; це призводить до подальшої гідратації клінкерних мінералів і збільшує в кінцевому підсумку кількість новоутворень в цементному камені. В результаті міцність бетону, що містить добавку-прискорювач, в перші 3...7 діб твердіння значно більше, ніж міцність бетону без добавки.

З сповільнювачів схоплювання найкраще застосовувати добавки, що зменшують одночасно водопотребу і витрату цементу, а також пластифікуючі бетонні суміші. В цьому відношенні хороші результати дають органічні речовини (ЛСТ) і кремнійорганічні рідини ГКЖ-10 і ГКЖ-11.

#### **3.4.5.7. Важкий бетон**

**Важким** називають бетон щільної (зливої) структури, що готується на цементному в'язкому, щільних дрібному і великому заповнювачах. Це – характерний представник матеріалів конгломератного (складеного) типу, що включає в себе свідомо різнорідні компоненти – зерна заповнювача, скріплені в'язкою речовиною.

У структурі бетону чітко виділяється три елементи: заповнювач, цементуюча речовина і зона контакту між ними.

Характер макроструктури залежить від співвідношення між компонентами і однорідності їх розподілу в бетоні. Слід враховувати також повітряні порожнечі, що виникають через недоуцільнення бетонної суміші, і усадочні тріщини, які можуть утворитися в процесі твердіння в цементуючій речовині і контактній зоні (рис. 3.6).

Якщо об'ємна частка цементуючої речовини відносно мала, то бетон характеризується так званим контактним розташуванням зерен заповнювача. У цьому випадку зменшується ймовірність утворення тріщин в тонких прошарках цементуючої речовини. При збільшенні витрати цементу зростає обсяг цементуючої речовини і, як наслідок, товщають прошарки між зернами заповнювача – виникає структура з плаваючим розташуванням зерен.

Важкі бетони підрозділяються на *пластичні*, що укладаються в форму (опалубку) при помірному ущільненні, і *жорсткі*, укладання яких вимагає механічного ущільнення.

Марки бетону характеризуються межею міцності бетонного зразка-куба розміром 150 150 150 мм після 28 діб тверднення в нормальних умовах і позначаються М 50, М 75, М 100, М 150, М 200, М 250, М 300, М 350, М 400, М 450, М 500, М 550, М 600, М 700, М 800.

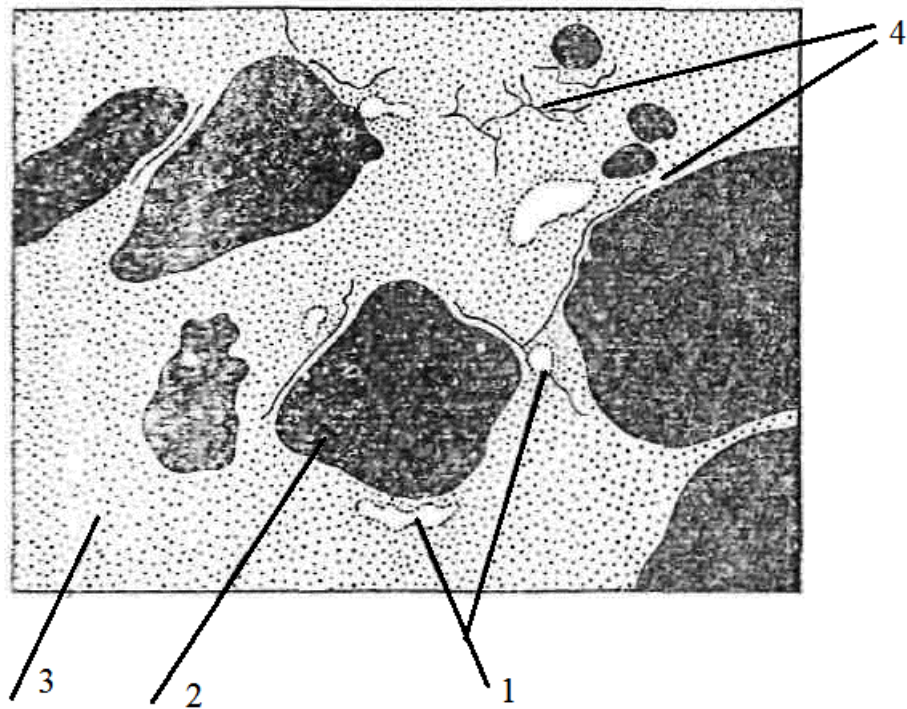


Рис. 3.6. Фрагмент макроструктури розчинної частини бетону:  
 1 – повітряні порожнечі; 2 – дрібний заповнювач; 3 – цементуюча речовина; 4 – усадочні тріщини

Міцність бетону при випробуванні зразків інших розмірів повинна бути приведена до міцності куба з ребром 200 мм шляхом множення отриманих даних на коефіцієнт по ГОСТ 10180-76.

Оцінка міцності і однорідності бетону на будівництві і на заводах товарного бетону здійснюється згідно з ГОСТ 18105-72. Відхилення від заданої проектної марки допускаються у виробництві тільки в бік збільшення міцності, але не більше ніж на 15%, так як надмірне збільшення міцності бетону тягне за собою перевитрату цементу і подорожчання бетону.

Суттєво впливає на зростання міцності бетону середовище, в якому він твердне. Нормальними умовами твердіння бетону вважаються відносна вологість повітря 90...100% і температура від + 5 до + 20 °С.

Витрата цементу для бетонів щільної структури повинна встановлюватися не нижче меж, наведених в табл. 3.7.

Мікроструктура характеризується складом і будовою твердої фази, об'ємом і характером пір, а також будовою контактної зони. Цементуюча речовина (цементний камінь) скріплює компоненти бетону в єдине ціле, тобто є мінеральним клеєм. Найважливішими якостями його є міцність і адгезія, тобто здатність до зчеплення з зернами заповнювача.

Приготування бетонної суміші включає операції дозування і перемішування складових матеріалів. Компоненти дозують по масі, зазвичай за допомогою автоматичних дозаторів. Відхилення від заданої маси при дозуванні на заміс не повинні перевищувати  $\pm 2\%$  для цементу, води і водних розчинів добавок і  $\pm 2,5\%$  для заповнювачів.

**Орієнтовні витрати цементу в бетонах для монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій**

Проектна марка бетоне	Норма витрати цементу на 1 м <sup>3</sup> бетону в щільному тілі, кг	
	для всіх конструкцій, крім тонкостінних	для тонкостінних конструкцій
М 50	160	–
М 75	180	–
М 100	225	–
М 150	250	280
М 200	270	300
М 300	320	350
Вище М 300	350	370

Компоненти перемішують в бетонозмішувачах періодичної або безперервної дії. Робочий цикл змішувача періодичної дії складається з наступних операцій: завантаження компонентів, перемішування їх в однорідну масу, вивантаження готової бетонної суміші. У змішувачах безперервної дії всі три операції проводяться безперервно; вони більш продуктивні, але не забезпечують точне дозування.

За принципом перемішування бетонозмішувальні апарати поділяють на гравітаційні і з примусовим перемішуванням. Гравітаційні бетонозмішувачі виконані у вигляді барабана, що обертається навколо осі. Частилки суміші піднімаються на деяку критичну висоту, потім падають і, володіючи значною кінетичною енергією, впроваджуються в бетонну суміш в нижній частині барабана змішувача. Тим самим досягається ефект перемішування.

Гравітаційні змішувачі виявляються малоприсадибними для перемішування жорстких бетонних сумішей; в таких випадках застосовують машини примусового перемішування. У змішувальній чаші, що здійснює 6...7 об/хв, встановлені лопаті, що обертаються в бік, протилежний обертанню чаші. Компоненти суміші піддаються примусовому переміщенню по вельми складних траєкторіях, завдяки чому і отримують однорідну бетонну суміш. Тривалість змішування крупнозернистих сумішей зазвичай 2...3 хв, дрібнозернистих 3...5 хв. Готова суміш вивантажується через люк в днищі чаші.

**Ущільнення бетонної суміші** має на меті щільне укладання її в форму (опалубку). Ущільнений бетон повинен мати однорідну структуру і тримати повітряні порожнечі (нещільність) в мінімальному обсязі.

Бетонні суміші вимагають для ущільнення тим більших енергетичних витрат, чим вище жорсткість суміші. Основний спосіб ущільнення – вібрація. При вібрації частки здійснюють вимушені коливання, в результаті яких послаблюються сили внутрішнього тертя і зчеплення між частинками.

Бетонна суміш приводиться в стан пластично-в'язкої течії і, подібно до важкої рідини, рівномірно заповнює форму.

Згідно з основним законом міцності бетону при більш сильному механічному ущільненні можна укласти бетонну суміш з меншим значенням  $V/C$  і отримати бетон більш високої міцності. Якщо ж міцність бетону залишити незмінною, то можна зменшити витрату цементу пропорційно скороченню кількості води замішування. Отже, інтенсивне ущільнення сприяє економії цементу.

За способом передачі коливань від вібратора до бетону розрізняють наступні прийоми вібрації бетонних сумішей:

а) суміш вібрують разом з формою, встановленою на віброплощині; даний спосіб широко використовують при заводському виробництві виробів;

б) коливання передаються бетонній суміші через пружні елементи опалубки (наприклад, через бічні стінки), на які навішені вібратори; навісні вібратори застосовують при виготовленні виробів на стендах і полігонах;

в) коливання передаються безпосередньо через верхню поверхню бетонної суміші за допомогою, так званих, поверхневих вібраторів;

г) коливання передаються за допомогою глибинних (внутрішніх) вібраторів, що занурюються безпосередньо в бетонну суміш.

Переносні поверхневі і глибинні вібратори застосовують для ущільнення монолітного бетону на будівельному майданчику.

За родом приводу і рушійною енергією вібратори підрозділяють на електромеханічні, електромагнітні і пневматичні. Найчастіше зустрічаються вібратори з електромеханічним приводом, в яких механічні коливання створюються в результаті обертання неврівноваженого вантажу, розташованого на осі електродвигуна, або поєднаного з ним за допомогою гнучкого валу.

На заводах залізобетонних виробів використовують ефективні комбіновані способи ущільнення бетонних сумішей: вібрація під вантажем, віброштампування, вібропрокату, пресування. Для виготовлення порожнистих залізобетонних виробів, форма яких наближається до поверхні обертання (труби, опори ЛЕП), застосовують ущільнення за допомогою відцентрових сил – центрифугування.

**Твердіння бетону і догляд за ним.** Покладена в опалубку бетонна суміш завдяки гідратації цементу мимовільно твердне. Задана проектом міцність досягається при певному догляді за твердіючим бетоном. Догляд полягає в створенні оптимального температурно-вологісного режиму твердіння і в захисті бетону від ударів і струсів, що можуть порушити ще не сформовану його структуру. Найважливішими факторами, що визначають міцність бетону на даному етапі, є температурно-вологістні умови і тривалість твердіння.

Твердіння бетону відбувається в теплому і вологому середовищі. При передчасному висиханні або замерзанні бетону взаємодія цементу з водою припиняється, що негативно позначається на структурі і властивостях бетону. Чим раніше захищений бетон від висихання, тим вище кінцева міцність. У нормальних умовах, тобто у вологому повітрі з температурою  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , межа міцності бетону при стисканні наростає пропорційно логарифму часу твердіння:

$$R_n/R_{28} = 1g_n/1g_{28},$$

де  $n$  – термін твердіння в добі ( $n > 3$ );  $R_{28}$  – межа міцності бетону в віці 28 діб.

Часто виникає необхідність прискорити твердіння. Для цього застосовують методи теплової обробки, що дозволяють підвищити температуру бетону при обов'язковому збереженні його вологості. В результаті підвищення температури швидкість взаємодії цементу з водою значно зростає, що призводить до збільшення міцності бетону в початкові терміни. Зазвичай в якості теплоносія застосовують пар або пароповітряну суміш з температурою 60...90 °С. Міцність бетону після пропарювання протягом 10...14 год досягає 70...75% від необхідної (рис. 3.7). Ще більш значно прискорює твердіння бетону обробка насиченим паром при тиску 0,8...12 МПа і температурі 175...190 °С, що здійснюється в герметичних апаратах – автоклавах. Однак таку обробку можна використовувати тільки в заводських умовах; вона пов'язана з подорожчанням виробів. Тому автоклавну обробку застосовують в тих випадках, коли звичайні методи прискорення твердіння неефективні, наприклад, для виробів з силікатних і пористих бетонів.

Для прискорення твердіння бетону застосовують також електропрогрів виробів, теплову обробку за допомогою інфрачервоного випромінювання. Випромінювачі нагріваються електричним струмом або газом. Промениста енергія, що виділяється ними поглинається стінками опалубки або безпосередньо виробом і акумулюється в бетоні у вигляді теплоти.

Для прискорення твердіння бетону застосовують також добавки-прискорювачі – хлорид кальцію та інші. Ефект досягається в початкові терміни твердіння, а до 28 діб міцність бетону виявляється такою ж, як і без добавок.

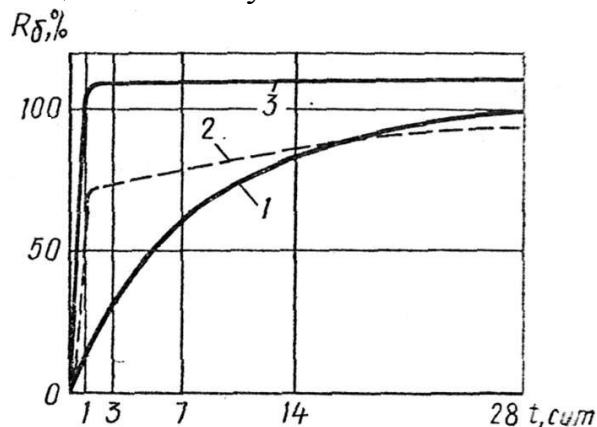


Рис. 3.7. Наростання міцності бетону:

- 1 - в нормальних умовах твердіння; 2 - пропареного при атмосферному тиску і температурі 85 °С; 3 - пропареного в автоклаві при тиску насиченої пари 0,8 МПа і температурі 175 °С

### 3.4.5.8. Легкі бетони

До легких відносять бетони з середньою щільністю не більше 2000 кг/м<sup>3</sup>. Середня щільність бетону залежить в основному від щільності і витрати заповнювачів, що займають більшу частину в його обсязі. Тому для полегшення бетону в його склад вводять наповнювачі, що відрізняються зниженою щільністю, або скорочують їх витрату. Додатковий ефект дає полегшення цементуючої речовини шляхом її поризації. У всіх випадках утворюється



структура, насичена повітряними порами, пустотами і осередками. Завдяки цьому легкі бетони набувають властивостей, що вигідно відрізняють їх від важкого бетону (наприклад, знижену теплопровідність).

За типом утворюючої структури розрізняють *легкий бетон на пористих заповнювачах, великопористі і поризовані бетони*.

У важкому бетоні наповнювачами служать гравій або щебінь з міцних гірських порід, середня щільність яких досягає 2600...2800 кг/м<sup>3</sup>. Якщо як заповнювач використовують легкі пористі матеріали природного або штучного походження, то отримують легкий бетон на пористих заповнювачах. Для виготовлення крупнопористого бетону зі складу навмисно виключають дрібний заповнювач (пісок), завдяки чому створюється значний обсяг зернових порожнеч. Такий бетон називають ще беспіщаний.

Можливо також отримання легкого бетону на пористому заповнювачі, в якому міжзерновий простір зайнято тістом в'язучого, насиченим дрібними повітряними осередками-порами. Такий матеріал називають поризованим легким бетоном.

Пористі заповнювачі, що входять до складу легкого бетону не тільки легше наповнювачів з щільних порід, а й мають ряд особливостей, що позначаються на властивостях легкобетонної суміші і затверділого бетону. У легкому бетоні застосовують мінеральні (природні, штучні) і органічні (вживаються набагато рідше) пористі заповнювачі.

Природні наповнювачі отримують шляхом дроблення і фракціонування пористих гірських порід магматичного або осадового походження: вулканічного туфу, пемзи, вапняного туфу, вапняку-черепашнику і деяких інших. Природні пористі заповнювачі є місцевими матеріалами; їх невикористання в легкому бетоні в основному обмежується районом родовища.

**Штучні пористі заповнювачі**, спеціально виготовлені і відходи промисловості, отримали набагато більшого поширення. До спеціально виготовлених пористих заповнювачів відносять: керамзит, аглопорит, спучений перліт, вермикуліт, шлакову пемзу, зольний гравій і інше. З відходів промисловості застосовують гранульовані металургійні шлаки, паливні шлаки і золи.

**Керамзит** - продукт випалення глини, що спучуються. Його отримують зазвичай у вигляді гранул округлої форми діаметром 5...40 мм (керамзитовий гравій). Цей легкий і міцний заповнювач з насипною щільністю не більше 600 кг/м<sup>3</sup> застосовують частіше за інші пористі заповнювачі: близько 80% легкобетонних конструкцій виготовляють на керамзитовому гравії.

**Керамзитовий пісок** отримують дробленням некондиційних зерен керамзитового гравію до крупності 0,16...5 мм або шляхом випалу сировини в підвішеному стані.

**Шлакову пемзу** виготовляють на металургійних заводах шляхом поризації шлакового розплаву при швидкому його охолодженні. Шматки шлакової пемзи дроблять і фракціонують, отримуючи пористий щебінь. Шлакова пемза - один з найдешевших пористих заповнювачів.

**Зольний гравій** отримують випалюванням окатаних гранул, що

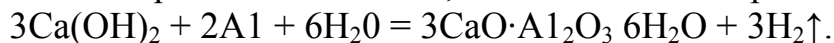
складаються з пилоподібної золи ТЕС з невеликою добавкою палива. Можливо також виготовлення безвипалювального зольного гравію, в якому окремі частинки золи скріплені в єдине ціле будь-якою в'язкою речовиною, наприклад портландцементом або гіпсо-цементно-пуцолановим в'язким.

#### **3.4.5.9. Газо- і пінобетон**

За способом утворення пористої структури розрізняють газо- і пінобетон. Для отримання газобетону вводять до складу сировинної маси газоутворювач (зазвичай алюмінієву пудру); осередкова структура пінобетону утворюється при механічному змішуванні тіста в'язучого зі стійкою піною. Переважне поширення набув газобетон, який відрізняється від пінобетону простотою технології та можливістю отримання виробів зі стабільними властивостями.

Для виготовлення газобетону і газосилікату вдаються до хімічного способу спучування. В результаті взаємодії добавки-газоутворювача і тіста в'язучого відбуваються хімічні реакції з виділенням газу, спучуючого пластичну суміш.

Найбільш широке поширення з усіх газоутворювачів отримала алюмінієва пудра, яка, реагуючи з гідроксидом кальцію, виділяє водень за рівнянням



Витрата алюмінієвої пудри для виготовлення  $1 \text{ м}^3$  газобетону при середній щільності  $600 \dots 700 \text{ кг/м}^3$  становить  $0,4 \dots 0,5 \text{ кг}$ . Продукція, що поставляється промисловістю пудра ПАП-1 покрита тонкою плівкою парафіну і тому не змочується водою. Для додання гідрофільних властивостей її обробляють водними розчинами поверхнево-активних речовин.

#### **3.4.5.10. Залізобетон**

**Залізобетон** являє собою будівельний матеріал, в якому поєднується робота бетону і сталі. Бетон, як і всякий кам'яний матеріал, добре чинить опір стискаючим навантаженням, але він крихкий і незначно протидіє розтягуючим напруженням.

Як зазначалося, міцність бетону при розтягуванні приблизно в  $10 \dots 15$  разів менше міцності його при стисненні. В результаті такої відмінності механічних властивостей бетон в чистому вигляді не вигідно використовувати для виготовлення конструкцій, в яких під навантаженням виникають розтягуючі напруження: така конструкція буде мати дуже велику вагу. Сталь же має дуже високу міцність при розтягуванні; під навантаженням на залізобетонний елемент вона сприймає на себе розтягуюче напруження.

Вигідніше застосовувати залізобетон для будівельних елементів, схильних до вигину. При спільній роботі таких елементів виникають дві протилежні напруги – розтягуюча і стискаюча. Сталь добре сприймає розтягуючі напруги, а бетон – стискаючі, і залізобетонний елемент в цілому успішно протистоїть згинаючим навантаженням і стисненню.

Внаслідок міцного зчеплення бетону зі сталеву арматурою обидва матеріали працюють спільно. Сталь і бетон мають майже однакові коефіцієнт температурного розширення, чим забезпечується повна монолітність залізобетону, крім того, бетон захищає сталь від корозійної дії газів і вологи,

захищає від корозії, так як він надійно ізолює арматуру.

Залежно від способу армування і стану арматури розрізняють залізобетонні вироби зі звичайною і попередньо напруженою арматурою. До перших видів залізобетонних виробів відносяться звичайні балки. Однак звичайний спосіб армування не оберігає розтягнуту зону балки від утворення тріщин, так як бетон володіє незначною розтяжністю (1...2 мм на 1 м), тоді як сталь при таких же навантаженнях розтягується в 5...6 разів більше бетону.

Через появу тріщин збільшуються прогини залізобетонного елемента, оскільки в тріщини проникають волога і газ, створюючи небезпеку корозії сталевих арматур.

Уникнути утворення тріщин в бетоні при експлуатаційних навантаженнях можна попереднім стисненням бетону, в місцях, схильних до розтягування. У стислому бетоні тріщини з'являються тільки в тому випадку, якщо напруження розтягу переростуть напруження попереднього стиснення.

Бетон стискають попереднім напруженням (розтягуванням) арматури.

Залежно від призначення збірні залізобетонні вироби підрозділяють на чотири основні групи: для житлових і громадських будівель, для промислових будівель, для інженерних споруд та вироби загального призначення.

#### **3.4.6. Будівельні розчини**

**Будівельні розчини** отримують в результаті затвердіння суміші в'язкої речовини, дрібного заповнювача і води. За складом розчини відрізняються від бетонів тільки меншою значущістю заповнювача, тобто по суті, це дрібнозернисті бетони. Тому загальні закономірності, характерні для бетону, в принципі, можна застосувати й до розчинів.

Однак при використанні розчинів треба враховувати дві особливості:

- 1) розчини укладають тонкими шарами (зазвичай 1...2 см), не застосовуючи при цьому спеціального механічного ущільнення;
- 2) розчини часто наносять на пористі основи (цеглу, бетон, легкі камені і блоки з пористих гірських порід), здатні сильно відсмоктувати воду.

Внаслідок цих особливостей розчин в тонкому шарі відразу після укладання піддається дії факторів, які можуть значно змінити його склад (в результаті відсмоктування води) і вплинути на кінцеві властивості. Це треба враховувати при визначенні складу розчинних сумішей.

За призначенням будівельні розчини бувають кладочні, оздоблювальні та спеціальні.

**Кладочні розчини** застосовують для скріплення елементів при кладці фундаментів, стін, стовпів, склепін з цегли або природного каменю, а також для монтажу великоблочних і великопанельних елементів.

**Оздоблювальні розчини** служать для штукатурення поверхонь конструкцій, влаштування вирівнюючих шарів, декоративного оздоблення лицьових поверхонь стінових панелей і блоків, фасадів і інтер'єрів будівель.

**Спеціальні розчини** ін'єкційні, жаростійкі, кислотостійкі, рентгенозахисні, акустичні застосовують у випадках, коли до конструкцій пред'являються особливі вимоги.

Залежно від виду заповнювача розчини підрозділяють на важкі (звичайні) і легкі. Відмітною ознакою їх служить середня щільність затверділого розчину в сухому стані (більш і менш 1500 кг/м<sup>3</sup>) в основному залежить від виду застосовуваного заповнювача.

По виду в'язучого розрізняють цементні, вапняні і змішані розчини. В'язучий вибирають відповідно до умов експлуатації конструкцій.

Будівельні розчини виготовляють, як правило, централізовано на автоматизованих розчинних заводах або вузлах і звідти доставляють на об'єкти у вигляді готових пластичних сумішей. При значній відстані будівельного об'єкта від заводу рекомендується виготовляти сухі розчинні суміші, які зачиняють водою на місці виконання робіт. Вологість сухих сумішей повинна бути не більше 1% за масою; їх постачають в упаковці, яка виключає можливість зволоження.

При кладці з каменів правильної форми основне значення має не марка скріплюючого розчину, а міцність каменів. Тому підбір складу будівельного розчину не вимагає такої точності, як визначення складу бетону. Склад розчинів зазвичай призначають, використовуючи готові таблиці, і коригують їх за результатами випробування в будівельній лабораторії. Зразкові склади розчинів вказані в табл. 3.8.

При використанні органічних пластифікаторів зазначені в таблиці склади коректують у бік зменшення витрат в'язучого, тобто вони будуть більш економічні. У той же час в розчині будь-якого складу має міститися така кількість в'язучого, яка забезпечує отримання зручнукладаючої суміші і затверділого розчину необхідної щільності, міцності і довговічності. Так, в цементно-вапняних розчинах для надземних конструкцій мінімальна витрата в'язучого на 1 м<sup>3</sup> піску встановлена 75 кг, а в розчинах для підземних конструкцій – 100 кг.

Таблиця 3.8

**Рекомендовані склади розчинів  
(цемент: вапняне тісто : пісок) (в ч. за обсягом)**

Марка в'язучого	Марки розчинів			
	25	50	75	100
<b>Цементно-вапняні розчини для надземних конструкцій</b>				
200	1:0,8:7	1:0,3:4		–
300	1:1,4:10,5	1:0,6:6	1:0,3:4	1:0,2:3,5
400	–	1:0,9:8	1:0,5:5,5	1:0,4:4,5
<b>Цементні розчини для підземних конструкцій</b>				
200	–	1:0:4	1:0:2,5	–
300	–	1:0:6	1:0:4	1:0:3
400	–	–	1:0:5,5	1:0:4,5

**Розчини для кам'яної кладки** і монтажу стін з панелей і великих блоків. Вид і склад розчинів залежить від розрахункових напруг і умов експлуатації кладки. Кладку надземних конструкцій, що працюють при невеликих напругах,

слід виконувати на розчинах, що містять дешеві місцеві в'язучі речовини: вапно, вапняно-шлакові, вапняно-пуцоланові в'язучі. У розчинах для кладки фундаментів, при наявності агресивних сульфатних вод, застосовують сульфатостійкі цементи, для монтажу великоблочних і великопанельних стін - портландцемент, шлакопортландцемент, а також портландцемент з органічними добавками. Рухливість розчинної суміші вибирають з урахуванням призначення розчину.

**Оздоблювальні розчини** ділять на *штукатурні* та *декоративні*. Застосування цих розчинів в будівельних умовах (тобто при оштукатурюванні мокрим способом) допускається як виняток, коли обгрунтована неможливість використання індустріальних методів обробки поверхонь. Для звичайних штукатурок найчастіше застосовують цементні, вапняні, цементно-вапняні і вапняно-гіпсові розчини.

**Вапняні розчини** добре зчіплюються з основою і відносно мало змінюються в обсязі при коливаннях температури і вологості навколишнього повітря. Ці розчини рекомендується застосовувати для штукатурення внутрішніх стін, перегородок, перекриттів в приміщеннях з відносною вологістю повітря менше 60%, а також зовнішніх стін, що не піддаються систематичному зволоженню. Вапняні розчини повільно тверднуть і довго просихають.

**Цементно-вапняні і цементні розчини** використовують для отримання міцних швидкотверднучих і водостійких штукатурок. Їх застосовують для штукатурення цоколів, карнизів, парапетів, зовнішніх стін та інших конструкцій, що систематично зволожуються при експлуатації.

**Вапняно-гіпсовими розчинами** штукатурять внутрішні дерев'яні та кам'яні стіни, а також зовнішні стіни в районах зі стійким сухим кліматом. Введення гіпсового в'язучого істотно збільшує швидкість затвердіння і міцність зчеплення вапняного розчину з основою, особливо дерев'яною.

Перед вживанням в справу штукатурні розчини обов'язково проціджують через сита, видаляючи сторонні включення і грудки непромішаного розчину.

**Гідроізоляційні розчини** для гідроізоляційних шарів стяжок та штукатурок зазвичай виготовляють склад 1:2,5 або 1:3,5 (цемент: пісок по масі), при цьому використовують цементи, що розширюються, сульфатостійкий портландцемент, звичайний портландцемент.

**Ін'єкційні цементні розчини** застосовують для заповнення каналів в попередньо напружених конструкціях і ущільнення бетону. Марка розчину повинна бути не нижче 300, тому використовують портландцемент марок 400...500. Для зменшення в'язкості суміші розчину вводять СДБ – 0,2% маси цементу.

**Тампонажні розчини** призначені для гідроізоляції свердловин, шахтних стволів і тунелів шляхом закриття водоносних ґрунтів, тріщин і пустот в гірських породах і заповнення закріпленого простору. В'язким в цих розчинах є спеціальний тампонажний портландцемент, а в агресивних водах – сульфатостійкий портландцемент.

**Рентгенозахистний розчин** готують на баритовому піску ( $\text{BaSO}_4$ ) граничної крупності 1,25 мм. В'язким є портландцемент або шлакопортландцемент. У нього вводять добавки, що містять легкі елементи (літій, бор і інші).

**Акустичні розчини** призначають в якості звукобирної штукатурки для зниження рівня шуму і отримання «безлунних» приміщень. В якості в'язучих використовують портландцемент, шлакопортландцемент, вапно, гіпс або їх суміші і каустичний магнезит. Заповнювачами є однофракційні піски крупністю 3...5 мм з легких пористих матеріалів: спученого перліту, пемзи, керамзиту, тому середня щільність розчину становить 600...1200 кг/м<sup>3</sup>. Кількість в'язучого і зерновий склад заповнювача в акустичних розчинах повинен забезпечувати відкриту (незамкнуту) пористість розчину.

### **3.4.7. В'язкі речовини і розчини, що застосовуються в гірничій промисловості**

Для виготовлення гірського кріплення застосовують тільки гідравлічні в'язучі, які можуть схоплюватися і тверднути як на повітрі, так і у воді. Кріплення підземних виробок зазвичай працює у вологих умовах, тому повітряні в'язучі (тверднуть тільки на повітрі) не застосовують. Для виготовлення збірного залізобетонного кріплення в заводських умовах застосовують автоклавну обробку виробів.

За мінералогічним складом та змістом добавок розрізняють наступні види цементів, що застосовуються для виготовлення кріплення: портландцемент (звичайний, сульфатостійкий, гідрофобний і пластифікований); шлакопортландцемент; пуццолановий портландцемент; цемент, що розширюється; водонепроникний безосадовий цемент.

Портландцемент – найбільш поширене в'язуче. Він являє собою тонкий порошок сірого кольору, отриманий в результаті спільного помелу клінкеру і деякої кількості гіпсу.

**Сульфатостійкий портландцемент** застосовують в тих випадках, коли потрібна підвищена стійкість кріплення проти руйнівної дії агресивних шахтних вод.

**Пластифікований портландцемент** дозволяє отримувати більш рухливі бетони, що володіють високим зручноукладанням, підвищеною морозостійкістю і водонепроникністю. Його отримують шляхом додавання до портландцементу при помелі пластифікуючих відповідних органічних речовин (сульфатно-спиртової барди та інші).

**Гідрофобний портландцемент** отримують шляхом введення в портландцемент при його помелі спеціальної гідрофобізуючої (надає властивість не змочуватися водою) поверхнево-активної добавки (милонафт, асидол і тощо). Гідрофобний цемент при перевезеннях і зберіганні навіть в дуже вологих умовах зберігає свої в'язучі властивості. Добавка, що міститься в ньому, надає пластифікуючу дію на бетонні або розчинні суміші, а також зменшує водонепроникність і підвищує корозійну стійкість бетону.

Звичайний, гідрофобний і пластифікований портландцемент випускають марок 300, 400, 500 і 600. Сульфатостійкий портландцемент випускають двох марок – 300 і 400.

**Шлакопортландцемент** отримують шляхом спільного помелу клінкеру портландцементу і доменного гранульованого шлаку або шляхом змішування тих же матеріалів подрібнених роздільно. Його застосовують для виготовлення збірного залізобетонного кріплення. Бетон на такому цементі твердне у воді і на повітрі, більш стійкий проти впливу шахтних вод. Марки шлакопортландцементу – 200, 300, 400 і 500.

**Пуцолановий портландцемент** відрізняється від шлакопортландцементу тільки тим, що в якості добавки використовують не шлак, а особливі активні мінеральні речовини (трепел, пемзу, туф та ін.). Бетон на пуцолановому портландцементі твердне у воді і у вологих умовах. Марки пуцоланового цементу ті ж, що і шлакопортландцементу.

**Глиноземистий цемент** – швидкотвердіюче гідравлічне в'язке, що отримується шляхом тонкого помелу глиноземистих шлаків або клінкеру, що містить значну кількість глинозему. Наростання марочної міцності йде інтенсивно і закінчується практично через три дні. Випускається трьох марок: 400, 500 і 600. Глиноземистий цемент розширюється при твердінні під водою. При твердінні на повітрі він на відміну від звичайного портландцементу не дає усадку, яка є однією з основних причин утворення тріщин в цементному камені. Вартість глиноземистого цементу значно (в 3...4 рази) перевищує вартість звичайного портландцементу, тому застосування його в гірничій справі обмежено.

**Цементи, що розширюються**, отримують спільним помелом клінкеру, глиноземистого цементу і гіпсу. Цемент, що розширюється застосовують там, де потрібно забезпечити водонепроникність кріплення або стиків в ньому. Цей цемент при замішуванні водою твердне, збільшуючись в обсязі, самоущільнюється, чим забезпечує водонепроникність. За тривалістю схоплювання розрізняють швидкосхоплюючий (водонепроникний цемент, що розширюється ВРЦ) і з уповільненим схоплюванням (гіпсоглиноземистий) цементи. Початок схоплювання швидкосхоплюючого цементу – не раніше 4 хв, кінець – не пізніше 10 хв. Цемент з уповільненим схоплюванням повинен мати початок схоплювання не раніше 20 хв, кінець – не пізніше 4 год.

**Водонепроникний безусадковий цемент** (ВБЦ) є швидкосхоплюючим (початок схоплювання 1 хв, кінець – 5 хв) і швидкотвердіючим в'язким, одержуваним шляхом змішування тих же компонентів, що і при виробництві цементів, що розширюються, але в інших співвідношеннях. Безусадковий цемент застосовують при влаштуванні гідроізолюючої торкретбетонної оболонки кріплення для припинення фільтрації через неї води.

Для кріплення підземних виробок набризкбетоном, що наноситься на стінки виробки за допомогою стиснутого повітря, створені спеціальні види сульфатостійкого швидкосхоплюючого (2...5 хв) і швидкотверднучого цементу, при якому міцність бетону, що дорівнює 5...7 МПа, досягається у віці 2 год. Застосування такого цементу спрощує технологію зведення кріплення, дозволяє кріпити обводнені виробки.

**Силікатне (безцементне) в'язуче** за складом є вапняно-кремнеземистим. В якості одного з компонентів цього в'язучого застосовують будівельне вапно, в якості другого – мелений пісок. На відміну від цементу твердіння в короткі терміни зачиненого водою силікатного в'язучого можливо тільки при автоклавній обробці в умовах насиченого пара з досить високою температурою (175...190°) і тиском 0,9...1,3 МПа. Цей вид в'язучого можна застосовувати для виготовлення в заводських умовах таких елементів кріплення, як бетоніти, посадочні тумби і тощо.

**Розчини**, що застосовуються в якості кріпильного матеріалу, є правильно підібрані суміші, що складаються з цементу, піску і води. Розчини застосовують в пластичному стані при кам'яній кладці, торкретуванні стінок виробки, тампонування пустот за кріпленням, для закріплення штанг анкерного кріплення і при інших процесах. Маркою розчину називають міцність на стиск кубиків зі стороною 7 см через 28 днів після виготовлення. Для гірського кріплення застосовують розчини марок 100, 75 і 50. Істотним показником якості розчину є його легкоукладальність, тобто здатність суміші укладатися тонким однорідним шаром. При невеликому обсязі робіт розчин готують вручну, а при значному обсязі робіт – в розчиномішалках. Готують також сухі розчинні суміші в упаковці, які перед застосуванням зачиняють водою. Останнім часом розпочато виготовлення гідрофобних сухих сумішей для розчинів. Такі суміші, що містять гідрофобізуючу добавку, можна довго зберігати без упаковки. При цьому вони не утворюють грудок і не втрачають активності. Крім того, при застосуванні цих сумішей поліпшуються деякі властивості розчинів.

#### **3.4.8. Бетон і залізобетон для кріплення гірничих виробок**

**Бетон** як кріпильний матеріал має високу міцність (при дії стискаючих навантажень), довговічність, вогнестійкість і відносно невисоку вартість, оскільки готується з місцевих матеріалів. Особливістю бетону є крихкість при ударі і незначна опірність розтягуючим і вигинаючим зусиллям (в 8...10 разів менше міцності при стисненні).

Бетон застосовується для виготовлення монолітних бетонних і залізобетонних кріплень, елементів збірних залізобетонних кріплень, кріпильних бетонітів, блоків, литих смуг для охорони виробок та інших. Застосовують як важкі, так і легкі бетони.

Підбір складу бетонної суміші виробляється в лабораторії. При цьому переслідується мета, щоб при найменшій витраті цементу отримати зручну для укладання бетонну суміш, що забезпечує після затвердіння задану міцність бетону. Пісок, щебінь і вода повинні бути придатні для бетону. Практично слід застосовувати воду, придатну для пиття. Для приготування бетону шахтну воду зазвичай не застосовують.

Складові частини бетонної суміші (цемент, пісок і щебінь) ретельно перемішують з додаванням води в спеціальних машинах – бетономішалках.

Залежно від кількості води бетонна суміш буває жорсткою, пластичною та литою.



**Жорстка бетонна суміш** містить 130...170 л води на 1 м<sup>3</sup> суміші. Якщо взяти жменю жорсткої бетонної суміші і стиснути її в кулаці, а потім розтиснути, то суміш зберігає свою форму, а на пальцях не залишається цементного молока. При використанні такої бетонної суміші необхідне посилене її ущільнення – трамбування або вібрація. При цьому бетонна суміш розріджується, стає текучою і добре заповнює форму або заопалубочний простір. Після закінчення вібрування бетонна суміш стає твердою. Бетон з жорсткої суміші не дає осадки конуса, має більш високу міцність в порівнянні з бетоном з пластичної та литої бетонних сумішей аналогічного складу.

**Пластична бетонна суміш** містить в 1 м<sup>3</sup> 170...230 л води. Стисла рукою жменя пластичної бетонної суміші зберігає свою форму, але змочує пальці цементним молоком. Укладання пластичної бетонної суміші вимагає невеликого ущільнення. Осадка конуса до 13 см.

**Лита бетонна суміш** містить в 1 м<sup>3</sup> понад 230 л води. Вона не здатна зберігати свою форму. При укладанні литої бетонної суміші не потрібно ущільнення трамбуванням або вібрацією. Осадка конуса більше 13 см.

Відношення маси води до маси цементу – один з головних чинників, що впливають на міцність бетону. Максимальна кількість води, необхідна для хімічної реакції з цементом, становить 10...20% його маси ( $B/C = 0,1...0,2$ ). Вода понад цієї кількості випаровується і утворює в бетоні пори, знижуючи його міцність. Однак при водоцементному відношенні, що дорівнює 0,1...0,2, бетонна суміш настільки жорстка (суха), що її неможливо добре перемішати і щільно вкласти в форму або за опалубку. Тому для жорстких бетонних сумішей кількість води трохи збільшують ( $B/C = 0,3...0,4$ ), а для підвищення легкоукладальності (здатності бетонної суміші заповнювати форму) застосовують пластифіковані цементы і сильну вібрацію.

Зі зниженням температури твердіння звичайного бетону сповільнюється. Для скорочення терміну твердіння бетонні конструкції при заводській умові їх виробництва пропарюють, а при нормальних умовах в бетон додають у вигляді розчину хлористий кальцій (1,5...2% від маси цементу), хлористий натрій, соляну кислоту, розчинне скло і тощо.

Чим щільніше бетон, тим вище його міцність і водонепроникність. Щільність бетону підвищують хорошим ущільненням суміші при укладанні, а також правильним підбором співвідношення розмірів шматків щебеню і зерен піску (гранулометричного складу наповнювачів), зниженням водоцементного; відношенням і застосуванням пластифікаторів - добавок, що підвищують легкоукладальність суміші без додавання води.

У перший період твердіння бетону (7...10 днів) його поверхню зволожують. При недостатньому зволоженні в перші дні твердіння бетону відбувається значна його усадка (зменшення обсягу). Усадка може спричинити утворення тріщин в бетонному кріпленні. Для зменшення усадки слід крім зволоження бетону при твердінні уникати застосування жирних бетонів (з великою питомою витратою цементу). Якщо бетон недостатньо щільний, то при проходженні через його пори води, що містить роз'їдаючий цементний камінь речовини (сульфат магнію та ін.), бетон руйнується. Корозійну стійкість

бетону підвищують великим ущільненням і застосуванням цементів, стійких до руйнівній дії шахтних вод.

У гірничій справі крім звичайних цементних бетонів застосовують також пробуджені бетони, сировиною для приготування яких служать різні шлаки або горілі породи з шахтних відвалів. Ця сировина містить ті ж речовини, що і цемент, тому після тонкого їх подрібнення в спеціальних установках – бігунах в присутності води і цементу вони здатні «прокидатися», тобто набувати в'язучих властивостей, здатність тверднути.

Для кріплення гірничих виробок застосовують головним чином важкі цементні бетони марки 150 і вище з жорстких сумішей. Пластичну бетонну суміш застосовують в сильно армованих конструкціях кріплення, коли посиленням трамбування можна пошкодити арматуру. Литу бетонну суміш застосовують тільки при виготовленні центрифугованих залізобетонних конструкцій кріплень.

До спеціальних видів бетону, застосовуваних в гірничій справі, відносять водонепроникний бетон, торкретбетон і набризкбетон.

**Водонепроникний бетон** – бетон, що не пропускає воду при тиску від 0,2 МПа і вище. Водонепроникність бетону досягається зменшенням водоцементного відношення, збільшенням витрат і тонкості помелу цементу, застосуванням спеціальних (тих що розширюються, безусадочних і ін.) цементів, введенням добавок (ущільнюючих, пластифікуючих і ін.), застосуванням спеціальних методів ущільнення і водотеплової обробки. Водонепроникність бетону визначається по максимальному тиску води в момент її просочування на протилежну поверхню зразка або за коефіцієнтом фільтрації бетону, що визначається масою води, що протікає під постійним тиском через одиницю площі зразка певної товщини за одиницю часу. Для важких бетонів передбачені марки по водонепроникності В2, В4, В6, В8, В10, В12.

**Торкретбетон** – цементно-піщаний розчин. Набризкбетону на відміну від торкретбетону містить поряд з дрібним також великий заповнювач (розміром зерен до 25 мм). Водоцементне відношення має зберігатися в вузьких межах (від 0,3 до 0,4). Відмінними рисами торкретбетону і набризкбетону є способи приготування бетонної суміші і її укладання. Попередньо заготовлену в певному співвідношенні суху суміш цементу і заповнювачів завантажують в спеціальну пневматичну машину безперервного дії. За допомогою стиснутого повітря під тиском (0,2...0,3 МПа) суміш з машини подають по шлангу, обладнаному на кінці соплом. Зачинення суміші водою відбувається в соплі, і вона відразу ж наноситься на поверхню виробки.

**Залізобетон** (бетон, армований металом) забезпечує кріпленню високу міцність на стиск і вигин, вогнестійкість, можливість виготовляти конструкції кріплення складної форми.

Різновидом залізобетону є армоцемент – дрібнозернистий бетон, армований часто розташованими тканими сітками з осередком до 10 мм з дроту діаметром 0,8...1 мм. Заповнювач в цьому бетоні має крупність зерен не більше 2,5...3 мм, бетонну суміш застосовують з осадкою конуса 2...3 см.

Залізобетон, в якому арматура попередньо (до укладання бетонної суміші) натягується з великою силою (до 50...60% межі міцності металу) і після затвердіння бетону відпускається, називають **попередньо напруженим залізобетоном**. Попередній натяг арматури підвищує тріщиностійкість залізобетону, значно збільшує опір залізобетонних конструкцій вигинаючим зусиллям.

### **3.4.9. Силікатні матеріали та вироби**

Силікатними називають штучні кам'яні матеріали і вироби, що отримуються в результаті формування і подальшої тепловологісної обробки їх в автоклавах сумішей, що складаються з вапняно-кремнеземистих в'язучих, наповнювачів (кварцового піску, шлаку та тощо) і води. Такі композиції, повільно утворюють камінь при твердінні на повітрі, а одержуваний матеріал має невисоку міцність (1...2 МПа). У цьому випадку взаємодія  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – вапна і  $\text{SiO}_2$  – піску протікає дуже повільно і, практично, не позначається на міцності каменю. Однак, як було встановлено в 1880 році німецьким вченим В. Міхаелісом, твердіння ущільненої суміші вапна з кварцовим піском різко прискорюється, якщо цю суміш піддати тепловій обробці в автоклаві, де температура насиченої пари досягає 170 °С і більше, а тиск – 0,8 МПа і вище. У цих умовах  $\text{SiO}_2$  піску набуває хімічну активність і між ним і вапном відбувається енергійна хімічна взаємодія з утворенням гідросилікатів кальцію, що цементують зерна піску в міцний моноліт.

#### **3.4.9.1. Сировина**

Багато років єдиним видом силікатних будівельних матеріалів була силікатна цегла, для виготовлення якої застосовують кварцовий пісок і повітряне вапно. Якщо частину кварцового піску тонко розмолоти, то міцність виробів після автоклавного твердіння значно зростає. Регулюючи кількість і ступінь подрібнення тонкомолотого піску і вибираючи відповідно до цього оптимальні співвідношення  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  :  $\text{SiO}_2$ , можна змінювати активність в'язучого і деякі фізико-механічні властивості силікатного бетону.

Для виробництва автоклавних виробів в якості кремнеземистого компонента крім піску використовують і інші місцеві матеріали – шлаки, золи від пилоподібного спалювання палива, нефеліновий шлам та інші вироби і конструкції за своїми технічними і будівельно-експлуатаційними якостями близькі до аналогічних виробів з цементних бетонів, але для їх виготовлення потрібно менше в'язучого, ширше використовуються місцеві матеріали, технологія їх виготовлення дає можливість повністю механізувати і автоматизувати виробничі процеси. Силікатобетонні вироби, як правило, на 15...20% дешевше цементобетонних.

#### **3.4.9.2. Виробництво**

Особливістю автоклавного виробництва силікатно-бетонних виробів є можливість отримання виробів різної щільності і міцності при одних і тих

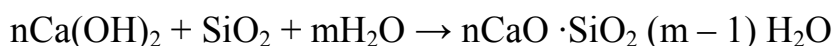
самих вихідних матеріалах і процесах їх підготовки за технологічними схемами, в своїй основі аналогічним при виробництві бетонних і залізобетонних виробів.

Виробництво силікатних виробів зазвичай складається з наступних операцій: приготування вапняно-кремнеземистої суміші, приготування і гомогенізації силікатобетонної суміші, формування виробів, твердіння виробів в автоклавах в середовищі насиченої водяної пари при тиску 0,9...1,6 МПа і температурі 175...200 °С.

Вибір способу формування виробів залежить від легкоукладальності силікатно-бетонної суміші. При виготовленні силікатної цегли і дрібних блоків використовують жорсткі суміші з вологістю 8...10%. Такі суміші формують на спеціальних пресах під тиском 15...20 МПа. Для формування силікатно-бетонних виробів із сумішей з великою пластичністю застосовують вібрацію або вібрацію з вантажем. Дуже пластичні суміші, наприклад, при виготовленні піносилікатних або газосилікатних виробів укладають без примусового ущільнення або короткочасною вібрацією.

Остання і найважливіша стадія виробничого процесу - твердіння силікатно-бетонних виробів – здійснюється в автоклавах. Автоклав являє собою горизонтально розташований сталевий циліндр діаметром 2 м і більше, довжиною 20...30 м з торців герметично закритий кришками. У нижній частині автоклава укладено рейки, по яких пересуваються завантажені в нього вагонетки з виробами.

При автоклавній обробці відбувається реакція між гідроксидом кальцію вапна і кремнеземистим компонентом:



в результаті якої синтезується цементуюча речовина у вигляді гідросилікатів кальцію різного складу, що зв'язує зерна піску або іншого заповнювача в міцний і водостійкий кам'яний матеріал. Умови швидкого проходження цього процесу забезпечуються в автоклаві шляхом використання насиченої пари з температурою 175 °С і вище, але при цьому необхідний тиск пари 0,9 МПа і більше. Тривалість циклу запарювання становить 10...14 год.

Наростання міцності виробів триває і після їх вивантаження з автоклава. Це обумовлено висиханням виробів.

**Силікатна (вапняно-піщана) цегла** має ті ж форму і розміри, що і керамічна. Її виготовляють із суміші повітряного вапна (6...8%), кварцового піску (92...94%) і води (7...9%) шляхом пресування під великим тиском і подальшого твердіння в автоклаві.

Силікатна цегла – світло-сіра, але може бути і кольорова, якщо до складу суміші ввести лужностійкі пігменти. Залежно від межі міцності при стисненні і вигині силікатну цеглу поділяють на марки: 75; 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300. Морозостійкість силікатної цегли, як і керамічної, не нижче F15, а водопоглинання – 8...16% (по масі). Щільність силікатної цегли 1800...1900 кг/м<sup>3</sup>, а теплопровідність 0,82...0,87 Вт / (м °С), тобто більше, ніж керамічної цегли.

Силікатна цегла застосовується там же, де і керамічна, за винятком

конструкцій, що піддаються систематичній дії води (фундаменти) і високим температурам (печі, труби тощо). В умовах систематичного зволоження, особливо водою, що містить агресивні домішки (солі, кислоти), відбувається розкладання гідросилікатів. При тривалій дії температури вище 500 °С силікатна цегла руйнується внаслідок дегідратації гідросилікатів кальцію, а також поліморфного перетворення кварцу в іншу модифікацію, що супроводжується стрибкоподібним збільшенням обсягу його зерен.

Для отримання силікатної цегли потрібно менше виробничих площ, ніж на заводах керамічної цегли, витрачається в 2 рази менше палива, в 3 рази менше електроенергії, в 2,5 рази нижче трудомісткість виробництва. В результаті собівартість силікатної цегли на 25...35% нижче, ніж керамічної. Тому вона продовжує займати значну частку в загальному обсязі випуску стінових матеріалів. При цьому зростає середня марка цегли, збільшується випуск пустотілої силікатної цегли і порожнистих блоків, що дозволить знизити витрату матеріалів і вагу огорожувальних конструкцій, а також зменшити сумарні наведені витрати на 1 м<sup>2</sup> стіни.

#### **3.4.10. Азбестоцементні матеріали та вироби**

Азбестоцементом називають штучний кам'яний матеріал, отриманий в результаті затвердіння суміші цементу, азбесту і води. Цементний камінь добре чинить опір стискаючим і погано розтягуючим навантаженням. Введення в цемент невеликої кількості (10...20%) тонковолокнистого азбесту, що володіє високою міцністю при розтягуванні, істотно змінює фізико-механічні властивості цементного каменю. Такий матеріал володіє досить високою міцністю, вогнестійкістю, довговічністю, малою водопроникністю, теплопровідністю і електропровідністю, але крихкий і схильний до викривлення при зміні вологості.

Номенклатура азбестоцементних виробів, налічує понад 40 найменувань. Вони можуть бути розділені на наступні основні групи:

- профільовані листи – хвилясті та напівхвилясті для покрівель і обшивки стін;
- плоскі плити – звичайні і офактурені або пофарбовані для облицювання стін;
- панелі покрівельні та стінові з теплоізоляційним шаром;
- труби напірні і безнапірні і сполучні муфти до них;
- спеціальні вироби (архітектурні, санітарно-технічні, електроізоляційні і тощо).

#### ***Види азбестоцементних виробів***

Азбестоцементні вироби підрозділяють на листи, плити, панелі, труби і фасонні деталі. Дедалі більшого поширення в будівництві отримують великогабаритні азбестоцементні профільовані і плоскі листи і конструкції на їх основі. Застосування великорозмірних виробів спрощує і здешевлює виробництво покрівельних і облицювальних робіт, а також скорочує кількість

стиків. Так, витрати на пристрій асбестоцементної покрівлі, включаючи крокви, обрешітку, на 24%, а трудові витрати на 27% менше, ніж для покрівлі з руберойду.

**Асбестоцементні хвилясті листи** середньохвилястого профілю СХ (рис 3.16) і уніфікованого (УВ) мають відносно невеликі розміри. Асбестоцементна промисловість випускає вісім основних типорозмірів великорозмірних хвилястих листів для житлового, сільськогосподарського та промислового будівництва. Максимальний проліт листів для покрівельних покриттів 1,5 м, а для стінових огорож – 2,4 м.

Висока економічність досягається застосуванням таких листів завдовжки 2,5 м в стінових огороженнях неопалюваних промислових будівель, де вони замінюють при товщині 6...8 мм залізобетонні плити з наведеною товщиною 35...40 мм або цегляні стіни мінімум в півцеглини. Це дозволяє знизити в 6...10 разів масу огорож і значно зменшити трудомісткість і вартість їх зведення.

**Асбестоцементні плоскі листи і плити** випускають двох типів – пресовані (П) і непресовані (НП). Лицьова поверхня їх може бути гладкою (полірованою або неполірованою) або тисненою (рельєфною), звичайного сірого кольору, пофарбованою або офактуреною. Щільність асбестоцементних непресованих листів 1600...1700 кг/м<sup>3</sup>, пресованих не менше 1800 кг/м<sup>3</sup>; межа міцності при вигині відповідно не менше 18...20 МПа і 23...25 МПа. Значну частину цієї продукції становлять поки листи розміром 1200×800 і 1600×1200 мм, товщиною 6...10 мм, але все в більшому обсязі випускають великорозмірні листи довжиною до 3...6 м, шириною 1,5 і 1,2 м.

Плоскі асбестоцементні листи використовують для виготовлення збірних утеплених огорожувальних конструкцій (плит і панелей) цивільних і промислових будівель. Асбестоцементні листи і плити з різною обробкою лицьової поверхні застосовують для внутрішньої і, рідше, для зовнішньої обробки стін, стель, перегородок в житлових, громадських і промислових будівлях.

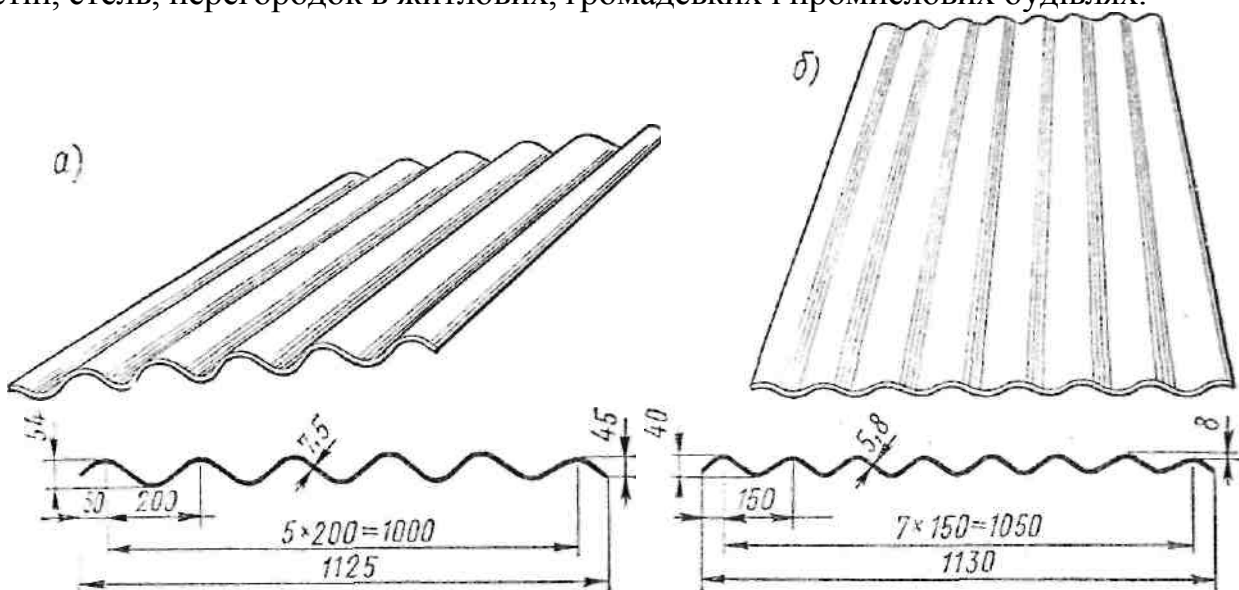


Рис. 3.8. Асбестоцементні хвилясті листи:  
 а – уніфікованого профілю УВ-175-7,5;  
 б – середньохвилястого профілю СВ-40-175.

**Азбестоцементні труби** застосовують для пристрою водо-, нафто- і газопроводів, каналізації, дренажу, димових і вентиляційних каналів, сміттєпроводів прокладки телефонних кабелів. У порівнянні з металевими, азбестоцементні труби в 3...4 рази легше, в 2...4 рази дешевше, на них не діють руйнівні блукаючі струми, швидко виводять з ладу металеві труби. Вони більш стійкі проти дії мінералізованих вод. Тертя води по стінках цих труб менше, ніж у металевих, що збільшує їхню пропускну здатність і скорочує витрати електроенергії на перекачування рідин. Завдяки тому, що волокна азбесту мають високу міцність при розтягуванні і частково розташовані довжиною по колу труби, азбестоцементні труби витримують тиск до 1,2 МПа і вище.

Істотним недоліком азбестоцементних труб є їх крихкість, що необхідно враховувати при перевезенні, зберіганні і монтажі.

### 3.4.11. Скло та вироби зі скла

**Склом** називають твердий аморфний матеріал, отриманий при переохолодженні мінеральних розплавів. У склоподібному вигляді може бути отримано багато речовин. В будівництві ж використовують майже виключно силікатне скло, основним компонентом якого є діоксид кремнію (кремнезем)  $\text{SiO}_2$ . Кремнезем сам по собі без додавання будь-яких інших речовин при охолодженні розплаву здатний утворювати скло, як і деякі інші оксиди ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{V}_2\text{O}_3$ ); їх називають склоутворюючими оксидами.

Скло не є хімічною речовиною з певним складом, який може бути виражений хімічною формулою; тому склад стеклоплавів умовно виражають сумою оксидів (наприклад, склад звичайного віконного скла  $\text{SiO}_2$  – 71...72 %;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 14...15 %;  $\text{CaO}$  – 6,5...7 %;  $\text{MgO}$  – 4 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2 %).

#### 3.4.11.1. Сировина

Основні компоненти будівельних стеклоплавів –  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Na}_2\text{O}$ ;  $\text{CaO}$ ;  $\text{MgO}$  – утворюються в стекломасі при нагріванні і наступному плавленні так званих головних сировинних матеріалів.

Головні сировинні матеріали вводять в скляну шихту, як правило, у вигляді природних сполук.

**Кремнезем**  $\text{SiO}_2$  – основний склоутворюючий оксид, вводять в шихту у вигляді кварцового піску або мелених пісковиків і кварцитів з мінімальним вмістом домішок (заліза, хрому, титану), що знижують світлопропускання скла.

**Глинозем**  $\text{Al}_2\text{O}_3$  надходить в скляну шихту в складі польового шпату, каоліну, а для високосортних стеклоплавів – у вигляді чистого оксиду алюмінію. Збільшення вмісту  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  підвищує тугоплавкість і хімічну стійкість скла.

**Оксиди натрію**  $\text{Na}_2\text{O}$  і **калію**  $\text{K}_2\text{O}$  утворюються в результаті розкладання при варінні скла введених в шихту відповідно соди або сульфату натрію і поташу або калієвої селітри. Оксид натрію прискорює процес склоутворення, знижуючи температуру плавлення і полегшуючи освітлення маси, але підвищує коефіцієнт теплового розширення і зменшує хімічну стійкість скла. Оксид

калію знижує схильність скла до кристалізації, надає йому блиск і покращує світлопропускання. Оксиди кальцію CaO і магнею MgO в скляну шихту вводять у вигляді крейди, мармуру, вапняку, доломіту. Ці оксиди підвищують хімічну стійкість скла, а оксид магнею також знижує схильність скла до кристалізації. У спеціальне скло (наприклад, оптичне, лабораторне) вводять оксиди свинцю, барію і цинку.

**Допоміжні сировинні матеріали** (освітлювачі, глушники, барвники та ін.) вводять в шихту для прискорення варіння скла і надання йому необхідних властивостей. *Освітлювачі* (сульфати натрію і амонію та ін.) сприяють видаленню з скломаси газових пухирців. *Глушники* (сполуки фтору, фосфору та ін.) роблять скло непрозорим. До *барвників* відносять з'єднання кобальту (синій колір), хрому (зелений), марганцю (фіолетовий), заліза (коричневі і синьо-зелені тони) і інші.

### 3.4.11.2. Властивості

Скло в будівельних конструкціях частіше піддається згину, розтягуванню і удару і рідше стиску, тому головним показником, який визначає його властивості, слід вважати міцність при розтягуванні і крихкість.

Розрахункова *теоретична межа міцності скла при розтягуванні* складає 12 000 МПа, практично ця величина нижче в 200...300 разів, в залежності від розміру зразка коливається від 30 до 60 МПа (при стисканні – 700...1000 МПа і більше). Це пояснюється тим, що в склі є ослаблені ділянки (мікронеоднорідності, тріщини, внутрішня напруга) і чим більше розмір зразків, тим імовірніше наявність таких ділянок.

**Крихкість** – головний недолік скла, прояв крихкості у матеріалів є наслідком поєднання кількох факторів. Найголовніші з них: низьке значення відношення міцності матеріалу на розрив до його модулю пружності  $R_p/E$  (для скла воно становить  $7,5 \cdot 10^{-4}$ ... $6,5 \cdot 10^{-4}$ , для сталі  $2,5 \cdot 10^{-3}$ ... $2,2 \cdot 10^{-3}$ , а для каучуку  $2,5$ ... $1,5$ ).

**Оптичні властивості скла** характеризуються світлопропусканням (прозорістю), світлопереломлюванням, відображенням, розсіюванням і тощо. Звичайні силікатні стекла, крім спеціальних (див. нижче), пропускають всю видиму частину спектра і практично не пропускають ультрафіолетові та інфрачервоні промені. Показник заломлення будівельного скла (1,50...1,52) визначає силу відбитого світла і світлопропускання скла при різних кутах падіння світла. При зміні кута падіння світла з 0 до 75° світлопропускання скла зменшується з 92 до 50%.

**Теплопровідність** різних видів скла становить 0,5...1 Вт/(м·°C). Коефіцієнт лінійного температурного розширення скла відносно невеликий (для звичайного скла близько  $9,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

**Звукоізолююча здатність** скла відносно висока. З цього показник звукоізоляції скла товщиною 1 см відповідає показнику цегляної стіни в півцеглини – 12 см.

**Хімічна стійкість** скла висока: руйнівні діють на нього тільки гарячі луги і плавикова і фосфорна кислоти. Це пояснюється хімічним складом скла,



його високою щільністю і здатністю при дії водних розчинів утворювати на поверхні захисний шар, багатий кремнеземом  $\text{SiO}_2$ .

### **3.4.11.3. Різновиди скла і скляних виробів, що застосовуються в будівництві**

**Листове скло** (звичайне віконне, увіолеве, теплозахистне, світлорозсіююче, вітринне, армоване і ін.) є найпоширенішим склом для будівельних цілей.

**Віконне скло** випускають товщиною 2; 2,5; 3; 4; 5 і 6 мм у вигляді листів від  $400 \times 400$  до  $1600 \times 2200$  мм або по специфікації споживача. Скло повинно бути безбарвним і прозорим (світлопропускання в залежності від товщини не менше 84...90%).

**Увіолеве скло** пропускає не менше 25% ультрафіолетових променів. Це досягається за рахунок застосування скляної шихти з мінімальним вмістом домішок оксидів заліза, титану і хрому. Таке скло використовують для скління отворів в лікувальних, дитячих установах, оранжереях та інших спеціальних спорудах.

**Теплозахистне скло** здатне поглинати до 75% інфрачервоних променів. Його виготовляють з скломаси, в яку вводять оксиди кобальту, нікелю і заліза, або шляхом обробки поверхні скла спеціальними розчинами при його витягуванні. Застосовують таке скло для скління будівель і транспортних засобів з метою зменшення сонячної і теплової радіації, особливо в південних районах.

**Світлорозсіююче скло** характеризується декоративністю і світлорозсіюючою здатністю. Воно може бути візерунчастим і матовим.

**Візерункове скло** (рис. 3.9) отримують методом безперервного прокату на гравірувальних вальцях з безбарвної або кольорової скломаси.

**Матове скло** виготовляють піскоструминною обробкою поверхні віконного скла, при цьому, за допомогою трафарету, можна отримати матово-мереживний малюнок. Світлорозсіююче скло застосовують для застосування віконних і дверних прорізів, перегородок, коли потрібно освітлення без наскрізної видимості або розсіяне світло.

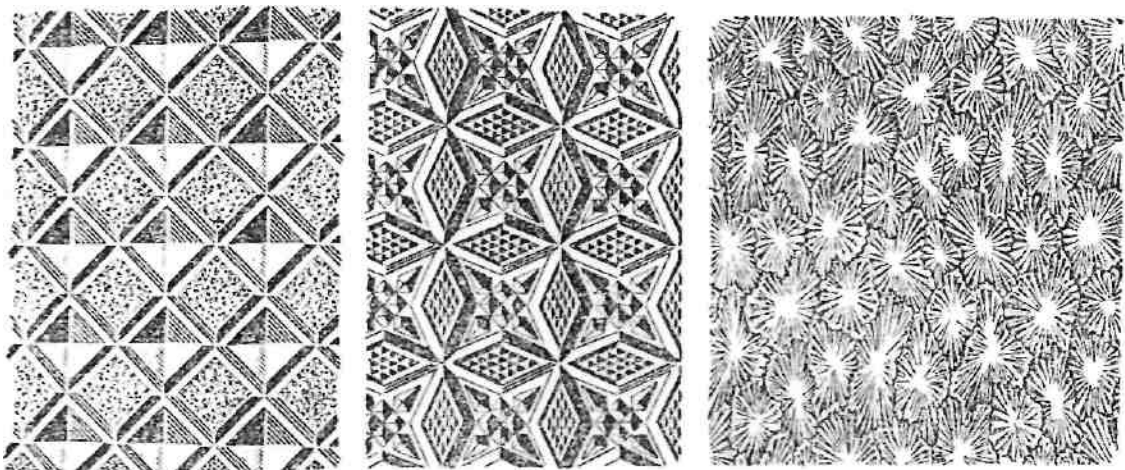


Рис. 3.9. Різновиди візерункового скла

**Армоване скло** отримують методом прокату з одночасною запресовкою в звичайну або кольорову стекломасу металевої сітки. Таке скло може бути у вигляді плоских або хвилястих листів. Армоване скло має підвищену міцність і вогнестійкість. Його застосовують для скління дверей, огороження сходових клітин та балконів, влаштування перегородок і покрівлі.

**Вітринне скло** неполіроване і поліроване випускають збільшеної товщини 5...12 мм. Скло товщиною 5...6 мм отримують, як і звичайне віконне, методом вертикального витягування, як правило, без наступного полірування.

**Скляні блоки** – порожнисті вироби квадратної або прямокутної форми розмірами до 294×294×98 мм, що складаються з двох пресованих напівблоків зі звичайної або кольорової скломаси і зварених або склеєних один з одним. Блоки мають невелику щільність – 800 кг/м<sup>3</sup>, відносно низьку теплопровідність – в середньому 0,46 Вт/(м·°C), достатню світлопроникність – 50...65% і світлорозсіювання – до 25%. Склоблоки застосовують для спорудження світлопрозорих елементів стін перегородок, скління сходових клітин, ліфтових шахт тощо. Використання склоблоків дозволяє більш ніж в 2 рази знизити втрати теплоти в порівнянні з одинарним склінням, покращує звукоізоляцію.

**Скляні труби** різних діаметрів (до 150 мм і більше) добре вчиняють опір корозії, володіють достатньою механічною міцністю, гігієнічні, прозорі, мають гладку поверхню, внаслідок чого їх пропускна здатність на 22% вище, ніж чавунних, і на 6,5% – сталевих труб рівного діаметра. Недоліком скляних труб є малий опір вигину і удару і значна крихкість. Труби знайшли широке застосування для самих різних цілей, як в будівництві, так і в інших галузях промисловості – харчової, хімічної, фармацевтичної і тощо.

**Ситалли** – стеклокристалічні матеріали, що виходять шляхом спрямованої кристалізації скла, тобто структура ситаллів – вид кристалів, їх розмір і кількість – регулюються в процесі виробництва. Особливість структури ситаллів характеризується тим, що між вельми дрібними кристалами (декілька мкм) рівномірно розподілена склоподібна фаза (прошарком близько 1 мкм), кількість якої в добре закристалізованих матеріалах становить 5...10%. Структура ситаллів, забезпечуючи збереження позитивних властивостей скла, додає їм підвищену механічну міцність, термічну і хімічну стійкість, діелектричні властивості, зменшує крихкість.

В основу технології ситалів покладено принцип каталізованої кристалізації. Для цього в розплав вводять добавки, що каталізують кристалізацію при подальшій термообробці матеріалу. Термообробка ведеться за ступінчастим режимом: спочатку матеріал витримують при температурі, що відповідає максимальній швидкості утворення центрів кристалізації, а потім при температурі максимальної швидкості росту кристалів. Таким чином досягається необхідна ступінь закристалізованості матеріалу при необхідному розмірі кристалів.

Ситалли отримують з тієї ж сировини, що і скло, з додаванням спеціальних добавок (наприклад, з'єднань літію), але до чистоти сировини пред'являються

дуже високі вимоги. В якості каталізаторів кристалізації використовують фториди і фосфати лужних і лужноземельних металів.

Ситали застосовують головним чином в спеціальних галузях техніки (наприклад, в радіоелектроніці). У промисловому і цивільному будівництві вони можуть знайти застосування в вигляді конструктивного оздоблювального матеріалу.

### **3.5. Матеріали і виробы з деревини**

#### **3.5.1. Загальні відомості**

Деревину з давніх-давен широко застосовують в будівництві завдяки ряду позитивних властивостей: високої міцності при невеликій щільності, малої теплопровідності; легкості обробки; простоті скріплення окремих елементів; високої морозостійкості і опірності дії багатьох хімічних реагентів. Деревина має і ряд недоліків, що знижують її будівельні властивості: неоднорідність будови; наявність вад; гігроскопічність, що приводить до зміни розмірів деревини, викривленню і розтріскуванню; схильність до загнивання і загоряння.

*Лісові матеріали*, одержувані тільки шляхом механічної обробки стовбурів дерева (колоди, пиломатеріали). При такому використанні деревини зберігаються всі притаманні їй позитивні і негативні властивості.

*Готові виробы і конструкції*, що виготовляються в заводських умовах (збірні будинки та деталі, клеєні конструкції і тощо). Властивості деревини в цьому випадку використовуються більш раціонально.

*Синтетичні матеріали з деревини*, одержувані глибокою переробкою деревини. При глибокій переробці з'являється можливість повніше використовувати деревину за рахунок збільшення виходу сировини для отримання целюлози і матеріалів на її основі, залучення в переробку майже всіх відходів, навіть і кори.

*Зростаюче дерево* складається з кореневої системи, стовбура і крони. Промислове значення має стовбур, так як з нього виходить від 60 до 90% деревини.

*Макроструктурою* називають будову стовбура дерева, видиму неозброєним оком або через лупу, мікроструктурою – видиме під мікроскопом. Зазвичай вивчають три основних розрізи стовбура: поперечний (торцевий), радіальний, що проходить через вісь стовбура, і тангенціальний, що проходить по хорді вздовж стовбура (рис. 3.10, а).

*Макробудова деревини*. При розгляді розрізів стовбура дерева неозброєним оком або через лупу можна розрізнити наступні основні його частини: серцевину, кору, камбій і деревину (рис. 3.10, б).

*Серцевина* складається з клітин з тонкими стінками, слабо пов'язаних один з одним. Серцевина спільно з деревинною тканиною першого року розвитку дерева утворює серцевину трубку. Ця частина стовбура дерева легко загниває і має малу міцність.

**Кора** складається з шкірки або кірки, пробкової тканини і лубу. Кірка або шкірка і пробкова тканина захищають дерево від шкідливих впливів середовища і механічних пошкоджень. **Луб** проводить поживні речовини, від крони в стовбур і коріння.

Під луб'яних шаром у зростаючого дерева розташовується тонкий кільцевий шар живих клітин – **камбій**. Щорічно в вегетативний період камбій відкладає в сторону кори клітини лубу і всередину стовбура, в значно більшому обсязі – клітини деревини. Розподіл клітин камбіального шару починається навесні і закінчується восени.

Тому деревина стовбура (частина стовбура від лубу до серцевини) в поперечному розрізі складається з концентричних так званих річних кілець, розташованих навколо серцевини.

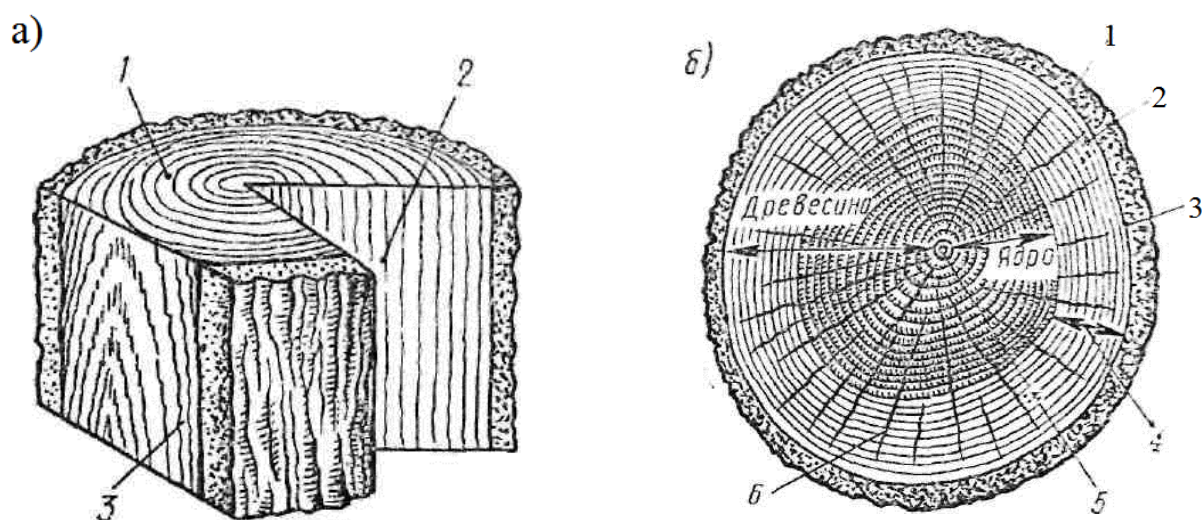


Рис. 3.10. Будова стовбура дерева:

а – основні розрізи стовбура; 1 – поперечний (торцевий); 2 – радіальний; 3 – тангентальний; б – будова стовбура дерева на поперечному розрізі; 1 – кора; 2 – камбій; 3 – луб; 4 – заболонь; 5 – серцевина; 6 – серцевинні промені

### 3.5.2. Властивості деревини

#### *Фізичні властивості деревини*

**Справжня щільність** деревини всіх дерев змінюється незначно, так як деревина складається в основному з одної речовини – целюлози. Середнє значення істинної щільності деревини можна прийняти рівним  $1,54 \text{ г/см}^3$ .

**Середня щільність** деревини різних порід, навіть деревини однієї і тієї ж породи, коливається в досить широких межах, оскільки будова і пористість зростаючого дерева залежать від ґрунту, клімату і інших природних умов. У більшості деревних порід в абсолютно сухому стані вона менше  $1 \text{ г/см}^3$ .

**Пористість** деревини змінюється в широких межах (від 30 до 80%).

**Гігроскопічність і вологість.** Деревина, маючи волокнисту будову і велику пористість, володіє величезною внутрішньою поверхнею, яка легко сорбує водяну пару з повітря (гігроскопічність). Вологість, яку набуває деревина в результаті тривалого перебування на повітрі з постійною температурою і вологістю, називається **рівноважною**.

За змістом води розрізняють мокру деревину- з вологістю до 100% і більше; свіжозрубану – 35% і вище; повітряно-суху – 15...20%; кімнатно-суху – 8...12% і абсолютно суху деревину, висушену до постійної маси при температурі  $103 \pm 2 \text{ }^\circ \text{C}$ . Стандартною прийнято вважати вологість деревини 12%.

**Усушка, розбухання і викривлення.** Зміна вологості деревини від нуля до межі гігроскопічної вологості викликає зміну її лінійних розмірів і об'єму – усушку або розбухання, величина яких залежить від кількості води, що випарувалася або була поглинена та напрямків волокон. Уздовж волокон лінійна усушка для більшості деревних порід не перевищує 0,1%, в радіальному напрямку – 3...6%, а в тангенціальному – 7...12%. Різниця в усушці деревини в тангенціальному і радіальному напрямках і нерівномірність висихання супроводжується виникненням внутрішніх напружень в деревині, що може викликати її викривлення і розтріскування. Бічні краї дощок прагнуть вигнутися в сторону випуклості річних шарів, а до найбільшого викривлення схильні дошки, виконані з деревини, розташованої ближче до поверхні колоди, неширокі дошки (рис. 3.11).

**Теплопровідність деревини** – матеріалу високопористого і волокнистої будови – відносно низька. Однак внаслідок анізотропності будови теплопровідність уздовж і поперек волокон відрізняється приблизно в 2 рази (наприклад, для сосни уздовж волокон –  $0,35 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$ , а в поперечному напрямку  $0,17 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$ )

**Міцність деревини** як анізотропного волокнистого матеріалу у великій мірі залежить від того, під яким кутом до волокон спрямована сила. Межа міцності при розтягуванні вздовж волокон в 20...30 разів, а при стисканні в 5...10 разів більше, ніж поперек волокон.

Міцність деревини залежить також від породи дерева, середньої щільності, побічно характеризує пористість деревини і її можливу вологість.

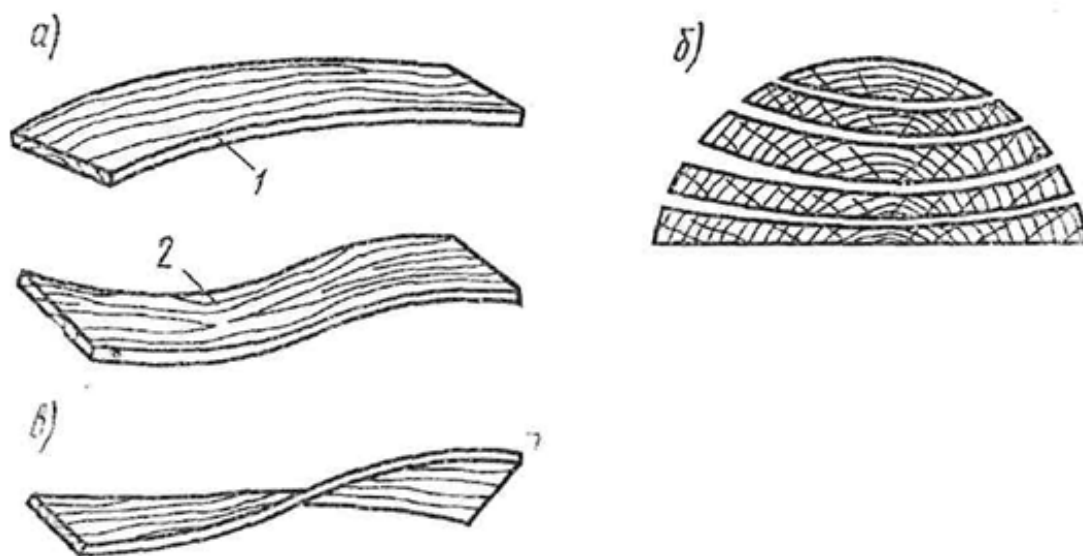


Рис. 3.11. Викривлення дощок при усушці:

а – поздовжнє; 1 – просте; 2 – складне; б – поперечне; в – криловатість

Основні фізико-механічні властивості деревини хвойних і листяних порід, що застосовуються в будівництві, наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

**Основні фізико-механічні властивості деяких порід деревини (середнє значення при вологості 12 %)**

Порода дерева	Середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт об'ємної усушки, %	Межа міцності, МПа, вздовж волокон при			
			розтягуванні	стисненні	сколюванні радіальному	статичному вигині
<b>Хвойні породи</b>						
Листяниця	600	0,52	125	64,5	9,9	111,5
Сосна звичайна	500	0,44	103,5	48,5	7,5	86
Ялина	445	0,43	103	44,5	6,9	79,5
Піхта сибірська	375	0,39	67	39	6,4	68,5
<b>Листяні породи</b>						
Дуб	690	0,43	123	57,5	10,2	107,5
Береза	630	0,54	168	55	9,3	109,5
Бук	670	0,47	123	55,5	11,6	108,5
Липа	495	0,49	121	45,5	8,6	88
Ольха	520	0,43	101	44	8,1	80,5
Осіна	495	0,41	125,5	42,5	6,3	78

### 3.5.3. Вади деревини

**Вадами** називають недоліки окремих ділянок деревини, що знижують її якість і обмежують можливість використання. Вади утворюються як при зростанні дерева, так і при зберіганні на складах і експлуатації.

Ступінь впливу вад на придатність деревини для будівництва залежить від їх виду і місця розташування, розмірів ураження, а також характеру і призначення лісопродукції. Одна і та сама вада в деяких видах лісопродукції робить деревину непридатною для будівельних цілей, а в інших знижує її сорт або не має істотного значення.

**Сучки** – поширена і неминуча вада деревини (рис. 3.12). Сучки є частиною (основою) гілок, укладеною в деревині, і порушують однорідність будови деревини, викликають викривлення волокон і річних шарів, зменшують робочий перетин пиломатеріалів, що знижує міцність деревини, ускладнює її механічну обробку і погіршує зовнішній вигляд. В окремих випадках зниження міцності досягає 30...40%, а в тонких дошках і брусах і більше.

**Тріщини** являють собою розриви деревини уздовж волокон. Вони можуть з'явитися як на зростаючому дереві, так і при висиханні зрубаного дерева. Вони

порушують цілісність лісоматеріалів, зменшують вихід високосортної продукції, знижують міцність, а в деяких випадках, наприклад в дрібному сортаменті, роблять їх непридатними для будівельних цілей. Крім того, тріщини затримують вологу в деревині, що створює умови для розвитку в ній грибків, викликаючи гниття.

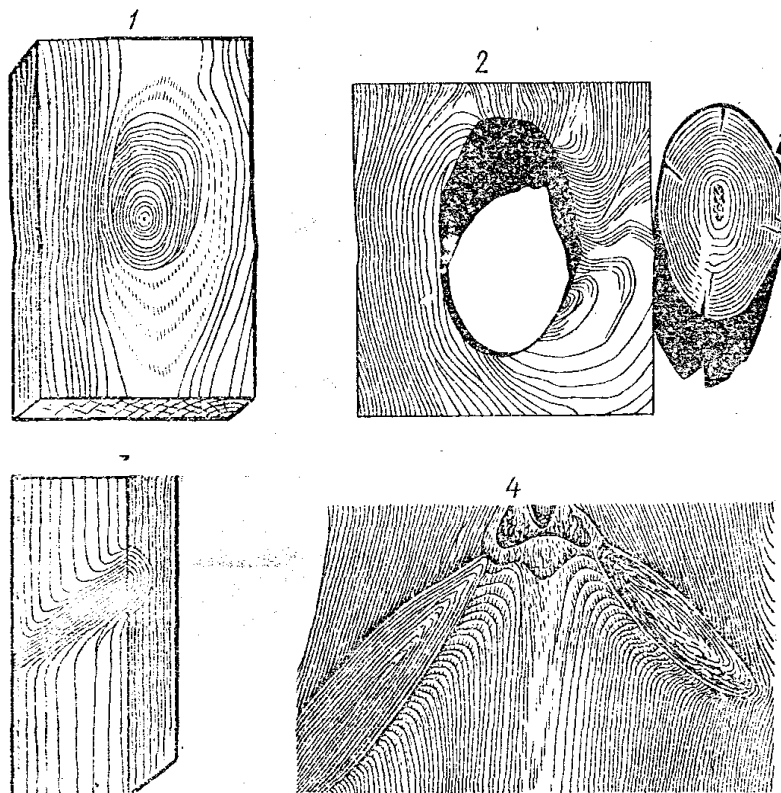


Рис. 3.12. Вид сучків за ступенем зрощення з деревиною і за формою:  
 1 – зрощений здоровий; 2 – випадаючий; 3 – зшивний;  
 4 – розгалужений (лапатий)

**Грибні ураження** викликаються найпростішими рослинними організмами – грибками, що розвиваються із спор, що заносяться в деревину вітром, водою, комахами тощо. Одні грибки змінюють тільки забарвлення деревини, майже не впливаючи на фізико-механічні властивості (*деревифарбуючі*), інші не тільки змінюють колір, структуру і властивості деревини, а й руйнують її, утворюючи гниль (*дереворуйнуючі*).

Живильним середовищем для деревифарбуючих грибів служить тільки вміст клітин. Ці гриби не зачіпають клітковину і вражають переважно зростаючий ліс і зрубану деревину, поки вона не втратила своїх соків (при зберіганні в лісі, на складах, транспортуванні). До таких уражень відносять грибні ядрові і заболонні плями і смуги різного кольору, плісняву та інше.

Живильним середовищем для дереворуйнуючих грибів, що викликають гниття, є целюлоза, складаюча стінки клітин деревини.



### 3.5.4. Захист деревини від гниття, ураження комахами і загоряння

#### 3.5.4.1. Запобігання деревини від гниття і руйнування комахами

Для попередження загнивання деревини приймають ряд конструктивних заходів, мета яких оберегти її від зволоження (деревину ізолюють від ґрунту, каменю і бетону, роблять канали для провітрювання, захищають від атмосферних опадів і тощо). Коли заходами конструктивного характеру не можна повністю оберегти деревину від зволоження, її просочують антисептиками – хімічними речовинами, які вбивають гриби або створюють середовище, в якому їх життєдіяльність стає неможливою.

Для антисептування деревини використовують водорозчинні, органікорозчинні і маслянисті антисептики, а також антисептичні пасти.

Водорозчинні антисептики застосовують для обробки деревини, яка в процесі експлуатації захищена від безпосереднього зволоження і вимиває дії води.

**Фторид натрію**  $\text{NaF}$  – порошок білого кольору, без запаху. Застосовують в розчинах 3...4%-ої концентрації для антисептування дерев'яних елементів, а також матеріалів і виробів з деревних стружок, тирси, очерету. При зіткненні з вапняними, цементними і гіпсовими матеріалами фторид натрію втрачає свої отруйні властивості, переходячи в нерозчинний фторид кальцію.

**Кремнефторид натрію**  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  – білий або сірий порошок, за дією схожий з фторидом натрію. Застосовують спільно з кальцинованою содою, фторидом натрію і в силікатних пастах.

**Органікорозчинні препарати** типу ПЛ (розчини пентахлорфенола в легких нафтопродуктах) і типу НМЛ (розчини нафтената міді в легких нафтопродуктах) є високотоксичними антисептиками добре проникаючими в деревину.

З **маслянистих антисептиків** найбільш широко використовують масло кам'яновугільне (креозотове і антраценове) і сланцеве. Обидва ці продукти – рідини темно-коричневого кольору з різким запахом і сильними антисептичними властивостями. Основне призначення – глибоке просочення дерев'яних елементів, що знаходяться на відкритому повітрі, в землі або воді (шпали, частини мостів, підводні споруди та інші).

**Антисептичні пасти** готують з водорозчинного антисептика (фторид або кремнефторид натрію), сполучної речовини (бітуму, глини, рідкого скла і ін.) та наповнювача (найчастіше торф'яного порошку). Елементи відкритих споруд, оброблені пастою, захищають гідроізоляційним покриттям. Розчиняючись у воді, антисептик, що входить до складу пасти, проникає всередину деревини і оберігає її від загнивання.

**Просочення деревини антисептиками** здійснюють поверхневою обробкою, в гарячехолодних ваннах і під тиском.

Основний спосіб боротьби з дереворуйнуючими комахами на складах лісоматеріалів – утримання складу відповідно до санітарних вимог, а також своєчасне обкорювання круглих лісоматеріалів. Однак деревина може уражатися комахами і в спорудах. В цьому випадку боротьба з ними ведеться



хімічними засобами, шляхом обробки деревини отруйними речовинами – інсектицидами, що вбивають комах і їх личинки. Деревину обробляють інсектицидами, просоченням, обприскуванням, обмазкою, запиленням порошками або обкурюванням газами. Для цих цілей використовують вже описані маслянисті антисептики і препарати на органічних розчинниках, а також розчин хлорофосу (диметилтрихлороксиетилфосфоната), хлородан у вигляді дусту і емульсії та інші речовини, а також деякі гази (хлорпікрин).

#### **3.5.4.2. Захист деревини від загоряння**

При запаленні деревини полум'ям загоряння відбувається при температурі 260...290 °С, а при нагріванні вище 350 °С гази, що виділяються з деревини, здатні займатися навіть при відсутності відкритого полум'я. При тривалому нагріванні ці температури знижуються. Для попередження спалаху приймають спеціальні заходи, які зводяться:

- до конструктивних (видалення дерев'яних елементів від джерел нагрівання, установка вогнестійких перегородок і стін);
- покриття дерев'яних елементів штукатуркою або облицювання малотеплопровідними і вогнетривкими матеріалами (азбестовими і тощо);
- фарбування дерев'яних конструкцій вогнезахисними фарбами або просочення деревини спеціальними речовинами - антипіренами.

Вогнезахисні фарби містять зв'язуючу речовину, наповнювачі та антипірени. Наприклад, в силікатних фарбах сполучним служить розчинне скло, а наповнювачем – мелений кварцовий пісок, крейда, магнезит. Складові компоненти таких фарб утворюють скловидні плівки, які запобігають доступу кисню повітря до деревини і захищають її від загоряння.

Для захисту від вогню прихованих дерев'яних елементів будівель і споруд (крокв, обрешітки і ін.) використовують вогнезахисні пасти на основі глин, вапна, гіпсу, суперфосфату, які після висихання утворюють вогнетривкий шар товщиною 2...3 мм.

Вогнезахисна дія антипіренів заснована на тому, що одні з них при нагріванні деревини створюють оплавлену плівку, закриваючи доступ кисню до деревини, інші при високій температурі виділяють негорючі гази, що відтісняють повітря від поверхні деревини і одночасно розбавляють горючі гази, виділені з самої деревини при нагріванні. В якості антипіренів застосовують буру  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , хлористий амоній, фосфорнокислий натрій і амоній, сірчанокислий амоній. Обробка деревини антипіренами робиться тими ж методами, що і антисептування.

Більшість антисептиків і хімікатів для захисту деревини від комах і загоряння шкідливо діють на організм людини, викликаючи отруєння, опіки. При роботі з ними потрібно дотримуватися вимог охорони праці та техніки безпеки.

### 3.5.5. Основні породи деревини, що застосовуються в будівництві і гірничій справі

#### 3.5.5.1. Хвойні породи

Широке застосування в будівництві хвойних порід (сосни, ялини, модрина, менше – кедр і ялиця) пояснюється їх великою територіальною поширеністю, висотою і прямизною стовбурів, підвищеною в порівнянні з деякими листяними породами якістю, зокрема стійкістю проти загнивання.

**Сосна** – ядрова порода, ядро буро-червоного кольору, заболонь жовтуватобілого. Сосна займає близько 40% площі всіх лісів України.

**Ялина** займає 1/8 покритої лісом площі. Найбільше господарське значення має – європейська (звичайна) ялина. Деревина ялини має однорідний білий колір зі слабким жовтуватим відтінком, широку заболонь і стиглу деревину, що не відрізняється за кольором від заболоні. Деревина ялини м'яка, легка, як у сосни, але з меншим вмістом смолистих речовин, що знижує опірність її загниванню. Наявність в деревині ялини великої кількості твердих сучків ускладнює її механічну обробку.

Застосовують ялину для тих же цілей, що і сосну, але з урахуванням її зниженої стійкості до загнивання.

**Модрина** має ядро червонувато-бурого кольору і вузьку заболонь білого кольору. Деревина модрина мілкошарова. Міцність, твердість і середня щільність модрина вище, ніж у сосни і ялини, приблизно на 30%. Вона відрізняється підвищеною гниlostійкістю, але схильна до розтріскування. Модрина особливо цінується в гідротехнічному будівництві і мостобудуванні; з неї виготовляють шпали і рудні стійки. Модрина росте головним чином в Сибірі і на Далекому Сході, що обмежує її використання в Україні.

**Кедр** має ядро світло-бурого кольору і широку заболонь, мало відрізняється за кольором від ядра. Деревина кедр м'яка і легка, її механічні властивості нижче, ніж сосни. Застосовують кедр у вигляді круглого лісу та пиломатеріалів, для столярних виробів та оздоблення меблів - у вигляді декоративної фанери.

#### 3.5.5.2. Листяні породи

Листяні породи мають стовбури менш правильної форми, ніж хвойні. У будівництві більш широке застосування отримали дуб, ясен, береза, осика, вільха, бук.

**Дуб** – кільцесудинна порода, що має яскраво виражене ядро від світло до темно-бурого кольору і вузьку світло-жовту заболонь. Деревина дуба характеризується високою міцністю і стійкістю проти гниття, красивою текстурою і кольором, але дає значну усушку і схильна до розтріскування. У будівництві дуб використовують для виготовлення відповідальних конструкцій в гідротехнічних спорудах, в мостобудуванні, а також для виготовлення паркету, ножової фанери, столярних виробів (віконні рами, двері і тощо) і відповідальних деталей несучих конструкцій, особливо що працюють під навантаженням, спрямованим поперек волокон (опорні подушки, прокладки,

шпонки і ін.). Для оздоблювальних і декоративних робіт цінним є морений дуб чорного або темно-сірого кольору, який отримують при тривалому витримуванні дуба під водою.

**Ясень** – ядрова порода, з вигляду і будови деревини нагадує деревину дуба, але більш світлого забарвлення. Деревина ясена відрізняється високою міцністю і в'язкістю, малою схильністю до розтріскування, красивою текстурою, добре зберігається на повітрі і в воді, але легко загниває в умовах змінної вологості. Застосовують нарівні з дубом, але в умовах, безпечних для гниття.

**Береза** є поширеною в наших лісах листяною породою. Порода заболонна, має деревину білого кольору з легким жовтуватим або червонуватим відтінком, тверду і міцну, але легко загниваючу, особливо в умовах підвищеної вологості. З неї виготовляють фанеру, деякі столярні вироби і тощо. Карельську березу, що має свілеватисте розташування волокон, широко використовують в обробних роботах і меблевому виробництві.

**Осика** – заболонна порода, як і береза, виростає повсюдно. Деревина осики однорідного білого кольору, м'яка, легка, менш міцна, ніж у берези. При висиханні не жолобиться і мало тріскається, але у вологому стані легко загниває. У будівництві її використовують для зведення тимчасових споруд, а також для отримання фанери.

**Бук** – спілодеревинна порода. Деревина бука білого кольору з червонуватим відтінком, дуже міцна, з красивою текстурою на радіальному розрізі, добре гнеться, але схильна до загнивання в умовах підвищеної і змінної вологості, а при висушуванні – викривлення і розтріскування. Бук застосовують для виготовлення паркету, фанери, шпал і тощо, а також в меблевому виробництві.

### **3.5.6. Матеріали і вироби з деревини**

#### **3.5.6.1 Лісоматеріали загального призначення**

За способом механічної обробки лісоматеріали поділяють на:

- круглі;
- пилені матеріали;
- лущені;
- фрезеровані (стругані);
- колоті, вироблені розділенням деревини уздовж волокон клиновидним інструментом;
- подрібнені (тріска, тирса стружки), одержувані в процесі звичайного пиляння і фрезерування або спеціальною переробкою деревини.

**Круглі лісоматеріали.** Стовбур поваленого дерева, обпиляний від кореневої частини і очищений від сучків, називають **хлистом**. Процес поділу хлестів на частини називають **розкряжуванням**. При розкряжуванні хлестів отримують відрізки різної довжини – **колоди, кряжі і чурбаки**. У будівництві використовують головним чином колоди, як в круглому вигляді, так і в якості сировини для виробки пиломатеріалів.

Круглі лісоматеріали по товщині (діаметру верхнього відруба) поділяють на *дрібні*, *середні* і *великі*. Дрібні, називають часто підтоварниками, мають діаметр 6...13 см, середні – 14...24 см, великі – 26 см і більше. Більш тонкі частини стовбура або тонкий ліс (3...7 см) будівельники називають жердинами. *Довжина колод* – 3...6,5 м, з градацією – через 0,5 м.

Залежно від якості деревини і дефектів обробки круглі лісоматеріали поділяють на чотири сорти. У будівництві переважно використовують колоди 2-го і 3-го сортів.

**Пиломатеріали і заготівлі.** Пиломатеріали за геометричною формою і розмірами поперечного перерізу ділять на розпили, обаполи, бруси, бруски, дошки, горбиль (рис. 3.13). Бруси мають товщину і ширину більше 100 мм; бруски – товщину до 100 мм і ширину не більше подвійної товщини; дошки – товщину до 100 мм, ширину більше подвійної товщини. За характером обробки пиломатеріали ділять на *обрізні* і *необрізні*. У необрізних пиломатеріалів крайки не пропилені. За ступенем обробки пиломатеріали поділяють на *нефрезеровані* і *фрезеровані* (стругані). При товщині матеріалів до 32 мм їх називають *тонкими*, при більшій товщині – *товстими*. Тонкі дошки називають ще *тесом*.

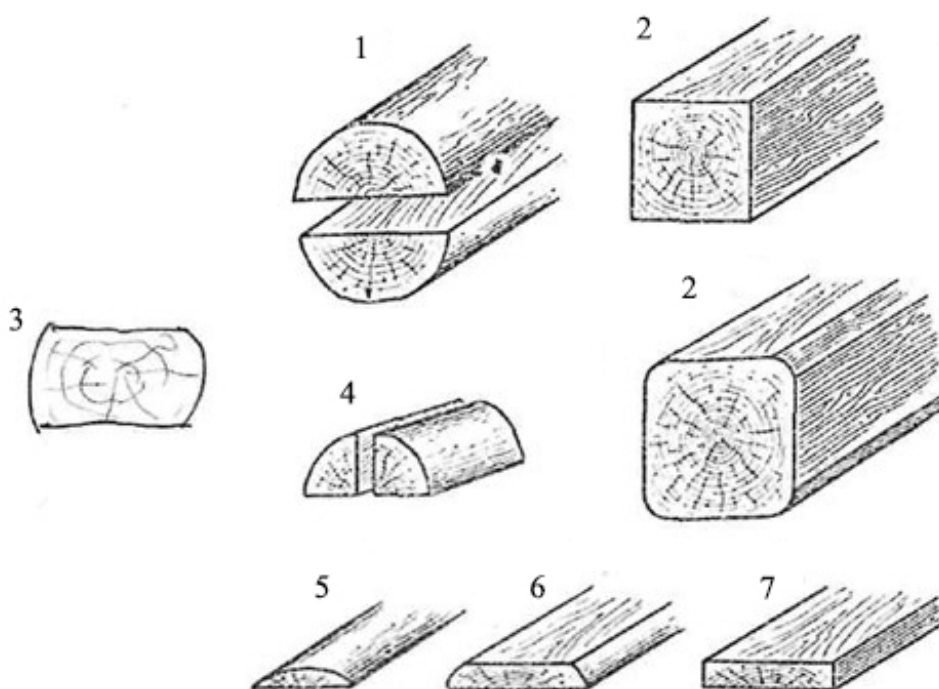


Рис. 3.13. Види пиломатеріалів: 1 – обаполи, 2 – бруси, 3 – розпил, 4 – четвертина, 5 – горбиль, 6 – необрізна дошка, 7 – обрізна дошка

Пиломатеріали хвойних порід виготовляють довжиною 1...6,5 м з градацією 0,25 м. Дошки і бруски поділяють на п'ять сортів (добірний, 1, 2, 3 і 4-й); бруси добірного сорту не мають. У будівництві використовують всі сорти, а в столярному виробництві 1-го і 2-го сорту. Ширина пиломатеріалів пов'язана з товщиною і максимально може бути: у дощок – 250 мм, брусків – 200 мм, брусів – 250 мм.

**Заготовки** – це дошки і бруски, прирізані стосовно заданих розмірів і якості деревини, використовуваної для виготовлення деталей з припусками на механічну обробку і усихання. Заготовки за видами обробки розрізняють: *пиляні* – отримані шляхом розпилювання; *клеєні* – виготовлені склеюванням з декількох більш дрібних заготовок; *калібровані* – оброблені до заданих розмірів. У будівництві широко використовують також заготовки, що мають після фрезерування спеціальну форму перетину (плінтуси, лиштви, обшивки, поручні і тощо).

### **3.5.6.2. Лісоматеріали використовувані в гірничій промисловості**

Лісоматеріали досить широко застосовуються для кріплення гірничих виробок, так як деревина має відносно високу міцність при невеликій масі, має пружність, легко обробляється і порівняно дешева. Основними недоліками дерева є невогнестійкість, значний розкид показників міцності і недовговічність в зв'язку з схильністю до гниття, яке особливо інтенсивно відбувається в підземних умовах. Внаслідок гниття термін служби соснового кріплення в середньому становить всього 2...3 роки, а при несприятливих умовах (у виробках з вихідним вентиляційним струменем і підвищеною вологістю) – менше року. Тому гірничі виробки з дерев'яним кріпленням доводиться за термін їх служби перекріплювати, що крім значних матеріальних і трудових витрат ускладнює роботу підземного транспорту і провітрювання виробок.

Щоб збільшити тривалість служби кріпильного лісу в підземних виробках, його оберігають від загнивання просочуванням спеціальними розчинами хімічних речовин (антисептиками). Для просочення кріпильного лісу застосовують слабкі (3...7%-ві) розчини фтористого натрію або хлористого цинку. Просочення виробляють вимочуванням дерева в ванні або під тиском в спеціальних котлах-автоклавах. Просоченням антисептиками можна збільшити термін служби дерев'яного кріплення і інших дерев'яних споруд (вентиляційних дверей, перемичок та ін.) в 2...3 рази. Термін служби кріпильного лісу збільшується також і за рахунок його висушування. Зазвичай кріпильний ліс висушують при тривалому зберіганні на відкритому повітрі в штабелях, захищених дахом. Ліс складають таким чином, щоб вітер міг його продувати.

Для захисту дерева від загоряння його просочують вогнезахисними хімічними розчинами або виробляють забарвлення дерева вогнезахисною пастою. Однак ці кошти повну вогнестійкість дерева не забезпечують, а тільки знижують його горючість.

Для кріплення гірничих виробок застосовують в основному хвойні породи лісу: сосну, ялину, модрина, кедр, ялицю, рідше – листяні (дуб, бук, березу та інші).

Об'ємна маса (щільність) деревини залежить від породи і вологості деревини. Кожна порода деревини має характерний колір і запах, за якими можна визначити якість деревини. Здорова деревина має рівний колір, а плями і смуги вказують на початок її загнивання. При загниванні деревини з'являється затхлий запах.

**Вологість деревини** – відношення маси, що міститься в деревині до маси абсолютно сухої деревини (висушеної при температурі 100...105 ° С), виражене у відсотках. Вологість свежесрубленої деревини коливається в широких межах – від 35 до 80% і в середньому становить для сосни 40%, ялини – 45%, ялиці – 37%, модрина – 26%, дуба – 30%.

**Міцність деревини** навіть однієї і тієї ж породи коливається в широких межах в залежності від характеру і напрямку сили (навантаження), від вологості, будови, віку та інших причин. Деревина є анізотропним матеріалом. Вона краще чинить опір розтягуванню, ніж стиску або сколюванню, і краще працює при дії цих зусиль уздовж волокон, ніж поперек. Якщо межа міцності при стисненні вздовж волокон прийняти за одиницю, то при стисканні поперек волокон він буде дорівнює 0,1...0,3; при розтягуванні вздовж волокон – 2...3, поперек волокон – 0,5...0,3. Міцність деревини на сколювання приблизно в 7 разів менше міцності на стиск уздовж волокон.

Значно знижується міцність деревини зі збільшенням її вологості. Тому в якості кріпильного матеріалу не слід застосовувати сирові ліс. Міцність деревини також залежить від її віку: деревина молодих дерев менш міцна. Гниття, сучки, тріщини, червоточини і інші пороки знижують міцність деревини. Межі міцності (руйнівні навантаження) деревини для найбільш уживаних порід дерева (при вологості 15%) наведені в табл. 3.9.

Фактичні показники міцності кріпильних дерев'яних стійок, отримані на основі узагальнення результатів випробувань великого числа стійок, тривалий час зберігалися на лісових складах шахт Донецького, Карагандинського і Підмосковного вугільних басейнів, наведених в табл. 3.10.

**Вадами деревини** називають різні неправильності її будови або внутрішні пошкодження, а також захворювання, що роблять її непридатною для виготовлення кріплення. До вад деревини відносять ненормальне забарвлення і гниль, пошкодження комахами (червоточина), тріщини, сучки, неправильність форми і будови деревини.

**Сортамент кріпильних лісоматеріалів.** В якості кріпильного матеріалу застосовують круглі лісоматеріали – колоди, підтоварник, стійки і пиломатеріали – пластини (розпили), бруси, дошки, обаполи (горбилі). Найбільше застосування для кріплення виробок мають стійки і обаполи.

Таблиця 3.10

### Фактичні показники міцності кріпильних дерев'яних стійок

Довжина стійки, м	Середній діаметр стійки, см	Вологість деревини, %	Середня межа міцності при осьовому стисканні, МПа		Несуча здатність, тс
			при фактичній вологості	приведений до стандартної вологості (15%)	
Соснові стійки					
0,61	8...10	27,4	20,4	32,6	16...25
0,9...1,1	10...12	11,5...15,5	27,1	24,8	19...28
2,2...2,5	10,5...20	18,4	17,1	20,2	17,5...63

1,1...1,2	11...19	16...18	28,7	33	31...93
2,3...2,8	18...23	16...18	14,6	16,8	43...70
2,8...3	17...24	18...20	17,3	20,8	86...94
<b>Ялинові стійки</b>					
2,3...2,5	15...20	22,9	15,2	20	35...62
0,61	9...11	22	19,7	25,1	16...24

**Колоди** – відрізки стовбура дерева довжиною від 5 до 9 м і товщиною у верхньому торці 12 см і більше.

**Підтоварник** – круглий лісоматеріал довжиною від 3 до 9 м і товщиною у верхньому торці від 8 до 11 см.

**Рудничні стійки** – круглий лісоматеріал довжиною від 0,5 до 5 м і товщиною у верхньому торці від 7 до 30 см. Відхилення довжини стійок допускаються в розмірі  $\pm 2$  см, діаметра – 0,5 см для стійок завтовшки до 11 см (включно) і 1 см для стійок завтовшки 12 см і більше. Для кріплення гірничих виробок застосовують в основному такі пиломатеріали.

**Розпили** – стійки, розпиляні навпіл уздовж поздовжньої осі. Пластини і розпили в основному служать в якості верхняків тимчасового кріплення, прогонів і для затягування боків і покрівлі виробок.

**Бруси** – пиломатеріали, товщина яких дорівнює ширині або більше половини ширини. Причому, якщо товщина і ширина їх становить 10 см і менше, їх називають брусками. Сторони брусів називають кантами. Розрізняють бруси чотирьохконтного, у яких пропиляні чотири сторони, і двоконтні, у яких пропиляні тільки дві сторони. Довжина брусів коливається від 1 до 6,5 м, переріз – від  $13 \times 13$  до  $25 \times 25$  см. Бруси застосовують для кріплення неглибоких вертикальних виробок (шурфів, гезенків), похилих виробок прямокутного перерізу, для армування стовпів, а також для шпал рейкової колії. Бруски застосовують для виготовлення сходів, трапів і перил ходових відділень.

**Дошки** – пиломатеріали, ширина яких більше подвійної товщини. Дошки можуть бути необрізні, у яких бічні кромки не обпиляні, і обрізні, мають прямокутний переріз. Дошки застосовують для затягування боків і покрівлі виробок, пристрої кружало, опалубки, полків, обшивки ходових відділень і перемичок.

**Обапола**, або **горбилі** – крайні частини стовбура дерева, розпиляного на бруси або дошки. Обапол може бути горбильний, коли пропилює тільки з одного боку, і дощатий – з пропилом з двох сторін. Обаполи використовують в основному для затягування покрівлі та боків виробок.

### 3.6. Теплоізоляційні та звукоізоляційні матеріали та вироби

#### 3.6.1. Теплоізоляційні матеріали та вироби

Будівельні матеріали для теплової ізоляції огорожувальних конструкцій будівель, промислового та енергетичного обладнання і трубопроводів називають теплоізоляційними. Такі матеріали мають низьку теплопровідність [не більше  $0,18 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ] і невелику щільність (не вище  $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ ).

Застосування теплоізоляційних матеріалів є одним з найважливіших напрямів технічного прогресу в будівництві. При цьому з'являється можливість різко знизити масу конструкцій і витрати на спорудження будівлі, раціонально використовувати енергетичні ресурси.

Застосування в будівництві полегшених цегляних стін з ефективними утеплювачами замість суцільної цегляної кладки дозволяє в 2...2,5 рази скоротити потребу в цеглі, цементі і вапні, в 3 рази знизити масу конструкцій, транспортні витрати і до 30% знизити вартість стін.

Теплоізоляційні матеріали дозволяють створити легкі стінові панелі, конструкції легких покриттів. Це дає можливість підвищити ступінь індустріалізації будівельних робіт.

Досить ефективним є використання теплоізоляційних матеріалів для ізоляції теплових агрегатів, технологічної апаратури та трубопроводів. Питома вага теплоізоляційних робіт в житлово-цивільному будівництві становить близько 1%, в промисловому будівництві він зростає до 1,8%, в тому числі в будівництві електростанцій і нафтохімічних об'єктів – до 2,5...3%. Застосування теплоізоляційних матеріалів в цьому випадку дозволяє знизити витрату палива за рахунок зменшення тепловтрат, а в ряді випадків інтенсифікувати технологічні процеси, поліпшити умови і підвищити продуктивність праці. Дуже важливо використання теплоізоляційних матеріалів у різних холодильних установках для зниження втрат холоду, так як вартість отримання одиниці холоду приблизно в 20 разів перевищує номінальну вартість отримання відповідної одиниці теплоти.

Важливою характеристикою теплоізоляційних матеріалів є **теплопровідність**, за величиною якої їх ділять на три класи: *малотеплопровідні* – клас А [менше 0,058 Вт/(м·°С)]; *середньотеплопровідні* – клас Б [0,058...0,116 Вт/(м·°С)]; *підвищеної теплопровідності* – клас В [не більш як 0,18 Вт/(м·°С)].

Внаслідок складності визначення теплопровідності на практиці теплоізоляційні матеріали зазвичай класифікують за *щільністю*, значення якої з певним ступенем наближення дають уявлення про теплопровідність матеріалу. Всі теплоізоляційні матеріали по щільності (кг/м<sup>3</sup>) ділять на особливо легкі (ОЛ), що мають марки: 15, 25, 35, 50, 75, 100; легкі (Л) – 125, 150, 175, 200, 250, 300 і важкі (Т) – 400, 450, 500, 600. Матеріал, маючий середню щільність, що не збігається з показниками марок, відноситься до найближчої більшої марки.

По *виду вихідної сировини* теплоізоляційні матеріали можуть бути: *неорганічні* (мінеральна і скляна вата, пористі бетони, матеріали на основі азбесту та ін.) і *органічні* (деревоволокнисті і деревостружкові плити, комишит, торф'яні плити, матеріали з пластмас і інші). Виготовляють також комбіновані матеріали, що складаються з неорганічної та органічної сировини (фіброліт, арболіт, мінеральні волокна з органічним зв'язуючим).

За *зовнішнім виглядом і формою* теплоізоляційні матеріали ділять на *сипкі* і *штучні*. Сипучі матеріали являють собою пухкі маси порошкоподібної, зернистої або волокнистої будови. У сухому вигляді їх використовують для засипання в порожнини стін, міжповерхових перекриттів (мінеральна вата,



керамзитовий гравій). Деякі порошкоподібні матеріали зачиняють водою і у вигляді мастик наносять на ізольовану поверхню трубопроводів та гарячого обладнання (асбозурит, совеліт і тощо). Штучні матеріали мають різну форму і зветься теплоізоляційними виробами. Їх випускають у вигляді плит, листів, блоків, цегли, фасонних виробів (сегменти, шкаралупи), матів, рулонів, шнурів і інших виробів. Застосування штучних виробів для теплоізоляції дозволяє поліпшити якість теплоізоляційних огорожень, знизити трудові витрати, вартість і підвищити рівень індустріалізації будівельних робіт в порівнянні з використанням засипок або мастичної ізоляції.

За характером застосування розрізняють матеріали, що використовуються для ізоляції конструкцій, ті що знаходяться в звичайних температурних умовах (будівельні теплоізоляційні матеріали), і для ізоляції гарячих поверхонь (монтажні теплоізоляційні матеріали). Деякі теплоізоляційні матеріали придатні як для утеплення будівельних конструкцій, так і для ізоляції гарячих поверхонь (мінеральна і скляна вата, піноскло, пористі бетони та ін.)

### ***Будова і властивості.***

З усіх середовищ, не рахуючи безповітряного простору, найменшою теплопровідністю володіє повітря, особливо коли воно укладене в порах матеріалу, тобто малорухливе  $[0,023 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})]$ . Якщо пори великі і тим більше сполучені між собою і зовнішнім середовищем, то відбувається конвекційне пересування повітря і теплопровідність матеріалу збільшується. Тому матеріали для теплової ізоляції виготовляють високопористими і по можливості дрібнопористими, а отже, і легкими. При цьому міжпоровий простір, займаний твердою речовиною («каркасом»), прагнуть створювати з речовин, що мають аморфну, а не кристалічну будову, так як матеріали склоподібної будови менш теплопровідні, ніж кристалічної. Зазвичай пористість теплоізоляційних матеріалів більше 50%, а деякі найбільш ефективні теплоізоляційні матеріали, наприклад пористі пластмаси, як би побудовані з повітря (пори займають 90...98%, а стінки пір – всього лише 2...10% від загального обсягу).

***Неорганічні теплоізоляційні матеріали та вироби*** виготовляють на основі мінеральної сировини (гірських порід, шлаку, скла, азбесту). До цієї групи відносять мінеральну, скляну вату та вироби з них, деякі види легких бетонів на пористих заповнювачах (спученому перліті і вермикуліті), пористі теплоізоляційні бетони, піноскло, азбестові, керамічні та інші. Ці матеріали використовують як для утеплення будівельних конструкцій, так і для ізоляції гарячих поверхонь промислового обладнання і трубопроводів.

Мінеральна вата і вироби з неї за обсягом виробництва посідають перше місце серед теплоізоляційних матеріалів. Цьому сприяє наявність сировинних ресурсів для їх отримання у вигляді гірських порід (доломіту, вапняку, мергелів, базальту та ін.), шлаків і зол; простота технологічного процесу; невеликі капіталовкладення при організації виробництва. Мінеральна вата складається з штучних мінеральних волокон. Виробництво її включає дві основні технологічні операції – отримання розплаву і перетворення його в найтонші волокна. Розплав отримують, як правило, в шахтних плавильних печах – вагранках або ванних печах. Перетворення розплаву в мінеральне

волокно виробляють дуттьовим або відцентровим способом. При дуттьовому способі розплав, що виходить з печі розбивається на дрібні крапельки струменем пари або повітря, які вдуваються в спеціальну камеру і в польоті сильно витягуються, перетворюючись в тонкі волокна діаметром 2...20 мкм. При відцентровому способі струмінь рідкого розплаву надходить на диск центрифуги, що швидко обертається, і під дією великої окружної швидкості скидається з нього і витягується в волокна.

Щільність мінеральної вати 75...150 кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність 0,042...0,046 Вт/(м·°С). Вата не горить, не гниє, її не псують гризуни, вона малогігроскопічна, морозостійка і температуростійка. Мінеральну вату застосовують для теплоізоляції як холодних (до -200°С), так і гарячих (до +600°С) поверхонь, частіше у вигляді виробів: повсті, матів, напівтвердих і твердих плит, шкаралуп, сегментів. Іноді вату використовують як теплоізоляційну засипку пустотілих стін і перекриттів, для чого її гранулюють, тобто перетворюють у пухкі грудочки в дірчастому барабані.

**Мінеральний повсть** випускають у вигляді листів і рулонів з мінеральної вати, злегка просоченої дисперсіями синтетичних смол і спресованої (рис. 3.14). Щільність повсті 100...150 кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність 0,046...0,052 Вт/(м·°С). Листи і полотна мінеральної повсті застосовують для утеплення стін і перекриттів в цегляних, бетонних і дерев'яних будинках.

**Скляна вата** є різновидом штучного мінерального волокна. Для виготовлення вати використовують скляний бій або ті ж сировинні матеріали, що і для віконного скла: кварцовий пісок, вапняк або крейда, соду або сульфат натрію. Тонке скляне волокно для текстильних матеріалів отримують витягуванням з розплавленої скломаси (фільтрний і штабіковий способи). Більш грубе волокно, що застосовується для теплової ізоляції, виготовляють дуттьовим або відцентровим способом. Таке волокно називають скляною ватою. Щільність скляної вати зазвичай не перевищує 125 кг/м<sup>3</sup>, а теплопровідність – 0,052 Вт/(м·°С). Промисловість випускає також супертонке скловолокно щільністю до 25 кг/м<sup>3</sup> і теплопровідністю близько 0,03 Вт/(м·°С). Скляна вата практично не дає усадки в конструкціях, волокна її не руйнуються при тривалих струсах і вібрації. Вона погано проводить і добре поглинає звук, малогігроскопічна морозостійка. Шар скляної вати товщиною 5 см відповідає термічному опору цегляної стіни товщиною в 1 м.

**Скловатні мати і напівжорсткі і жорсткі плити**, а також фасонні вироби на сполучних з синтетичних смол застосовують в якості теплоізоляційного, акустичного матеріалу при температурі не вище 200 °С, а прошивні мати і смуги – при температурі до 450 °С.

**Азбестовмісні теплоізоляційні матеріали та вироби** поділяють на **азбестові**, що складаються з азбестового волокна (азбестовий папір, картон та вироби з нього), і **азбестовмісні**, виготовлені із суміші азбестових волокон з неорганічними в'язучими речовинами (магнезіальні в'язучі, вапно, цемент) або з трепелом (діатомітом). Порошкоподібні суміші цих матеріалів перед застосуванням зачиняють водою і отриману пластичну масу наносять на

ізолювану поверхню. У заводських умовах з таких же мас формують вироби – плити, сегменти і шкаралупи.

**Азбестовий папір** виготовляють у вигляді листів і рулонів з азбестового волокна 5...6-го сортів з невеликою кількістю (до 5%) склеюючих речовин (крохмаль, казеїн). Товщина паперу 0,3...1,5 мм, щільність 450...950 кг/м<sup>3</sup>, а теплопровідність при 100 °С становить 0,14...0,198 Вт/(м·°С); гранична температура застосування 500 °С. Крім гладкого випускають гофрований папір. Гладкий папір використовують в якості теплоізоляційної прокладки при ізоляції трубопроводів, а гофрований – для виробництва однієї з різновидів азбестового картону (пористий азбестовий картон).

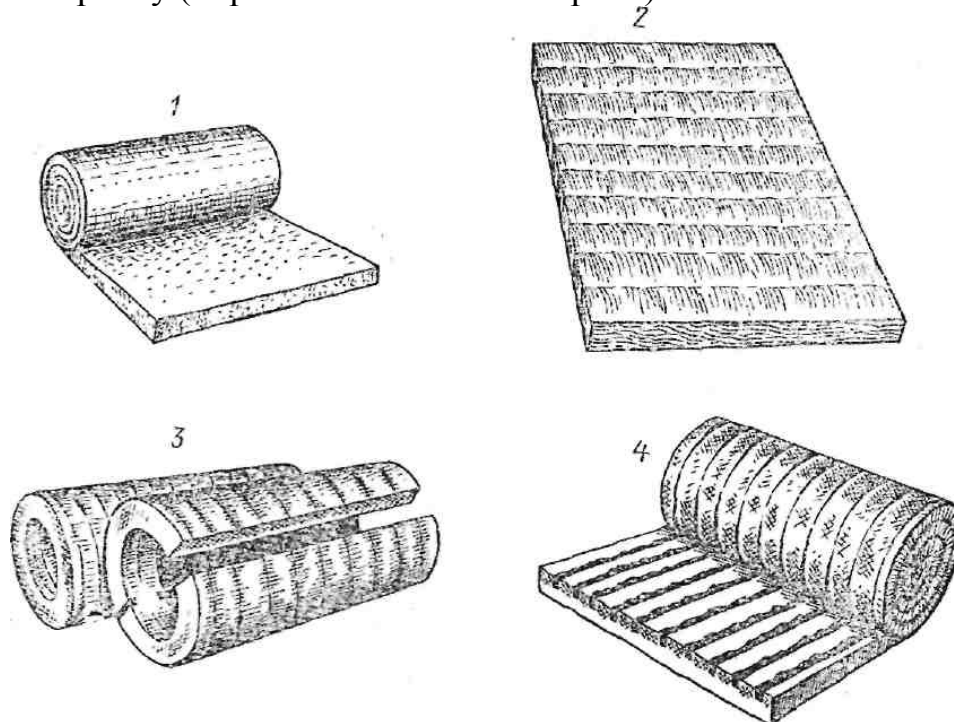


Рис. 3.14. Теплоізоляційні матеріали з мінеральної вати:

1 – повсть; 2 – напівжорстка плита; 3 – шкаралупи; 4 – прошивний мат

**Азбестовий картон** виготовляють з азбесту 4...5-го сортів з наповнювачем (каоліном) і клейкою речовиною (крохмалем) у вигляді листів товщиною 2...10 мм. Щільність листів 900...1000 кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність при 100 °С 0,182 Вт/(м·°С). Азбестовий картон застосовують для ізоляції трубопроводів (до 500 °С), а також для покриття дерев'яних конструкцій і дверей, щоб підвищити їх вогнестійкість. Азбестовий картон пористої будови виготовляють шляхом склеювання рідким склом або клеєм шарів гладкого і гофрованого азбестового паперу, що чередуються. Завдяки пористій будові такий картон легкий і малотеплопровідний [теплопровідність при 50 °С і щільність 200...600 кг/м<sup>3</sup> складає 0,052...0,093 Вт/(м·°С)].

Деревина сама по собі представляє пористий матеріал (пористість 60...70%). Крім того, деревна стружка і деревні волокна розташовані в деяких теплоізоляційних виробах (фібrolітових, деревно-стружкових плитах і тощо) так, що тепловий потік в конструкції виявляється спрямованим не вздовж, а впоперек волокон, тому це створює додатковий опір проходженню теплоти.

Разом з тим стружка і волокна деревини або іншої рослинної сировини створюють своєрідний арматурний каркас в теплоізоляційних виробках. Нарешті, використання деревних та інших рослинних відходів для масового виробництва теплоізоляційних матеріалів є економічно вигідним і сприяє вирішенню екологічної проблеми, тобто дозволяє зменшити можливе забруднення навколишнього середовища.

**Деревоволокнисті плити (ДВП)** виготовляють з неділової деревини, відходів лісопильної і деревообробної промисловості, паперової макулатури, а також стебел соломи, кукурудзи, бавовнику і деяких інших рослин.

З метою підвищення надійності та довговічності деревоволокнистих виробів при їх виготовленні застосовують спеціальні добавки: водні емульсії синтетичних смол, емульсії з парафіну, каніфолі, бітуму, антисептики і антипірени, а також азбест, глинозем, гіпс і інші.

Щільність деревоволокнистих ізоляційних і ізоляційно-оздоблювальних плит 150...350 кг/м<sup>3</sup>, теплопровідність 0,046...0,093 Вт/(м·°С), міцність при вигині не менше 0,4...2,0 МПа.

Перевагою плит є їхні великі розміри (довжина до 3 м, ширина до 1,6 м), так як це сприяє індустріалізації будівельно-монтажних робіт і зменшенню витрат праці.

Ізоляційні плити використовують для тепло- і звукоізоляції стін, стель, підлог, перегородок і міжповерхових перекриттів, утеплення покрівель, акустичної обробки спеціальних приміщень (радіостудій, машинописних бюро, концертних залів і тощо).

**Деревостружкові плити** отримують гарячим пресуванням маси, що містить близько 90% органічної волокнистої сировини (найчастіше тонка деревна стружка) і 8...12% синтетичних смол (мочевиноформальдегідної, фенолформальдегідної і ін.). Деревостружкові плити випускають одно- і багат шаровими. Наприклад, у тришарової плити пористий середній шар складається з відносно великих стружок, а поверхневі шари виконують з однакових по товщині плоских тонких стружок.

Для теплоізоляційних цілей служать легкі плити щільністю 250...500 кг/м<sup>3</sup> і теплопровідністю 0,046...0,093 Вт/(м·°С). Напівважкі і важкі плити щільністю відповідно 500...800 і 800...1000 кг/м<sup>3</sup> і міцністю при вигині 5...35 МПа застосовують як оздоблювальний і конструкційний матеріал. Области застосування деревостружкових плит в будівництві приблизно ті ж, що і деревоволокнистих плит.

**Фіброліт** – плитний матеріал, виготовлений зазвичай зі спеціальних деревних стружок (деревної вовни) і неорганічної в'язучої речовини. Деревну вовну одержують на спеціальних верстатах у вигляді тонких і вузьких стрічок. В якості в'язучого частіше використовують портландцемент, рідше магнезіальне в'язуче.

### 3.6.2. Звукоізоляційні матеріали

*Звукоізоляційними* називають *матеріали*, що застосовуються в основному для ослаблення ударного шуму і поглинання падаючих на них звукових хвиль.

Звукоізоляційна здатність матеріалу в огорожі оцінюється по різниці рівнів звуку з обох сторін огорожі і виражається в децибелах. Граничні (максимально допустимі) рівні шуму встановлюються в залежності від призначення приміщення і частотної характеристики звуку. Нормальне вухо людини сприймає звукові коливання частотою 16...20000 Гц, причому особливо чутливими є частоти 1500...3000 Гц. Звукоізоляційна здатність огороження прямо пропорційна десятковому логарифму його маси. Однак збільшення маси конструкцій робить їх занадто важкими, громіздкими і дорогими. Набагато ефективніше конструкції, виготовлені з пористих матеріалів, або багатошарові конструкції, що мають повітряні прошарки. В цьому випадку використовуються пружні властивості повітря, яке гасить звукові коливання і перериває поширення звуку. З цієї ж причини і звукопоглинальні матеріали прагнуть виготовляти високопористими (пористість 40...90%), тобто як і теплоізоляційні матеріали. Однак на відміну від теплоізоляційних матеріалів, де вигідні замкнуті повітряні пори, ефективність звукопоглинальних матеріалів зростає при наявності наскрізних пір або спеціальної перфорації.

Акустичні матеріали повинні зберігати свої властивості в процесі тривалої експлуатації і в той же час задовольняти загальним будівельно-технічним вимогам по вогнестійкості, біо- і вологостійкості, механічній міцності і економічності.

### 3.6.3. Звукопоглинальні матеріали та вироби

Звукопоглинальні матеріали знижують енергію падаючих на них звукових коливань і тому служать для боротьби з повітряним шумом. При застосуванні для акустичної обробки усередині приміщень вони виконують також декоративну роль (декоративно-акустичні матеріали).

Основною акустичною характеристикою звукопоглинальних матеріалів є коефіцієнт звукопоглинання  $\alpha$ , що дорівнює відношенню кількості енергії звукових коливань, поглиненої матеріалом або конструкцією, до загальної кількості звукової енергії, що падає на ізольовану поверхню в одиницю часу:

$$\alpha = E_{\text{погл}} / E_{\text{пад}}$$

Всі будівельні матеріали мають в тій чи іншій мірі звукопоглинання. До звукопоглинальних матеріалів прийнято відносити тільки ті, які мають коефіцієнт звукопоглинання на середніх частотах більше 0,2. Ці матеріали характеризуються високою, переважно відкритою, пористістю. Для посилення поглинання звукової енергії звукопоглинальні матеріали часто додатково перфорують. Перфорація полегшує доступ звукових хвиль до матеріалу і в залежності від розміру і форми отворів, їх нахилу і глибини, а також відсотка перфорації (відношення площі, займаної отворами, до загальної площі виробу) збільшує коефіцієнт звукопоглинання на 10...20% і більше. Для цієї ж мети фактуру поверхні виробів роблять тріщинуватою, бороздчатою або рельєфною

(рис. 3.15) і забарвлюють емульсійними або клейовими фарбами, що утворюють пористе покриття.

Звукопоглинальні плити доцільно розташовувати в конструкції з повітряним зазором – «на віднесенні». При цьому використовуються пружні властивості повітря, що також збільшує звукопоглинання конструкції.

Звукопоглинальні матеріали застосовують у вигляді одношарового однорідного пористого матеріалу з офактуреною поверхнею, дво- і багат шарових пористих матеріалів з жорстким перфорованим покриттям, а також у вигляді штучних одно- і багат шарових виробів різноманітних розмірів і форми.

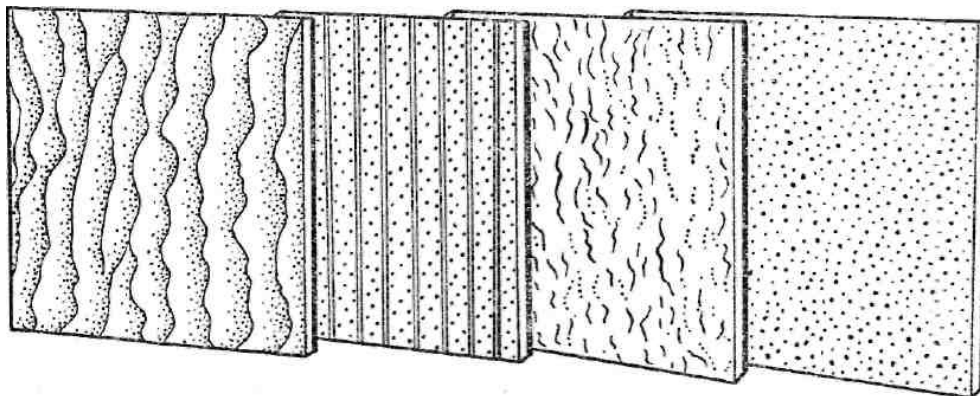


Рис. 3.15. Види обробки поверхні звукопоглинальних плит

**Одношарові пористі звукопоглинальні матеріали та вироби** можуть мати волокнисту, конгломератну і пористу структуру. З звукопоглинальних матеріалів із волокнистою структурою найбільше значення мають мінераловатні і деревоволокнисті плити.

**Мінераловатні плити** виготовляють з мінерального, в тому числі скляного або азбестового, волокна на синтетичному або бітумному сполучному. Ці плити відрізняються від теплоізоляційних більш жорстким скелетом, наскрізною пористістю і зовнішнім оздобленням. Ефективними оздоблювальними звуковбирними матеріалами на основі мінеральних волокон є плити «акмігран» і «акмініт». Для виробництва «акміграну» застосовують мінеральну або скляну гранульовану вату і сполучне, що складається з крохмалю, карбоксилцелюлози і бентоніту. З приготовленої суміші сполучного і гранул вати формують плити товщиною 20 мм, які після сушки піддають обробці (їх калібрують, шліфують і фарбують). Лицьова поверхня плит має «тріщинувату» фактуру. Плити «акмініт» мають дещо змінений склад (замість бентоніту використовують каолін), а формують їх литтям у формах. Коефіцієнт звукопоглинання обох видів плит в середньому і високому діапазоні частот становить 0,8...0,9. Плити призначені для акустичної обробки стель і верхньої частини стін громадських і адміністративних будівель з відносною вологістю повітря не більше 75%.

Для звукопоглинальних облицювань використовують пористі (м'які) деревоволокнисті плити з щільністю 200...300 кг/м<sup>3</sup>. Плити перфорують зазвичай на 2/3 товщини круглими отворами або пазами і забарвлюють клейовою фарбою.

### 3.7. Бітумні і дьогтьові в'язучі та матеріали на їх основі

#### 3.7.1. Бітумні і дьогтьові в'язучі

Бітумні і дьогтьові в'язучі речовини поряд з полімерами і органічними клеями утворюють групу органічних в'язучих речовин. На основі цих в'язучих виробляють велику кількість матеріалів і виробів для будівництва: асфальтові бетони і розчини, рулонні покрівельні та гідроізоляційні матеріали, мастики, пасти, емульсії і деякі лаки.

**Бітумні матеріали** можуть бути як природні, що зустрічаються у вигляді окремих скупчень або частіше просочених гірських породах, так і штучні, одержувані при переробці нафти. Дьогтьові – штучні матеріали, одержувані в заводських умовах при сухій перегонці твердих видів палива.

Розрізняють такі групи бітумних і дьогтьових в'язучих речовин: бітумні, що складаються з нафтових бітумів або зі сплавів нафтових і природних бітумів; дьогтьові – кам'яновугільні або сланцеві або сплави дьогтьових масел з пеками; змішаного виду – гудрокамкові (продукти спільного окислення кам'яновугільних масел і нафтового гудрону); дьогтьо- і бітумополімерні, що містять нафтові бітуми або кам'яновугільні дьогтьові речовини і полімери. Бітумні і дьогтьові в'язучі мають темно-коричневий або чорний колір, тому їх часто називають «чорними в'язучими».

Найбільш широке застосування в будівництві та виробництві будівельних матеріалів отримали бітумні в'язучі та особливо нафтові бітуми, які за обсягом випуску серед інших органічних в'язучих займають перше місце. Дьогтьові матеріали застосовують обмежено, так як більшість їх служить сировиною для отримання різних цінних хімічних продуктів.

##### 3.7.1.1. Бітуми

**Природні бітуми** (тверді або в'язкі) утворилися з нафти в верхніх шарах земної кори в результаті випаровування летючих фракцій і під впливом окисного процесу і полімеризації.

Природні бітуми іноді зустрічаються у вигляді покладів, які складаються майже з чистого бітуму з невеликою кількістю мінеральних домішок частіше вони містяться в осадових гірських породах: пісках, пісковиках, карбонатних породах (вапняках, доломітах), глинистих ґрунтах. Такі породи називають асфальтовими або бітумінозними.

В Україні асфальтові породи є на заході України і, в Криму. З цих порід витягують бітум за допомогою розчинників або виварюванням в гарячій воді. При утриманні бітуму менш 2...3%, коли витяг бітуму економічно недоцільний, асфальтові породи розмелюють і застосовують у вигляді асфальтового порошку як компонент в асфальтових бетонах або асфальтових мастиках.

Природні бітуми відрізняються високою атмосферостійкістю і хорошим прилипанням до поверхні кам'яних матеріалів, але через дефіцитність і високу вартість в будівництві застосовують обмежено. Їх використовують головним чином в хімічній і лакофарбовій промисловості.

**Нафтові бітуми** отримують з нафти шляхом обробки залишків, що утворюються при її фракційній перегонці на нафтопереробних заводах.

За призначенням нафтові бітуми ділять на будівельні, покрівельні та дорожні.

### **3.7.1.2. Дьогті**

**Дьогті** отримують в процесі сухої перегонки (без доступу повітря) кам'яного або бурого вугілля, сланцю, дерева, торфу та інших органічних речовин з метою отримання коксу, напівкоксу або газу. При цьому утворюються летючі речовини, які після конденсації (згущення) утворюють в'язкі рідини, звані, відповідно, кам'яновугільними, буровугільними, сланцевими, торф'яними і деревними дьогтями. При перегонці утворюється твердий залишок, званий **пеком**.

Властивості дьогтів в основному ті ж, що і у бітумів, вони відрізняються меншою тепло- і погодостійкістю. Однак дьогті внаслідок великого в порівнянні з бітумом змісту в них речовин з полярними групами відрізняються підвищеною адгезією до інших матеріалів і більшою гниlostійкістю, ніж бітуми, так як містять токсичні речовини, наприклад – фенол.

Кам'яновугільний дьоготь, пек застосовують у виробництві дьогтьових покрівельних матеріалів, мастик, для виготовлення дьогтебетонів.

### **3.7.1.3. Асфальтові і дьогтьові бетони і розчини**

**Асфальтові і дьогтьові розчини та бетони** являють собою штучний кам'яний матеріал конгломератної будови. Їх отримують в результаті затвердіння раціонально підбраної і виготовленої суміші бітуму (дьогтю), мінерального порошку і пухких кам'яних матеріалів - піску, щебеню або гравію (в бетонах) або тільки піску (в розчинах). При використанні бітумів в якості сполучного їх називають асфальтобетонами або асфальтовими розчинами, а при використанні дьогтьових в'язучих - дьогтебетонів. У будівництві найбільш широке застосування мають асфальтобетони.

За виробничим призначенням їх поділяють на:

- *дорожні, аеродромні; гідротехнічні;*
- *промислового призначення* – для влаштування підлог і плоских покрівель промислових будівель, складів, гаражів та ін .;
- *декоративні* – для оформлення міських площ, проходів і тощо.

За крупністю зерен щебеню і піску розрізняють крупнозерністі асфальтобетони – з розмірами зерен до 40 мм, середньозерністі – до 25 мм, дрібнозерністі – до 15 мм, піщані – до 5 мм (іноді до 3 мм).

Залежно від змісту щебеню і піску, їх структури асфальтобетонні суміші ділять на наступні типи: А – багатощебенисті з вмістом щебеню 50...65%; Б – середньощебенисті – 35...50%; В – мало щебенисті – 20...35%; Г – піщані з дробленого піску; Д – піщані з природного піску.

**Виробництво.** Приготування асфальтового бетону починають з заводського виробництва асфальтобетонної суміші і закінчують її укладанням і ущільненням в покритті на будівельному об'єкті, а при виготовленні штучних



виробів - на тому ж заводі. Вихідні мінеральні матеріали піддають попередній сушці і нагріванню до робочих температур (180...200 °С), а потім розділяють по фракціям, точно дозують і подають в змішувач періодичної або безперервної дії, куди одночасно надходить попередньо підігрітий (до 150...170 °С) і віддозований бітум. Далі готову асфальтобетонну суміш зазвичай в автосамосвалах відправляють на місце укладання. Укладання асфальтобетонної маси виробляють на підготовлену основу спеціальними машинами - асфальтоукладальниками. Гарячу і теплу суміш розкладають шаром, на 15...20% перевищуючим товщину покриття, а для холодних сумішей – 50...60%. Укладений шар маси ущільнюють моторними статичними (масою 5...14 т) або більш ефективними вібромоторними катками (масою 0,5...4,5 т).

**Властивості.** На відміну від цементного бетону властивості асфальтового бетону в значній мірі змінюються від температури.

Межа міцності асфальтового бетону при стисненні порівняно невелика, але достатня, щоб протистояти реальним напругам, що виникають в покриттях. При температурі 20 °С для дорожнього гарячого асфальтобетону він повинен бути не менше 2,2...2,4 МПа. Зі зниженням температури опір стисненню різко зростає, а при – 15...– 25 °С можна порівняти з міцністю цементного бетону. З підвищенням температури міцність, навпаки, знижується до 1,0...1,2 МПа при 50 °С. У певному температурному інтервалі асфальтовий бетон добре чинить опір ударним впливам. Він має досить гарну зносостійкість і водостійкість. Його знос складає 0,2...1,5 мм на рік, а коефіцієнт розм'якшення не менше 0,9.

У порівнянні з цементним бетоном асфальтовий бетон може деформуватися в покритті (хвилі, тріщини) не тільки при недостатній міцності при стисненні, розтягненні або зсуві, а й через недостатню пластичність при знижених температурах або надмірній пластичності при підвищених температурах.

**Застосування.** Основне застосування асфальтові бетони знайшли в дорожньому будівництві. Крупнозерністі бетони використовують для влаштування нижнього шару дорожнього покриття; середньозерністі – одношарового покриття і верхнього шару двошарового покриття; дрібнозерністі – для верхнього шару покриття з інтенсивним рухом. Піщаний асфальтобетон застосовують для покриття тротуарів, підлог в промислових будівлях, влаштування плоских покрівель, гідроізоляційних шарів і тощо.

**Дьогтебетон** виготовляють з тих же мінеральних матеріалів, що і асфальтовий бетон, але в якості в'язучого використовують не бітум, а кам'яновугільний дьоготь підвищеної в'язкості, частіше складений з пеку і кам'яновугільного масла. Дьогтебетон поступається асфальтобетонам по атмосферостійкості, теплостійкості, водо- і зносостійкості, міцності при стисненні. При тривалому впливі води з дьогтебетону можуть вимиватися деякі розчинні компоненти дьогтів (феноли), що володіють токсичністю і отруйною дією на ґрунтові води і водойми. Його застосовують для влаштування покриттів на дорогах другорядного значення і в ненаселених пунктах.

**Асфальтополімербетон** готують, використовуючи в якості в'язучого гудрони і важкі нафти, модифіковані полімером (латексом, бутилкаучуком і

ін.). Застосовують для влаштування монолітних і збірних протифільтраційних екранів і облицювань гідроспоруд, що зводяться в районах Крайньої Півночі.

**Асфальтовые и дегтевые растворы и бетоны** представляють собою искусственный каменный материал конгломератного строения. Их получают в результате затвердевания рационально подобранной и изготовленной смеси битума (дегтя), минерального порошка и рыхлых каменных материалов – песка, щебня или гравия (в бетонах) или только песка (в растворах). При использовании битумов в качестве связующего их называют асфальтобетонами или асфальтовыми растворами, а при использовании дегтевых вяжущих – дегтебетонами. В строительстве наиболее широкое применение имеют асфальтобетоны.

#### **3.7.1.4. Покрівельні, гідроізоляційні та герметизуючі матеріали**

Покрівельні, гідроізоляційні та герметизуючі матеріали дозволяють надійно і тривалий період експлуатувати споруди. Від їх довговічності в багатьох випадках залежить і довговічність конструкцій.

**Покрівельні матеріали** повинні володіти не тільки міцністю, але і атмосферостійкістю, водостійкістю, водонепроникністю і теплостійкістю.

**Гідроізоляційні матеріали** піддаються часто значному напору води, в тому числі, що містить домішки. Крім властивостей, властивих покрівельним матеріалам, вони повинні мати підвищену міцність і водонепроникність, хімічну стійкість, а також достатню еластичність, щоб не могли виникнути тріщини і розриви внаслідок можливих усадочних, температурних та інших деформацій ізольованих конструкцій.

Зазначеним вимогам в значній мірі задовольняють покрівельні та гідроізоляційні матеріали, одержувані на основі бітумів і дьогтів.

Бітумні і дьогтьові рулонні покрівельні матеріали, незважаючи на деякі істотні недоліки в порівнянні з азбестоцементними та черепицею (менша довговічність і вогнестійкість, необхідність влаштування для їх укладання суцільної обрешітки), широко застосовують в будівництві, особливо в промисловому. Вони дозволяють влаштовувати покрівлі з малим ухилом, плоскі покрівлі та дахи складної конфігурації; при їх застосуванні скорочуються витрати на експлуатацію покрівлі в умовах агресивного середовища і тощо.

У загальному обсязі всіх видів покрівельних матеріалів близько 50% припадає на частку м'якої покрівлі.

Покрівельні та гідроізоляційні матеріали на основі бітумів і дьогтів ділять на рулонні, листові та штучні вироби, обмазувальні матеріали – мастики, емульсії і пасти, а по виду в'язких – на бітумні, дьогтьові, гудрокамові, резинобітумні, бітумо- і дьогтеполімерні.

**Рулонні покрівельні та гідроізоляційні матеріали** можуть бути двох типів – *основні* та *безосновні*. Основні матеріали виготовляють шляхом обробки органічним в'язучим основи – покрівельного картону, склотканини, скловоилока, металеві фольги, азбестового картону і тощо. Безосновні матеріали отримують у вигляді полотниць заданої товщини прокаткою на

каландрах термомеханічно оброблених сумішей з органічного в'язучого, порошкового або волокнистого наповнювача і спеціальних добавок.

Залежно від класу споруд, кліматичних і експлуатаційних умов, ухилу покрівлі рулонні матеріали укладають в один, а частіше в кілька шарів, які утворюють монолітне покриття, зване покрівельним килимом.

**Покривні матеріали на основі.** Більшу частину м'якої покрівлі виконують з рулонних матеріалів, виготовлених на основі покрівельного картону, який виробляють з суміші бавовняного, льняного і вовняного ганчір'я, паперової макулатури і целюлози. Такий картон має гарну всмоктуючу здатність, що забезпечує практично повне просочення його розплавленими бітумними або дьогтьовими композиціями, достатньою міцністю на розрив. Залежно від маси 1 м<sup>2</sup> (в г) покрівельний картон поділяють на марки: 500, 400, 350, 300, 250. Чим більше марка картону, тим вище його міцність на розрив і тим вище якість рулонного матеріалу.

До покривним рулонних матеріалів на картонній основі *відносять руберойд, толь, дьогтебітумні і гудрокамові рулонні матеріали.*

Руберойд випускають у вигляді полотнищ, зазвичай по ширині покрівельного картону – 1000, 1025, 1050 мм, згорнутих у рулони площею 7,5 і 15 м<sup>2</sup>. Його виготовляють просоченням покрівельного картону розплавленим м'яким нафтовим бітумом з подальшим покриттям матеріалів обох сторін тугоплавким бітумом. Для підвищення тепло-, волого-і світлостійкості покрівельного руберойду в бітум покривного шару часто вводять наповнювач у вигляді тонкого порошку з вапняку, доломіту, тальку, коротковолокнистого азбесту і тощо. Лицьова поверхня покрівельного руберойду має лускату слюдяну, крупно-або дрібнозернисте посипання. Посипання додають матеріалу підвищену атмосферостійкість, знижують горючість, запобігають злипанню в рулонах, покращують зовнішній вигляд покрівлі. На нижню поверхню покрівельного і обидві поверхні підкладкового руберойду наносять дрібнозернисте або пилоподібне посипання, яке запобігає злипанню матеріалу в рулонах.

Залежно від призначення, виду посипання лицьової поверхні і марки покрівельного картону руберойд ділять на 14 марок: РКК-500А; РКК-400А (Б і В); РКД-350Б (В); РПД і РПП-300А (Б і В); РКЛ-350Б (В). Буква Р в марці означає – руберойд; букви К і П – покрівельний або підкладковий. Треті букви К, Д, П, Л - вид посипання – крупнозернисте, дрібнозернисте, пилоподібне, лускате, а числа після букви означають марку картону.

Для верхнього шару скатних і пологих кровель рекомендується застосовувати руберойд марок РКК, РКД, РКЛ як на гарячій, так і на холодній мастиках, а для підкладкових шарів – марок РКК і РПП, який іноді використовують також для оклеєчної гідроізоляції.

Для районів з низькою температурою експлуатації виробляють *руберойд з еластичним покривним шаром (РЕМ-350)* шляхом модифікації покривного бітуму спеціальними полімерами або застосуванням резинобітумного в'язучого. Цей руберойд має підвищену міцність, погодо- і тріщиностійкість при негативних температурах.

**Толь покрівельний покривний** є матеріалом, аналогічним руберойду, але для його отримання покрівельний картон просочують і покривають не бітумом, а кам'яновугільним дьогтем і на поверхню наносять шар мінеральної посипки (крупнозернистої або пісочної). Толь з крупнозернистою посипкою (марок ТКК-350, ТКК-400) покритий з обох сторін дьогтем з більш високою температурою розм'якшення, ніж дьоготь, яким просякнута його основа – покрівельний картон. Він більш довговічний, ніж толь з піщаною посипкою (марок ТКП-350, ТКП-400), у якого просочувальний і покривний шари з однакових дьогтепродуктів. Їх можна застосовувати для верхнього і нижнього шарів покрівельного килима пологих і плоских покрівель на гарячих дьогтьових мастиках. Толь менш довговічний, ніж руберойд, так як дьогтьові в'язучі «старіють» швидше, ніж бітумні, але більш біостійкий і дешевше руберойду.

#### **Рулонні покривні матеріали.**

Ці матеріали виготовляють не на картоні, а на більш міцній і тій, що чинить опір гниттю основі – склотканині, скловойлоці, металевій фользі і тощо; до них відносяться *склоруберойд, покрівельний скловойлок, гідросклоізол покрівельний і підкладковий, фольгоізол.*

**Бризол** – рулонний безосновний гідроізоляційний матеріал, який виготовляють із суміші нафтового бітуму, гумової крихти, азбесту і пластифікатора. Цей матеріал еластичний, стійкий до деяких агресивних середовищ, погодостійкий, гниlostійкий. Бризолу захищають від корозії металеві трубопроводи і підземні споруди від впливу ґрунтових вод.

#### **Обмазувальні матеріали** (мастики, емульсії і пасти).

Їх використовують для приклеювання і склеювання рулонних покрівельних і гідроізоляційних матеріалів, устрою безрулонних покрівель, гідроізоляції та інших цілей.

**Мастиками** називають штучні пластичні суміші, одержувані змішанням органічних в'язучих з мінеральними (іноді органічними) наповнювачами і добавками (пластифіцируючими, ущільнювальними, антисептуючими і ін.).

По виду в'язучого матеріалу мастики поділяють на бітумні, дьогтеві, резинобітумні, бітумно- або дьогтеполімерні, гудрокамові і ін.

**Наповнювачі**, що вводяться в мастики для підвищення теплостійкості і зменшення крихкості (при знижених температурах), а також для скорочення витрат в'язучого, поділяють на *пилоподібні, волокнисті і комбіновані* (суміш пилоподібного і волокнистого наповнювачів). Пилоподібний наповнювач у вигляді тонкомолотого порошку виготовляють з вапняку, мармуру, кварцу, крейди, доломіту, цегли, тальку, трепелу, золи мінеральних видів палива тощо. Волокнистим наповнювачем може бути азбестовий пил, коротковолокнистий азбест і мінеральна вата та ін.

Сучасні покрівельні матеріали на основі бітумів це гнучка (м'яка) черепиця і ондулін.

**Гнучка (м'яка) черепиця** – в даний час є одним з найпоширеніших покрівельних матеріалів після металочерепиці. Цей покрівельний матеріал виготовляється з склопласту, просоченого модифікованим бітумом, і

випускається у вигляді листів розміром 100×33 см. Край цих листів сформований таким чином, що імітує малюнок декількох черепиць та виглядає як натуральна черепиця. Цей покрівельний матеріал витримує температуру від -60°C до +70 °C. При його монтажі залишається мало відходів, він легкий і має широкий вибір кольірних рішень і форм. Термін служби не менше 30 років.

**Ондулін** – це м'яка покрівля по виду схожа на шифер, за матеріалом - на жорсткий руберойд. Він виготовляється з покрівельного картону, просоченого бітумом, який з одного боку забарвлюється барвником. Термін служби не менше 30 років. Відносно дешевий, легкий матеріал, зручний в монтажі. Недолік – вимагає частої (краще суцільної) обрешітки. Просочення бітумом проводиться при температурі 120...150 °C і під тиском. Це забезпечує високу міцність одержуваного матеріалу і практично виключає водопоглинання.

### **3.8. Матеріали і вироби з пластмас**

#### **3.8.1. Загальні відомості**

**Пластмаси** (пластичні маси) – велика група матеріалів з найрізноманітнішими властивостями. Об'єднує ці матеріали те, що в їх складі обов'язково присутній полімер, який в період формування виробів знаходиться в в'язкотекучому (пластичному) стані (звідси назва «пластмаси»), а в готовому виробі – в твердому стані.

Пластмаси – відносно новий вид матеріалів, так як в них використовують, як правило, синтетичні полімери, виробництво яких почалося лише в ХХ ст. Основні види пластмас (поліетилен, полівінілхлорид, полістирол) почали виробляти у великих масштабах тільки в 40...59-х роках.

Незважаючи на молодість, пластмаси міцно зайняли свої властиві саме їм позиції в ряду будівельних матеріалів.

Швидке впровадження в практику будівництва відносно дорогих і в ряді випадків дефіцитних матеріалів пояснюється наявністю у пластмас цілого комплексу цінних властивостей; малої щільності при значній міцності, стійкості до різних агресивних дій, низьку теплопровідність, хорошу декоративність. Найважливішими позитивними властивостями пластмас є легкість їх технологічної переробки – можливість надання їм різноманітної форми литтям, пресуванням, екструзією (видавлюванням) і висока заводська готовність виробів. Причому процес їх виготовлення піддається повній механізації та автоматизації. Пластмаси добре зварюються і склеюються як між собою, так і з іншими матеріалами (деревиною, металом і ін.).

Разом з тим пластмаси не позбавлені недоліків. Більшість пластмас горючі і мають невисоку теплостійкість (граничні робочі температури для багатьох з них 100...150 °C, а деякі починають розм'якшуватися вже при 60...80 °C). Маючи високу початкову міцність, пластмаси під дією тривалих навантажень навіть при нормальній температурі виявляють великі пластичні деформації (повзучість). Тривала дія сонячних променів, підвищеної температури в поєднанні з киснем повітря може викликати «старіння» пластмас, тобто зміна їх експлуатаційних властивостей (міцності, кольору та ін.).

В даний час виробляють велику кількість пластмас (кілька тисяч видів) найрізноманітнішого призначення, постійно з'являються нові види полімерних матеріалів і поліпшуються властивості відомих пластмас. Пластмаси можуть замінити практично всі будівельні матеріали. Але в ряді випадків внаслідок їх високої вартості, дефіцитності і властивих їм недоліків така заміна недоцільна (наприклад, масове застосування пластмас в якості матеріалу для основних несучих та огорожуючих конструкцій будівель).

У сучасному індустріальному будівництві пластмаси зайняли своє специфічне місце. Це високоякісні оздоблювальні матеріали (декоративні плівки, лінолеум, паперово-шаруватий пластик); ефективні теплоізоляційні матеріали (піно, поро- і сотопласти); гідроізоляційні і герметизуючі матеріали (плівки, прокладки, мастики); погонажні вироби (поручні, плінтуси, розкладки); труби; санітарно-технічні вироби. Рационально застосування пластмас в легких конструкціях (тришарові панелі з полімерним утеплювачем). Особливе місце займають полімерні клеї, а також полімербетони, використовувані для пристрою хімічно стійких покриттів, ремонту і підсилення конструкцій будівель, що працюють в агресивних умовах.

Дослідженнями встановлено, що застосування 1 т полімерної сировини в будівництві дозволяє економити в середньому 2100 грн. наведених витрат, в тому числі близько 44 чол-дн трудових витрат, а також приблизно 6 м<sup>3</sup> лісу і до 1,5 т металу.

### 3.8.2. Основні компоненти пластмас

Основним і обов'язковим компонентом пластмас є полімер, але тільки лише деякі будівельні пластмаси цілком складаються з полімеру (наприклад, органічне скло, що складається з поліметилметакрилату). До складу більшості пластмас входять і інші компоненти: наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, барвники та ін.

#### 3.8.2.1. Полімери для будівельних пластмас

Полімер в пластмасах виконує роль зв'язуючого, аналогічно цементу в бетонах. Від виду полімеру, його властивостей і кількості залежать найважливіші властивості цих багатокомпонентних матеріалів.

**Полімерами** називають речовини, молекули яких являють собою ланцюг або просторові ґрати послідовно з'єднаних однакових груп атомів, що повторюються велику кількість разів. Молекулярна маса полімерів дуже велика (від декількох тисяч до мільйонів). Полімерні речовини існують в природі (крохмаль, целюлоза, білки), але переважна більшість полімерів, використовуваних для отримання пластмас – синтетичні.

Вихідні речовини, з яких синтезують полімери, називають **мономерами**. Це зазвичай досить прості і доступні продукти, одержувані з нафти, газу, вугілля та інших широко поширених речовин. Синтетичні полімери отримують двома різними способами – **полімеризацією** і **поліконденсацією**. **Полімеризацією** отримують такі широко поширені полімери, як поліетилен, полівінілхлорид і полістирол, а **поліконденсацією** – фенолформальдегідні,

епоксидні, поліефірні полімери. Часто процес поліконденсації ведуть так, що утворюються продукти з не дуже високою молекулярною масою (до 1000), здатні до подальших взаємодій. Ці речовини, зазвичай в'язкі рідини, називають олігомерами (наприклад, деякі епоксидні і поліефірні смоли до їх затвердіння).

**Термопластичні полімери** здатні багаторазово розм'якшуватися і тверднути при поперемінному нагріванні і охолодженні. Більшість з них добре розчиняються в органічних розчинниках. Характерною особливістю багатьох термопластичних полімерів є швидке зниження механічних властивостей при підвищенні температури. Всі ці властивості обумовлені лінійною будовою молекул полімеру, їх малим зв'язком один з одним, що знижується при нагріванні, і нездатністю до утворення сітчастих (які зшили) макромолекул. Прикладом термопластичних полімерів можуть служити поліетилен, полістирол, полівінілхлорид.

**Терморективні полімери** на відміну від термопластичних тверднуть незворотно. Твердіння відбувається в результаті зшивання лінійних молекул в просторові структури як за допомогою твердучих добавок (затверджувачів, вулканізаторів), так і за рахунок активних груп самих полімерів. У незатверділому стані терморективні полімери зазвичай представляють собою олігомерні продукти. Терморективні полімери після затвердіння не розчиняються ні в яких розчинниках, хоча можуть набухати в деяких з них; при підвищенні температури до певної межі вони незначно змінюють свої властивості, а потім настає їх термодеструкція (розкладання). У затверділому вигляді терморективні полімери більш тверді і міцні, ніж термопластичні. Прикладом терморективних полімерів можуть служити фенолформальдегідні, карбомідні, епоксидні полімери.

До теперішнього часу синтезовано велику кількість полімерів (кілька тисяч), але широке застосування в народному господарстві знайшло тільки близько 20 так званих великотоннажних полімерів. Нижче наводяться короткі відомості про основні полімери, що застосовуються в будівництві.

### 3.8.2.2. Полімеризаційні полімери

**Поліетилен**  $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$  – насичений лінійний полімерний вуглеводень (поліолефін), одержуваний полімеризацією газу етилену  $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ . Основним джерелом отримання етилену є продукти високо-температурної переробки нафти. Поліетилен являє собою рогоподібну прозору речовину щільністю  $0,94...0,97 \text{ г/см}^3$ , розм'якшується при нагріванні до  $80...90 \text{ }^\circ\text{C}$  і розплавляється при  $100...120 \text{ }^\circ\text{C}$ . Характерна особливість поліетилену – здатність зберігати еластичність до  $-70...-80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Поліетилен добре протистоїть дії більшості кислот, лугів і розчинників. З поліетилену виготовляють в основному плівки, труби (для холодного водопостачання і транспортування агресивних рідин), а також трубки для прихованої електропроводки і деякі санітарно-технічні вироби.

**Поліпропілен**  $[-\text{CH}_2-\text{C}(\text{H})(\text{CH}_3)-]_n$  – полімер, близький за властивостями до поліетилену, але більш міцний, жорсткий і температуростійкий (температура

розм'якшення 160...170 °С). Застосовують поліпропілен для виготовлення оздоблювальних листів, плівок, труб, деталей хімічної апаратури.

**Поліізобутилен**  $[-CH_2-C(CH_3)-]_n$  – полімер, так само як і поліетилен, відноситься до поліолефінів, проте завдяки іншій будові молекули має рядок специфічних властивостей: високу еластичність (за зовнішнім виглядом і механічними властивостями нагадує каучук), морозостійкість, гарну адгезію (прилипання) до бетону і інших силікатних матеріалів. Застосовується поліізобутилен для виготовлення герметизуючих плівок, прокладок і мастик, зокрема для герметизації стиків крупнопанельних будинків.

**Полівінілхлорид**  $[-CH_2-CHCl-]_n$  – один з найпоширеніших полімерів, що застосовуються в будівництві. Це прозорий, жорсткий і міцний при кімнатній температурі полімер, при нагріванні до 160...200 °С він розм'якшується, а при 160...200 °С – плавиться. При цій же температурі починається його розкладання (термодеструкція), що ускладнює переробку полівінілхлориду в вироби. Для надання виробам еластичності і для полегшення переробки полівінілхлориду його зазвичай пластифікують (наприклад, додаючи діоктилфталат). З полівінілхлориду отримують різні вироби; лінолеум, труби, плінтуси та інші погонажні вироби, оздоблювальні плівки, штучну шкіру та інше.

**Полістирол**  $[-CH_2-CHC_6H_5-]_n$  – продукт полімеризації стиролу (вінілбензол). Полістирол прозорий, досить міцний, але крихкий полімер, добре забарвлюється і легко переробляється у вироби. Завдяки наявності бензольного кільця полістирол добре розчиняється в ароматичних вуглеводнях. У будівництві його застосовують для отримання теплоізоляційних пінопластів, облицювальних плиток і ін.

**Полівінілацетат**  $(-CH_2-CHCOOCH_3-)_n$  – полімер, у якого до основного вуглеводневого ланцюга періодично приєднані залишки оцтової кислоти, що зумовлює невисоку водостійкість полімеру і хороші адгезійні (клейкі) властивості. У будівництві полівінілацетат широко використовують у вигляді водної дисперсії для отримання клеїв, водоемульсійних фарб, шпаклівок і мастик, а також як добавку до бетонів та розчинів (так звані полімерцементні матеріали).

**Поліметилметакрилат** – полімер, відомий під назвою «органічне скло» (або «плексиглас»). Він являє собою прозорий (пропускає не тільки видиме, але і ультрафіолетове випромінювання), міцний матеріал, що отримується у вигляді листів і блоків. Застосовують поліметилметакрилат для устрою світлопрозорих огорожень будівельних конструкцій, а також для виготовлення труб і інших виробів.

Крім чистих полімерів знаходять широке застосування сополімери – високомолекулярні речовини, одержувані спільною полімеризацією декількох мономерів, при цьому утворюються речовини з видозміненими властивостями.

### 3.8.2.3. Поліконденсаційні полімери

**Фенолформальдегідні полімери** – перші синтетичні полімери, що знайшли практичне застосування (1906-1910 рр); отримують поліконденсацією фенолу і формальдегіду у вигляді олігомірного продукту (в'язкої рідини або легкоплавку



смоли), здатного необоротно затвердіти при нагріванні. Застосовують фенолформальдегідні полімери для отримання шаруватих пластиків (бумопласт, текстоліт), мінераловатних і електричних виробів, водостійких лаків і клеїв для дерев'яних конструкцій.

**Карбамідні** (мочевиноформальдегідні) **полімери** – один з найбільш дешевих видів полімерів; отримують поліконденсацією сечовини (карбаміду) і формальдегіду. Мочевиноформальдегідні полімери безбарвні, в затверділому стані вони досить міцні, але не водостійкі і схильні до швидкого старіння. Модифікуючи їх в процесі синтезу, отримують полімери практично позбавлені цих недоліків. Застосовують мочевиноформальдегідні полімери головним чином при виготовленні деревостружкових плит, клеєних дерев'яних конструкцій, шаруватих пластиків, а також особливо легкої газонаповненої пластмаси – міпори. Модифіковані карбамідні полімери застосовують для отримання лаків і фарб.

**Поліефірні полімери** – велика група полімерів, одержуваних поліконденсацією багатоатомних спиртів і органічних кислот. Розрізняють насичені (термопластичні) поліефіри, наприклад гліфталієвий полімер і поліетилентерефталат (відомий більше під назвою лавсан), і ненасичені поліефіри (терморективні). Останні використовують у вигляді рідких олігомерів, які завдяки наявності подвійних зв'язків у атомів вуглецю здатні до необоротного затвердіння. На основі ненасичених поліефірів виготовляють лаки і фарби, їх використовують як сполучне в склопластиках і полімербетонах.

**Епоксидні полімери** – досить дорогий і малодоступний поки для широкого споживання вид полімерів, але володіючий високою міцністю, хімічною стійкістю в затверділому стані і дуже гарною адгезією до інших матеріалів. Випускають епоксидні полімери у вигляді смолоподібного олігомерного продукту, що твердне завдяки речовинам затверджувачам. У будівництві епоксидні полімери застосовують для склеювання і ремонту залізобетонних конструкцій, отримання полімер-бетонів та інших спеціальних цілей.

**Кремнійорганічні полімери** – велика група полімерів, в складі яких поряд з органічною частиною в основному ланцюзі або бічних відгалуженнях присутній кремній. Завдяки наявності кремнію полімери набувають ряд специфічних властивостей: підвищену термо- (до 400...500 °С) і хімічну стійкість, в ряді випадків хорошу сумісність з силікатними матеріалами. Найбільші перспективи в будівництві мають поліорганосиллоксани (силікони). У цих полімерах вуглець знаходиться в органічних радикалах (R), розташованих в бічних відгалуженнях основних ланцюгів макромолекул. Їх застосовують в якості гідрофобізуючих добавок до бетонів та розчинів, для отримання атмосферостійких фасадних фарб і для захисних покриттів облицювальних виробів з пористих гірських порід і бетонів.

#### **3.8.2.4. Наповнювачі і пластифікатори**

Номенклатура наповнювачів для пластмас різноманітна. Це порошкові речовини (деревне борошно, крейда, тальк, сажа і тощо), волокнисті

(скловолокно, азбест, органічні волокна) і листові матеріали (папір, деревний шпон, тканини). До числа наповнювачів можна віднести і повітряні пори в газонаповнених пластмасах (піно-і поропласти). У більшості пластмас істотна частина обсягу припадає на частку наповнювачів, а деякі пластмаси на 80...90% (за обсягом) складаються з наповнювачів (наприклад, деревостружкові плити, полімербетон, пінопласти).

**Наповнювачі**, зменшуючи вміст полімеру в пластмасах, значно знижують їх вартість, усадку і деформативність. Вони, особливо мінеральні, збільшують теплостійкість і атмосферостійкість пластмас і знижують горючість. Листові і волокнисті наповнювачі різко підвищують міцність пластмас на розтяг і вигин. Деякі наповнювачі надають пластмасам спеціальні властивості. Так, повітряні пори, що займають більше 90% обсягу газонаповнених пластмас, роблять їх ідеальними теплоізоляторами, а сажа або графіт, що вводяться в пластмасу, надають їй властивість електропровідності.

**Пластифікатори** – речовини, які в суміші з полімерами надають їм велику пластичність при нормальній температурі і полегшують переробку пластмас, знижуючи температуру переходу полімеру в в'язкотекучий стан. В якості пластифікаторів використовують нелетючі органічні рідини, що добре сполучаються з полімером (наприклад, гліцерин, діоктилфталат).

### 3.8.3. Полімерні матеріали застосовуються в гірничій промисловості

До полімерних кріпильних матеріалів відносяться склопластики, пластобетон, вуглепласт, хімічні склади на базі синтетичних смол для закріплення анкерів в свердловинах. Для з'яток, останнім часом, запропоновані різні синтетичні тканині матеріали. Для закріплення анкерів в гірських породах, а також для тампонажу закріпного простору і нагнітального зміцнення порід застосовують різні синтетичні полімерні розчини смол. З пластичних полімерних матеріалів виготовляють прокладки для блокового кріплення, шайби для гідроізоляції болтових з'єднань тубінгового кріплення і тому подібні.

**Склопластики** – затверділі синтетичні смоли, армовані скловолокном у вигляді склонитей, джгутів, полотна або склотканини. Скло-волокно може застосовуватися як армуючий елемент також в рубленому вигляді. У склопластиках в якості сполучного застосовують поліефірні, фенольні, епоксидні і інші полімерні смоли. Фізико-механічні властивості склопластиків дуже різноманітні і залежать в основному від властивостей армуючих волокон і сполучних полімерів. Скловолокнисті матеріали володіють великою міцністю на розрив (1250...2500 МПа), не схильні до гниття, не гігроскопічні і термостійкі. Дуже тонкі склонитки (до 16 мкм) отримують за допомогою витяжки з розплавленої скломаси. До полімерних сполучних пред'являють вимоги високої міцності, стійкості проти агресивних вод. Вони повинні забезпечувати хороше зчеплення з армуючими скловолокнистими матеріалами.

Крім сполучного і армуючого компонентів в склопластик вводять речовини, які називаються **стабілізаторами**. Їх призначення – запобігти старінню (погіршення з часом властивостей) пластика при експлуатації.

Можуть також застосовуватися в якості четвертого компонента різного роду наповнювачі (органічного або мінерального походження). Призначення наповнювачів – надати склопластику необхідні властивості і зменшити їх вартість. Сировиною для отримання сполучного з полімерних смол є природні або нафтові гази і продукти перегонки нафти. Елементи кріплення зі склопластику (стійки, верхняки, затягування) зазвичай виготовляють пресуванням, але можуть також застосовуватися методи лиття, способи протягання і намотування.

**Пластобетон** – кам'яний матеріал, що складається з отверділої синтетичної смоли, піску, а також щебеню. В якості сполучного застосовують фурфурол – ацетон, епоксидну, сечовино-формальдегідну та інші смоли, а також спеціальні хімічні добавки (сульфобензоїкислота, поліетилен, поліамін і інші). Такий бетон має високу міцність при стисненні (40...70 МПа), розтягуванні (5...6 МПа) і вигині (10 ... 20 МПа), відрізняється значною корозійною стійкістю проти агресивних вод і водонепроникністю.

**Вуглепласт** являє собою кріпильний матеріал з вугільної пластмаси, одержуваний гарячим пресуванням тонкоподрібненого вугілля з добавкою смоли при тиску 50...60 МПа і температурі 150...180 °С або холодним затвердінням в присутності бензосульфоїкислоти. В якості наповнювача застосовують подрібнене кам'яне вугілля (з частинками розміром до 13 мм), змішане з тирсою. Сполучною речовиною служить фенолоформальдегідна смола (20% від ваги вугілля і тирси), в яку в якості пластифікатора додається олеїнова кислота (2% від маси смоли). Вуглепласт має міцність на стиск 40...70 МПа, застосовується для виготовлення елементів кріплення у вигляді кілець, тьобінгів.

Розроблені та застосовуються в промислових масштабах хімічні склади на основі поліефірних, фенольних і формальдегідних смол для закріплення анкерів.

У Росії розроблені і застосовані при проведенні штреків хімічні розчини на основі сечовино-формальдегідних смол М19-62 для закріплення дрібнозернистих обводнених пісків. В якості затверджувачів застосовані щавлева кислота і хлористий амоній. Введення в розчин хлористого амонію зменшило (до санітарних норм) виділення при полімеризації смоли шкідливого для здоров'я людей вільного формальдегіду. Міцність дрібнозернистих пісків, оброблених (зміцнених) зазначеним хімічним розчином, збільшилася при одноосьовому стиску до 14 МПа, при вигині – до 1,2 МПа, а коефіцієнт фільтрації знизився в кілька сот разів.

Хімічні розчини на основі епоксидних смол, зміцнюючі породи і закріплюючі анкери в свердловинах, мають високі характеристики міцності, але через високу вартість поширення не отримали. Поліефірні і сечовино-формальдегідні смоли є значно меншими в порівнянні з розчинами на епоксидних смолах властивостями міцності, але значно дешевші і тому отримали більше застосування в гірничій справі.

Недолік всіх перерахованих полімерних смол (крім смоли УКБ-Б) – наявність шкідливих речовин (вільного формальдегіду та ін.), що вимагає

дотримання особливих запобіжних заходів, а в шахтних умовах і збільшення витрат на провітрювання виробок, в яких ці смоли застосовують.

### 3.9. Гумові матеріали

#### 3.9.1. Загальні відомості

**Гума** – штучний матеріал, одержуваний спеціальною обробкою (вулканізацією) суміші каучуку з різними добавками.

**Вулканізація** – перетворення каучуку в гуму, здійснюване за участю, так званих вулканізуючих агентів (наприклад, сірки) або під дією іонізуючої радіації.

**Каучук** – натуральне або синтетичне неграничне, високомолекулярне (карбоцепне), термопластичне з'єднання з подвійним хімічним зв'язком між вуглецевими атомами в елементарних ланках макромолекули.

Молекули каучуку звивисті (зигзагоподібні). Структура макромолекул – лінійна або слабкорозгалужена і складається з окремих ланок. Молекулярна маса каучуків  $M = 400\ 000 \dots 450\ 000$  а.е.м.

**Натуральний каучук** (НК) – еластичний природний матеріал, полімер ізопрену ( $C_5H_8$ ) отримується коагуляцією латексу каучуконосних рослин. Гуми на основі НК відрізняються високою еластичністю, міцністю, водо- і газонепроникністю, високими електроізоляційними властивостями.

**Латекс** – молочний сік каучуконосних рослин. У латексі дисперговані високомолекулярні вуглеводні і розчинені вуглеводи, білки і солі.

**Синтетичні каучуки** (СК) – еластичні синтетичні полімери, одержувані полімеризацією різних вуглеводнів. В даний час в промисловості застосовуються більш 250 видів синтетичних каучуків, з яких виготовляють понад 50 тис. виробів різних найменувань.

**Бутадієнові каучуки** (дивінілові каучуки, СКВ, СКД) – еластичні синтетичні полібутадієни. Формула полібутадієну  $(C_4H_6)_n$ . Він є каучуком, що не кристалізується, і має низьку межу міцності при розтягуванні, тому в гуму на його основі необхідно вводити зміцнюючі наповнювачі. Каучуки СКВ і СКД використовуються у виробництві морозостійких гум. СКД застосовують, головним чином, у виробництві шин (перевершують за якістю шини з натурального каучуку). З СКВ виготовляють, наприклад, кислото- і лугостійку гуму, ебоніт.

**Бутадієн-нітрільні каучуки** (дивінілнітрільні каучуки, стиролові каучуки, СКН, БНК). Гуми на основі СКН мають високу міцність, добре чинять опір стиранню. Ці гуми перевершують гуми на основі НК по стійкості до старіння і дії розбавлених кислот і лугів, але поступаються їм по еластичності. Гуми з БНК бензо- і маслостійкі.

**Бутадієн-стирольні каучуки** (дивінілстирольні каучуки, стиролові каучуки, СКС, БКС) – синтетичні полімери, одержувані при сополімеризації бутадієну зі стиролом. Процентний вміст стиролу сильно впливає на властивості каучуків. Так, наприклад, чим більше стиролу, тим вище міцність, але нижче морозостійкість. З найбільш поширеного каучуку СКС-30

отримують гуми з хорошим опором старінню і добре працюючі при багаторазових деформаціях. За газонепроникністю і діелектричними властивостями вони рівноцінні резинам на основі НК. Міцність і зносостійкість гуми з БСК дозволяє використовувати їх при виробництві автомобільних шин, конвеєрних стрічок, гумового взуття.

**Ізопренові каучуки** (СКІ) – синтетичні поліізопрени, продукти полімеризації ізопрену ( $C_5H_8$ ). Гуми з ізопренових каучуків відрізняються високою механічною міцністю і еластичністю. Замінники натурального каучуку у виробництві шин, конвеєрних стрічок, резинового взуття, побутових виробів. Промисловістю випускаються каучуки СКІ-3 і СКІ-3П, найбільш близькі як до НК; каучук СКІ-3Д використовується для отримання електроізоляційних гум; каучук СКІ-3В- для вакуумної техніки і ін.

**Карбоксилатні каучуки** – синтетичні полімери, продукти сополімеризації бутадієну з ненасиченими карбоновими кислотами, головним чином, метакрилової  $[-CH_2-CH=CH-CH_2-]_n[-CH_2-C(CH_3)(COOH)-]_m$ . Резини з карбоксилатних каучуків міцні, теплостійкі, відрізняються високою адгезією до різних матеріалів. Застосовуються в складі клеїв для кріплення гуми до металу; у вигляді латексу – для просочення шинного корду; обробки шкіри, паперу, тканин.

**Кремній-органічні каучуки** (силіконові каучуки, СКТ) – синтетичні кремній-органічні полімери. СКТ – каучук, що представляє собою кремній-органічні з'єднання з хімічною формулою  $...-Si(CH_3)_2-O-Si(CH_3)_2-...$  Застосовуються у виробництві оболонок проводів і кабелів, трубок для переливання крові та ін.

**Полісульфідні каучуки** – синтетичні полімери, продукти поліконденсації:  $[-CH_2CH_2-S_x-]_n$ . Гуми з полісульфідних каучуків бензо- і маслостійкі, газонепроникні. Застосовуються для виробництва шлангів, діафрагм; в рідкому вигляді - основа герметиків. **Тіокол** – полісульфідний каучук, що утворюється при взаємодії галовиробничих вуглеводнів з багатосірністими сполуками лужних металів:  $...-CH:-CH_2-S_2-S_2-...$  Механічні властивості гум на основі тіоколу невисокі, але це хороший герметизуючий матеріал.

**Каучуки, що містять фтор** (фторкаучуки) – синтетичні полімери, продукти полімеризації фторорганічних сполук, головним чином, суміші вініліденфторида з трьохлорфторетиленом  $[-CH_2-CF_2-CF_2-CFCl-]_n$  або з гексафторпропіленом  $[-C_2F_4-CF_2-CF_2-CF(CF_3)-]_n$ . Гуми з фторкаучука термостійкі, негорючі, стійкі до окислювачам, маслам, паливам. Застосовуються, головним чином, у виробництві різних ущільнювачів, експлуатованих вище 200 °С.

**Хлоропренові каучуки** (наїрит, неопрен) – синтетичні полімери, продукти полімеризації хлоропрену:  $[-CH_2=CCl=CH-CH_2-]_n$ . Гуми з хлоропренових каучуків атмосферо-, масло- і бензиностійкі. Застосовуються у виробництві конвеєрних стрічок, ременів, рукавів, клеїв і інших. **Наїрит** – хлоропреновий каучук ( $CH_2 = CCl-CH = CH_2$ ). Гуми на основі наїрита мають високу еластичність, озоностійкість, стійкі до дії палива і масел, добре чинять опір

старінню. Вони не поступаються по термо- і морозостійкості (до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а також в електроізоляційних властивостях гумам на основі НК.

**Етиленпропіленові каучуки** – синтетичні полімери, продукти сополімеризації етилену з пропіленом (СКЕП), а іноді з третім мономером – дієном (СКЕПТ). Гуми з етиленпропіленових каучуків атмосферостійкі, хімічно стійкі, дуже хороші діелектрики. Застосовуються для ізоляції проводів і кабелів, у виробництві автомобільних прокладок та ін.

При вулканізації синтетичних шматків з макромолекул зв'язуються поперечними зв'язками («містками» з сірки), що дозволяє підвищити механічну міцність, еластичність і теплостійкість одержуваних матеріалів – вулканізованого каучуку і гуми. На відміну від каучуку гуми не мають пластичних деформацій і не розчиняються в органічних розчинниках. При нормальній температурі гума знаходиться в високоеластичному стані. Її еластичні властивості зберігаються в широкому діапазоні температур.

Основні споживчі властивості гумових матеріалів.

- щільність ( $910\text{...}2050\text{ кг/м}^3$ );
- низька теплопровідність;
- еластичність ( $E = 1\text{...}10\text{ МПа}$ ;  $\delta = 1000\%$ ) при часу релаксації більш  $10^{-4}\text{ с}$ ;
- нестисність ( $\text{tg } \delta = 0,4\text{...}0,5$ );
- діелектричні властивості ( $\rho_{03} = 10^{10}\text{...}10^{15}\text{ Ом-см}$ ;  $\epsilon = 2,5\text{...}4$ ;  $\text{tg } \delta = 0,005\text{...}0,01$ );
- хімічна стійкість;
- низькі газо- і водопроникність;
- високий опір розриву і зносу.

В даний час гумові матеріали класифікуються по виду *сировини*, *наповнювача*, *за ступенем упорядкування макромолекул і пористості*, *по технологічних способах переробки*, *за типами теплового старіння* і *по зміні обсягу після перебування в нафтовій рідині*.

Класифікація за видами сировини враховує найменування каучуків, що з'явилися вихідною сировиною при виробництві гумових матеріалів: НК – натуральний каучук, СКБ – синтетичний каучук бутадієновий, СКС – бутадієнстирольний каучук, СКІ – синтетичний каучук ізопреновий, СКН – бутадієннітрильний каучук, СКФ – синтетичний каучук, що містить фтор, СКЕП – сополімер етилену з пропіленом, ХСПЕ – хлорсульфополіетилен, БК – бутилкаучук, СКУ – поліуретановий каучук.

За своїм виглядом наповнювачі для гумових матеріалів розрізняються на порошкоподібні наповнювачі і тканини.

За ступенем упорядкування макромолекул і пористості гумові матеріали можуть бути м'які, жорсткі (ебонітові), пористі (губчасті) і пастоподібні. Щільність губчастої гуми  $100\text{...}750\text{ кг/м}^3$ .

Серед технологічних способів переробки для гумових матеріалів використовуються видавлювання, пресування і лиття.

По тепловому старінню існує сім типів: T07; ...; T25.

За зміною обсягу після перебування в нафтовій рідині розрізняють сім класів: K1; ...; K7.

### 3.9.2. Склад гумових матеріалів

Основним компонентом гумових матеріалів є каучук.

Як добавки при виробництві гумових матеріалів використовуються *вулканізуючі речовини, прискорювачі вулканізації, активатори прискорювачів, наповнювачі, пластифікатори і барвники.*

**Вулканізуючі речовини** (вулканізати) – обов'язкові компоненти гумових матеріалів; вони беруть участь в утворенні просторово-сітчастої структури гуми. Найбільш широко застосовується для вулканізації сірка. Її кількість в гумових матеріалах може змінюватися від 1 до 40% маси каучуку, при цьому збільшення вмісту сірки призводить до зростання твердості гумових матеріалів. При максимально можливому насиченні каучуку сіркою утворюється твердий і жорсткий матеріал, званий ебонітом. Ебоніт має високу хімічну стійкість, хороші діелектричні властивості, легко обробляється, але має низьку теплостійкість.

Поряд із сіркою в якості вулканізаторів застосовуються селен і тіурам.

**Тіурам** – органічне сірчисте з'єднання, на відміну від сірки не взаємодіє з міддю. Використання тіурами викликано технічними вимогами до гумових матеріалів, призначених для електротехнічної промисловості.

Прискорювачі вулканізації застосовуються для підвищення техніко-економічних показників процесу вулканізації, так як вони впливають на режим вулканізації і фізико-механічні властивості вулканізуючих речовин. В якості прискорювачів вулканізації використовують оксиди свинцю і магнію, а також різні полісульфіди в кількості 0,5...1,5% маси каучуку. Активаторами прискорювачів є цинкові білила і магнезія.

Наповнювачі використовуються у виробництві, як для зниження вартості гумових матеріалів, так і для додання їм необхідних фізико-механічних і споживчих властивостей. Серед порошкоподібних наповнювачів найбільш широке застосування знаходять сажа, каолін, крейда, тальк, а в якості тканин-наповнювачів використовуються корд, бельтинг, рукавні й інші тканини з кручених синтетичних (рідше бавовняних) ниток підвищеної міцності. Характер взаємодії наповнювачів з каучуком визначає їх як активні (наприклад, сажа підвищує механічні властивості) або інертні (крейда і тальк здешевлюють вартість гумових матеріалів). В якості наповнювача часто вводять регенерат – продукт переробки старих гумових виробів і відходів гумового виробництва. Крім зменшення вартості **регенерат** підвищує якість гуми, знижуючи її схильність до старіння. Кількість наповнювачів визначається як решта по масі каучуку після визначення змісту необхідних добавок.

**Противозістарювачі** (антиоксиданти) уповільнюють процес старіння і забезпечують експлуатаційні властивості гумових матеріалів. Розрізняють хімічні і фізичні противозістарювачі. Хімічні противозістарювачі (альдоль, неозон Д і ін.) затримують окислення каучуку, а фізичні (парафін, віск і ін.) – створюють захисні плівки.

Пластифікатори полегшують переробку гумової суміші і забезпечують поєднання каучуку з наповнювачем. В якості пластифікаторів застосовують каніфоль, парафін, стеаринову кислоту та ін. Кількість пластифікаторів може

становити 8...30% маси каучуку. Пластифікатори підвищують пластичність і (або) еластичність, а також морозостійкість гуми.

Барвники в гумових матеріалах, так само як противозістарювачі, використовуються для підвищення експлуатаційних властивостей. Так, наприклад білі, жовті й зелені барвники захищають від світлового старіння. Як барвники застосовують охру, ультрамарин і ін. в кількості до 10% маси каучуку. Для отримання світлофарбуючих гум, призначених для роботи в умовах підвищених температур, замість найбільш поширеного наповнювача – сажі, використовують оксиди кремнію або титану.

### 3.9.3. Класифікація гумових матеріалів за призначенням і областю застосування

Гумові матеріали ділять на групи *загального* і *спеціального* призначення.

Для *гум загального призначення* основними компонентами є неполярні каучуки – НК, СКІ, СКС і СКБ. Гуми на основі НК відрізняються високою еластичністю, міцністю, водо- і газонепроникністю, високими електроізоляційними властивостями:  $\rho_{ov} = 3 \cdot 10^{14} \dots 23 \cdot 10^{18}$  Ом·см;  $\epsilon = 2,5$ . Найбільшого поширення в промисловості отримали гуми на основі СКС (СКС-10, СКС-30, СКС-50). Це ті гуми, які добре працюють при багаторазових деформаціях, з хорошим опором старінню; по газонепроникності і діелектричним властивостям рівноцінні резинам на основі НК.

Гумові матеріали загального призначення використовуються для виробництва виробів, що працюють в воді, на повітрі, в слабких розчинах кислот і лугів при температурі експлуатації  $-35 \dots +130$  °С. Такими виробами є шини, рукава, конвеєрні стрічки, ізоляція кабелів і ін.

Гумові матеріали спеціального призначення поділяються на *бензиномаслостійкі, хімічно стійкі, корозійностійкі, світлостійкі, тепло- і морозостійкі, електротехнічні та зносостійкі*.

**Бензиномаслостійкі гумові матеріали** виготовляють на основі наїрита, тіоколу, СКН і інших типів каучуків. Їх основними споживчими властивостями є стійкість до впливу гідравлічних рідин, масло-, бензино-і озоностійкість, а також водонепроникність. Гуми, стійкі до впливу гідравлічних рідин, виготовляють: для роботи в маслі - на основі СКН, для кремній-органічних рідин – на основі каучуків НК, СКМС-10 і ін.

Бензиномаслостійкі гуми на основі каучуків СКН можуть працювати в середовищі бензину, палива, мастил в інтервалі температур  $-30 \dots +130$  °С. Акрилатні гуми (марки ВАК) теплостійкі, мають адгезію до полімерів і металів, стійкі до дії сірковмісних масел і кисню, але мають малу еластичність, низькою морозостійкістю і невисокою стійкістю до дії гарячої води і пари. З бензиномаслостійких гум виготовляють шини, варильні камери, діафрагми та ін. Акрилатні гуми широко застосовують в автомобілебудуванні.

**Хімічно стійкі гумові матеріали** виготовляють на основі бутилкаучуку. До виробів з таких гум пред'являються підвищені вимоги по масло-, бензино- і теплостійкості. Вони використовуються, наприклад, для транспортних стрічок для подачі горючих матеріалів.



**Корозійно-стійкі гумові матеріали** виготовляють на основі ХСПЕ. Вони є незамінним конструкційним матеріалом для виробів, що працюють в морській воді. Корозійно-стійкі гумові матеріали, крім того, не обростають при експлуатації водоростями і мікроорганізмами.

**Світлоозоностійкі гумові матеріали** виготовляють на основі насичених каучуків - СКФ, СКЕП, ХСПЕ і БК. Гуми на основі фторвмісткого каучуку СКФ стійкі до теплового старіння, впливу масел, палива, різних розчинників (навіть при підвищених температурах), негорючі, мають високий опір до стирання, але мають низьку еластичність і малу стійкість до більшості гальмівних рідин. Гуми на основі СКФ і етиленпропіленового каучуків СКЕП стійкі до дії сильних окислювачів ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_3$  та ін.) і не руйнуються при роботі в атмосферних умовах протягом декількох років. Гуми на основі хлорсульфополіетиленового каучуку ХСПЕ застосовують як конструкційний матеріал (протикорозійні, що не обростають в морській воді водоростями і мікроорганізмами покриття), для захисту від гамма-випромінювання. Гуми на основі бутилкаучуку БК широко застосовують у шинному виробництві, а також для виробів, що працюють в контакті з концентрованими кислотами та іншими хімікатами. Світлоозоностійкі гумові матеріали призначені для масло-і бензиностійких виробів – гнучких шлангів, діафрагм, ущільнювачів і ін.

**Теплостійкі гумові матеріали** виготовляють на основі НК, СКТ та СКС. Морозостійкими є гуми на основі каучуків, що мають низькі температури склування, наприклад, НК, СКС-10, СКТ. Ці гумові матеріали використовуються для надтотепло- і морозостійких виробів, електротехнічних деталей і ін.

**Електротехнічні гумові матеріали** діляться на дві групи: *ізоляційні* та *провідні*. Електроізоляційні гумові матеріали виготовляють на основі неполярних каучуків, наприклад, НК, СКБ, СКС, СКТ і БК. Їх електричні властивості:  $\rho_{ov} = 10^{11} \dots 10^{15} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ;  $\epsilon = 2,5 \dots 4$ ;  $\text{tg } \delta = 0,005 \dots 0,01$ . Електропровідні гуми для екранованих кабелів отримують з каучуків НК, СКН, наїрит з обов'язковими добавками сажі і графіту в кількості 65...70% по масі каучуку. Питомий електроопір гум, що проводять  $\rho_{ov} = 10^2 \dots 10^4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ .

**Зносостійкі гумові матеріали** виготовляють на основі СКУ. Робочі температури гум складають  $-30 \dots + 130 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вони призначені для виробництва шин, амортизаторів, буферів, клапанів, обкладок в транспортних системах для абразивних матеріалів, взуття та ін.

### 3.10. Лакофарбові матеріали

#### 3.10.1. Загальні відомості

**Лакофарбові матеріали** використовують для приготування барвистих складів, які в в'язкорідкому стані наносять тонкими шарами (60...500 мкм) на поверхню, конструкції (бетон, дерево, метал), що обробляється. В результаті затвердіння барвистих складів утворюється тверда кольорова плівка, яка міцно зчіплюється з поверхнею (основою) і називається лакофарбовим або малярським покриттям.

Такі покриття дають можливість захистити матеріал конструкцій від шкідливого впливу навколишнього середовища і, отже, підвищити їх довговічність; отримати архітектурно-художній ефект; поліпшити санітарно-гігієнічні умови в приміщеннях. Деякі лакофарбові покриття мають спеціальне призначення (наприклад, антисептичні та вогнезахисні фарби для дерева). Найчастіше лакофарбові покриття служать одночасно для декількох цілей.

Лакофарбові покриття зазвичай складаються з ґрунтовки, підмазочного, шпаклювального і фарбувального шарів, кожен з яких має своє особливе призначення (рис. 3.16). Основним призначенням шару ґрунтовки є поліпшення зчеплення наступних шарів з підставою. Підмазочні шари служать для заповнення порівняно великих заглиблень на поверхні підстави. Шпаклювальний шар призначений для вирівнювання поверхні. Один або кілька фарбувальних шарів створюють тонку плівку заданого кольору. Залежно від характеру основи і призначення забарвлення деяких верств може і не бути, але завжди є барвистий шар (шари).

Основними компонентами лакофарбових складів є пігменти і сполучні речовини, крім них в лакофарбові склади можуть входити наповнювачі, розчинники і розріджувачі.

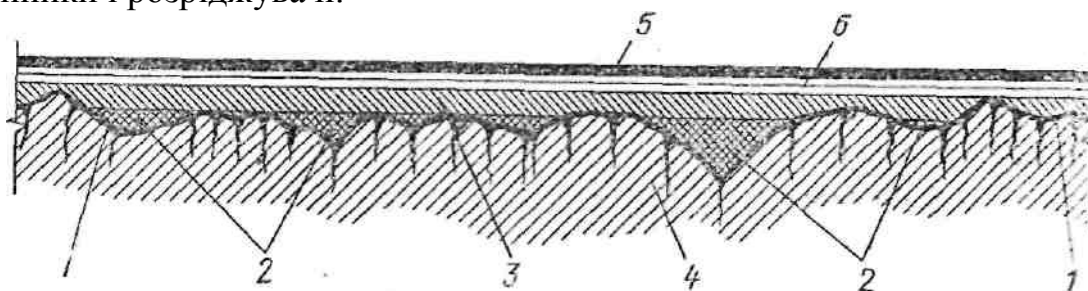


Рис. 3.16. Шар лакофарбового покриття:

1 – ґрунтовка; 2 – підмазка; 3 – шпаклівка; 4 – основа; 5 – шар лаку;  
6 – шари барвистого складу

### 3.10.2. Пігменти і наповнювачі

**Пігменти** (їх називають також сухими фарбами) – тонкодисперсні кольорові порошки, нерозчинні в оліфі, воді і органічних розчинниках. Колір лакофарбового покриття залежить від пігментів. При ретельному перемішуванні пігментів зі сполучними вони дають суспензії, що розшаровуються, які називають барвистими складами (фарбами).

Забарвлення пігментів виникає завдяки виборчому поглинанню кристалічною решіткою пігменту хвиль тієї чи іншої довжини. В результаті пігмент здається забарвленим в колір, який доповнює поглинений. Речовини, присутність яких обумовлює забарвлення пігментів, називають хромофорами («носіями кольору»).

Від пігментів певною мірою залежить також і довговічність малярного покриття, так як вони, подібно заповнювачам, в будівельних розчинах і бетонах

зменшують об'ємні деформації в барвистій плівці в процесі її затвердіння і при експлуатації.

У будівництві застосовують головним чином *неорганічні пігменти* (природні і штучні), які в більшості випадків складаються з солей або оксидів металів, а також деякі *металеві* та *органічні пігменти*.

**Дисперсність пігменту** впливає на всі його основні властивості. Чим дрібніше частинки пігменту, тим вище його покривистість і фарбуюча здатність (до досягнення оптимального ступеня дисперсності). Поліфракційний склад пігменту дозволяє отримати щільне барвисте покриття при мінімальній витраті сполучної речовини. Природні пігменти, одержувані шляхом подрібнення і відмулювання гірських порід, складаються з частинок розміром 0,5...40 мкм. Штучні неорганічні пігменти, одержувані в результаті хімічних реакцій, відрізняються від природних більшою дисперсністю і складаються з частинок розмірами 0,1...2 мкм.

**Фарбувальна здатність, або інтенсивність,** пігменту характеризується його здатністю передавати свій колірний тон при змішуванні з білим пігментом. Чим більше фарбуюча здатність пігменту, тим менше його потрібно для отримання забарвлення яскравого тону.

**Покривистість, або криюча здатність,** пігменту характеризується витратою (в г на 1 м<sup>2</sup> поверхні, що фарбується), необхідною для того, щоб закрити шар контрастних фарб (наприклад, чорні і білі смуги), заздалегідь нанесених на скло. Чим менше витрата пігменту, тим вище його покриваність. Покривистість залежить від різниці показників заломлення світла пігментом і сполучною речовиною. Чим більша ця різниця, тим вище покриваність фарби. Різниця в фарбувальній здатності різних пігментів не пов'язана з їх покривною здатністю. Наприклад, високоінтенсивний пігмент – лазур – володіє дуже невисокою покривною здатністю, а високопокривистий пігмент – свинцевий сурик – порівняно невисокою фарбувальною здатністю.

**Маслоємність пігменту** характеризується кількістю (в %) оліфи, необхідним для перетворення 100 г пігменту в однорідну суспензію робочої в'язкості. Чим менше оліфи вимагає пігмент, тим дешевше фарба і тим більше стійким буде покриття, так як забарвлення руйнується головним чином через неминуче старіння плівки.

**Світлостійкість пігментів** – здатність не змінювати колір під дією ультрафіолетових променів. Більшість природних пігментів світлостійкі. Деякі органічні пігменти на світлі швидко знебарвлюються («вицвітають») або змінюють свій колір.

**Атмосферостійкість пігментів** – здатність витримувати, не руйнуючись і не змінюючи кольору, багаторазові чергування зволоження і висихання, замерзання і відтавання, а також вплив кисню, сірчистих газів та інших атмосферних реагентів. Ця властивість особливо важлива для пігментів, що застосовуються для фарбування зовнішніх конструкцій.

**Хімічна стійкість пігментів** – здатність протистояти дії кислотного або лужного середовища без змін кольору і видимих руйнувань. Залежно від умов експлуатації підбирають лужно- або кислотостійкі пігменти. Пігменти, що не

володіють лужностійкістю, не можна застосовувати при фарбуванні свіжої вапняної штукатурки і свіжого бетону, а також в барвистих складах на основі вапняних або силікатних в'язучих.

**Антикорозійні (пасивуючі) властивості пігменту** характеризуються його здатністю давати (в поєднанні з відповідним сполучним) покриття, надійно захищаюче сталеві поверхні від окислення. Ці властивості дуже важливі для пігментів, що застосовуються для забарвлення металевих конструкцій.

**Вогнестійкість пігменту** – здатність витримувати дію високих температур без зміни кольору і руйнування. Вогнестійкість пігментів слід враховувати при фарбуванні опалювальних систем і теплових установок.

**Нешкідливість пігменту.** Деякі пігменти отруйні. Особлива обережність дотримується при застосуванні пігментів, що містять сполуки свинцю, міді.

**Природні неорганічні пігменти.** Їх отримують механічною переробкою (подрібненням, відмулюванням і тощо) гірських порід, що містять яскраво забарвлені мінерали. Виробництво їх порівняно нескладне, а стійкість висока (всі вони лужностійкі і майже всі світлостійкі), тому їх застосовують для зовнішнього фарбування, а також для отримання кольорових бетонів. Однак за різноманітністю і яскравістю для отримання кольору природні пігменти значно поступаються штучним неорганічним і особливо органічним пігментам.

До цієї групи пігментів відносять *крейда, залізоокисні пігменти (охра, мумію природну, сурик залізний), марганцевисті пігменти (умбра, піролюзит), графіт.*

**Крейда** – найдешевший пігмент білого кольору; широко застосовується в клейових фарбах.

Забарвлення **залізоокисних пігментів** залежить від виду та кількості оксидів заліза, що містяться в ших.

**Охра** складається з глини, пофарбованої в жовтий колір різних відтінків оксидами заліза, зміст яких становить 11...18%. Охра є одним з найпоширеніших і дешевих пігментів. Вона широко застосовується для зовнішніх і внутрішніх забарвлень.

**Природна мумія** являє собою тонкодисперсний порошок глини, пофарбований в червоний колір різних відтінків оксидами заліза, зміст яких становить 20...70%. Це один з найдешевших пігментів. Її застосовують для забарвлень по металу, дереву і штукатурці.

**Сурик залізний** – пігмент коричнево-червоного кольору, що містить 75...90% оксиду заліза. Має високу стійкість до всіх впливів; один з найдешевших пігментів. Сурик залізний особливо широко застосовують для фарбування сталевих покрівель.

**Умбра** – пігмент коричневого кольору різних відтінків. Умбра складається з глини, пофарбованої оксидами заліза (не менше 48%), і марганцю (7...14%). Її широко застосовують в будівництві, особливо в клейових фарбах.

**Перекис марганцю** (піролюзит)  $MnO_2$  – пігмент чорного кольору: отримують з марганцевої руди. Перекис марганцю широко використовують як

в клейових, так і в масляних фарбах, особливо для забарвлення виробів з чавуну.

**Графіт** – пігмент чорного кольору з сіруватим відтінком і характерним жирним металевим блиском, що містить 70...94% вуглецю. Має високу стійкість до дії різних хімічних реагентів. Графіт використовують в олійних фарбових складах.

**Штучні неорганічні пігменти.** Їх отримують з мінеральної сировини шляхом складнішої хімічної переробки. Нижче описані штучні неорганічні пігменти, що найбільш часто застосовуються в будівництві.

**Білими пігментами** є вапно, білила цинкові, титанові, літопонові, свинцеві.

Вапно в барвистих складах є одночасно сполучною речовиною і пігментом. Вживається переважно для фарбування фасадів.

**Цинкові білила** ( $ZnO$ ) мають невисоку атмосферостійкість, розчинні в кислотах і лугах. Застосовують їх в основному для внутрішнього фарбування по дереву, металу, штукатурці.

**Титанові білила** ( $TiO_2$ ) в лугах і кислотах нерозчинні, мають високу світло- і атмосферостійкість, абсолютно нетоксичні. Їх широко застосовують як для внутрішнього, так і для зовнішнього фарбування.

**Літопон** ( $ZnS \cdot BaSO_4$ ) розчинний в кислотах, не володіє корозійною стійкістю і атмосферостійкістю. Літопон застосовують переважно для внутрішнього фарбування.

**Свинцеві білила** ( $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ ) мають велику покривистість, високу світло і атмосферостійкість, а також високу антикорозійну властивість. Недоліком їх є висока токсичність, в зв'язку з чим їх рідко застосовують в будівництві.

**Жовті пігменти** - це солі хромової кислоти, зазвичай звані «кронами» від спотвореного слова «хром».

**Крон цинковий жовтий** ( $ZnCrO_4$ ) має велику світло- і антикорозійну стійкість. Застосовують його в масляних фарбах для фарбування металевих конструкцій.

**Крони свинцеві жовті** ( $PbCrO_4$ ) різних відтінків від лимонного до помаранчевого мають високу покривистість і антикорозійні властивості. Під дією сірководню темніють, під дією лугів червоніють, токсичні. Застосовують рідко для забарвлень по дереву, металу і штукатурці.

**Сині пігменти** – це ультрамарин і блакить малярська.

**Ультрамарин** – синій пігмент, що володіє середньою світлостійкістю і хорошою лужностійкістю. Його застосовують в масляних і вапняних фарбах і для підсвічування білих фарб.

**Лазур малярська** ( $Fe[Fe(CN_6)]_3$ ) – інтенсивний синій пігмент, атмосферостійкий, але не стійкий до дії лугів і високих температур (змінює колір на коричневий). Застосовують блакить з олійними і полімерними сполучними для фарбування по дереву і металу.

**Зелені пігменти**, що застосовуються в будівництві, досить численні. Частіше за інших використовують зелень свинцеву, хромову і цинкову і оксид хрому.

**Зелень свинцева хромова** – механічна суміш жовтих свинцевих кронів з блакиттю і наповнювачем. За технічними властивостями вона аналогічна свинцевим кронам, тобто має високу фарбувальну здатність і покривистість, світлостійка і стійка до корозійних впливів, але не лужностійка. Застосовують її для забарвлень по металу, дереву і штукатурці.

**Зелень цинкова** різноманітних відтінків від жовтуватого до синьо-зеленого являє собою суміш цинкового жовтого крона блакиттю і наповнювачем. Володіє високою атмосферостійкістю і антикорозійними властивостями. Застосовують цинкову зелень в масляних фарбах – по металу і дереву, в клейових – по штукатурці.

**Оксид хрому** ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) – високоякісний пігмент, що володіє світлостійкістю, лужно- і кислотостійкістю, стійкістю до дії високих температур. Його можна змішувати з будь-якими іншими пігментами і застосовувати з усіма видами сполучних.

**Червоні пігменти** численні і різноманітні за властивостями. У будівництві найбільш часто застосовують мумію штучну, крон червоний, сурик свинцевий, редоксайд.

**Мумія штучна** – суміш обпаленого сірчаноокислого кальцію і оксиду заліза. Вона є світлостійким пігментом з високою фарбувальною здатністю і великою покривистістю. Застосовують мумію для забарвлень по дереву і штукатурці.

**Крон червоний** [ $\text{PbCr}_2\text{O}_4 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ] – пігмент яскраво-червоного кольору; має гарну світлостійкість і високі антикорозійні властивості; застосовують для забарвлень по металу.

**Сурик свинцевий** ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) – пігмент від яскраво-помаранчевого до червоного кольору; має високу лужностійкість і знижену кислотостійкість. Особливо високі антикорозійні властивості свинцевого сурику, завдяки чому його застосовують для фарб по сталі, яка піддається тривалому впливу води.

**Редоксайд** – залізоокисний пігмент, стійкий до дії лугів. Застосовують для забарвлень по дереву штукатурці.

В якості **чорного пігменту** в будівництві застосовують різні сажі. **Сажа** – продукт неповного згоряння органічних речовин, має високу покривну і фарбувальну здатність, стійка до дії кислот і лугів. Застосовують сажу у всіх фарбах, крім фарб по чорному металу, так як вона стимулює розвиток корозії.

**Металеві пігменти**. Для фарбування металевих конструкцій часто застосовують металеві порошки: пудру алюмінієву (тонкий порошок металевого алюмінію) і пудру золотисту (тонкий порошок металевої бронзи), що володіють високою світло-і атмосферостійкістю і антикорозійними властивостями.

#### **Органічні пігменти.**

Ці пігменти являють собою органічні синтетичні барвники. Вони мають високу фарбувальну і покривну здатність, чистим і яскравим кольором.

Органічні пігменти світло- і атмосферостійкі, однак лужностійкість у них недостатньо висока. Вони поки дорогі і дефіцитні.

У будівництві застосовують такі органічні пігменти: жовтий, червоний, помаранчевий, червоний, блакитний фталоціанітовий, зелений фталоціанітовий і інші.

Для економії пігментів з високою фарбувальною здатністю їх розбавляють білими наповнювачами. Наповнювачі також підвищують міцність, вогнестійкість і інші властивості барвистих складів. Для зовнішнього фарбування кращими наповнювачами є тонкі порошки важкого шпату ( $\text{BaSO}_4$ ) і тальку. Для внутрішньої обробки застосовують дешевші наповнювачі – тонкомолоту крейду, вапняк, гіпс.

### 3.10.3. Сполучні речовини, розчинники та розріджувачі

**Сполучні (плівкоутворювальні) речовини** в барвистих складах «склеюють» частинки пігменту між собою і з поверхнею, що фарбується, утворюючи тонку плівку. Основні властивості барвистих складів (швидкість затвердіння, міцність і довговічність плівки) залежать значною мірою від особливостей застосовуваного сполучного. Тут спостерігається деяка аналогія з вибором неорганічних в'язучих речовин в бетонах і розчинах, властивості яких (легкоукладальність, швидкість твердіння, міцність і стійкість) істотно залежать від властивостей в'язучих.

В якості в'язучих речовин в барвистих складах використовують:

- *оліфи* (оброблені рослинні масла),
- *полімери* (синтетичні смоли, синтетичні каучуки, похідні целюлози),
- *клеї* (тваринні, рослинні, штучні),
- *неорганічні в'язучі речовини* (вапно, цемент, рідке скло).

Для додання фарбам необхідної робочої (малярської) консистенції використовують *розчинники* та *розріджувачі*.

Утворення лакофарбової плівки ( «висихання» сполучного) відбувається внаслідок різних фізико-хімічних процесів в залежності від виду сполучного.

#### **Сполучні речовини.**

**Оліфи** є сполучною речовиною для приготування масляних барвистих складів. Застосовують оліфи натуральні, напівнатуральні і штучні.

**Натуральні оліфи** одержують шляхом обробки нагріванням до  $150\text{...}200^\circ\text{C}$  ( «варіння») рослинних «висихаючих» масел (льняного, конопляного і інших) при безперервному перемішуванні. У масло додають невелику кількість (2...4%) сикативів (прискорювачів затвердіння) – речовин, багатих киснем (сіть і оксиди марганцю, кобальту та інших металів). Завдяки такій обробці оліфа (рідкий продукт) порівняно швидко (за 12...24 год) висихає (твердне) в тонкому шарі на повітрі, утворюючи еластичну необоротну плівку, нерозчинну у воді і маслах. Твердіння оліфи в тонких шарах на повітрі відбувається внаслідок окислення її киснем, супроводжуваного полімеризацією, тому термін «висихання» оліфи є умовним. Маса і об'єм плівки трохи збільшуються, що іноді (в товстому шарі) може привести до відшарування плівки від основи.

Плівки натуральної оліфи мають високу міцність, еластичність і стійкість проти атмосферних впливів. Однак застосування натуральної оліфи в будівництві обмежене внаслідок високої вартості і дефіцитності рослинних масел. Її використовують лише для забарвлення покрівель з листової сталі і металевих палітурок в будівлях I класу, мостів, металевих воріт шлюзів, а також для ґрунтовок металевих конструкцій в системах водопостачання (баки, водорозбірні колонки тощо) і для приготування замазки.

**Напівнатуральні оліфи** складаються наполовину з ущільнених рослинних масел, розбавлених до необхідної в'язкості легколетючими розчинниками. Ущільнення олій досягають їх окисною полімеризацією (оксидация) шляхом інтенсивної продувки повітрям, підігрітим до 130...150°C, масла з добавкою сикативів або ж безкисневою полімеризацією («варінням») масел в атмосфері нейтрального газу або у вакуумі при температурі 280...300°C). Залежно від способу ущільнення отримують окисовані (оксоли) або полімеризовані оліфи. Для виробництва таких оліф можна використовувати не тільки масла, що висихають, але також і полувисихаючі (соняшникова, рицинова).

Плівки з напівнатуральних оліфтверднуть як внаслідок випаровування розчинника, так і в результаті окислення киснем повітря. Такі плівки відрізняються від плівок натуральної оліфи меншою товщиною, більшою твердістю, менш сильним гляncем і більшою водостійкістю. Однак довговічність плівок напівнатуральних оліфи значно менше, ніж натуральних, так як вони швидше втрачають еластичність внаслідок випаровування розчинників.

Напівнатуральні оліфи широко застосовують в будівництві для всіх видів малярних робіт в будівлях і спорудах I і II класів.

**Оліфи штучні**, або синтетичні, на відміну від натуральної та напівнатуральної не містять рослинних олій або містять їх не більше 35%. Вони є, по суті, одним з видів полімерних зв'язуючих. З штучних оліф в будівництві найбільшого поширення набули: оліфа гліфталева, що складається з розчину полімеру гліфталю в органічних розчинниках з деяким вмістом рослинних масел; оліфа сінтолова – розчин продуктів окислення гасу в органічних розчинниках. Плівки штучних оліф в більшості випадків недостатньо атмосферостійкі. Застосовують штучні оліфи в основному для внутрішнього фарбування в будівлях III класу.

**Полімерні зв'язуючі** в фарбах і лаках застосовують як самостійне сполучне, а також в композиціях з оліфами і неорганічними в'язучими. Раніше в якості полімерного сполучного використовувалися природні смоли: копалли, даммару, каніфоль. В даний час в якості полімерних сполучних використовують *синтетичні смоли, синтетичні каучуки і похідні целюлози*, та ті що розчиняються до потрібної консистенції в органічних розчинниках.

**Розчинниками** називають рідини, які не розчиняють плівкоутворювальні речовини, а слугуючі тільки для зменшення в'язкості барвистих складів, тобто їх додають для додання фарбі зручного наношення. Роль розчинника виконує



оліфа, що додається в густотерту масляну фарбу, або вода, що вводиться в водоемульсійні барвисті склади.

#### **3.10.4. Барвисті склади**

Залежно від використовуваних зв'язуючих барвисті склади (фарби), що застосовуються в будівництві, поділяють на: масляні фарби, лаки; фарби, виготовлені на основі полімерів; фарби на основі мінеральних в'язучих речовин; клейові фарби; емульсійні фарби.

##### ***Масляні фарби.***

Масляні барвисті склади отримують при ретельному розтиранні в фарботерках пігментів з оліфою. Масляні фарби являють собою однорідні суспензії, в яких кожна частка пігменту оточена адсорбованою на її поверхні сполучною речовиною - оліфою. Промисловість виробляє масляні фарби двох видів: густотерті і готові до вживання.

***Густотерті фарби*** – це пасти з мінімальним вмістом оліфи. Перед використанням їх потрібно розбавляти до малярської консистенції оліфою.

***Готові до вживання*** (рідкотерті) фарби мають вигляд рідкої маси і не потребують розведення.

Діапазон застосування олійних фарб дуже широкий - зовнішнє і внутрішнє забарвлення по дереву, металу, бетону і штукатурці. Не можна наносити масляні фарби на вологу поверхню. При виборі і застосуванні масляних фарб необхідно враховувати на ряду з кольором потребу в оліфі для густотертих фарб, покриваність і терміни висихання плівки. Область застосування масляних фарб залежить від властивостей пігменту й виду оліфи.

##### ***Фарби на основі полімерів.***

На основі полімерів виготовляють лаки, летючесмоляні, емульсійні і полімерцементні фарби. Особливого значення набули лаки і фарби на основі кремній-органічних сполук (силіконів). Більшість з них відрізняються високою атмосферостійкістю і термічною стійкістю (наприклад, кремній-органічні вогнетривкі лаки витримують температуру 450...500 °С).

***Лаками*** називають розчини смол (синтетичних і природних) або бітумів в летючих органічних розчинниках. При нанесенні на поверхню тонкого шару лаку розчинник випаровується, лак висихає, утворюючи тверду блискучу прозору плівку. У лакофарбовому покритті лакова плівка захищає барвисті шари і надає забарвленню дзеркальний блиск. Лаки зазвичай отримують свою назву від виду плівкоутворюючої речовини і рідше від виду розчинника. У будівництві в основному використовують наведені нижче види лаків.

***Смоляні лаки*** – розчини синтетичних смол (мочевиноформальдегідної, поліефірної, поліхлорвінілової і ін.) в органічних розчинниках. Їх використовують для обробки паркетних підлог і захисту деревини та інших будівельних матеріалів від корозії.

***Масляно-смоляні лаки*** – розчини синтетичних смол, модифіковані висихаючими маслами. Застосовують для покриттів по дереву.

***Бітумні (асфальтові) лаки*** – розчини бітумів в органічних розчинниках. Ці лаки дають водостійкі плівки чорного кольору. Їх застосовують очним

чином для антикорозійного захисту залізних виробів, труб та інших металевих деталей сантехнічного обладнання. На сонці під впливом ультрафіолетових променів властивості плівки швидко погіршуються. При негативних температурах плівки бітумних лаків стають крихкими. Для поліпшення властивостей таких лаків вводять висихаючі рослинні масла.

**Спиртові лаки і політури** – розчини смол в спирті. Їх застосовують для полірування дерев'яних поверхонь і покриття виробів зі скла і металу.

**Летучо-смоляні фарби** являють собою готові до вживання суспензії пігментів в лаках (летучо-смоляних складах). Утворення барвистої плівки відбувається в результаті випаровування органічного розчинника. При великій кількості сполучного (смола) у фарбах покриття виходять глянцеві. Ці фарби називають емаллями. Емалеві фарби об'єднують в собі властивості фарб і лаків. З широкого асортименту летучо-смоляних фарб, що випускаються промисловістю, в будівництві найбільш часто застосовують перехлорвіналозі, ефіро-целюлозні (нитролаки і емалі), хлоркаучукові, алкідні, епоксидні і карбамідні.

Летучо-смоляні фарби висихають значно швидше масляних (протягом 2...8 год), водостійкі, деякі з них мають високу атмосферостійкість (наприклад, перхлорвінілові фасадні фарби), корозійну стійкість (наприклад, епоксидні і хлоркаучукові фарби). Летучо-смоляні фарби дешевше масляних. Їх широко застосовують для зовнішнього й внутрішнього забарвлення по штукатурці, бетону, дереву та металу в будівлях II і III класів.

Недоліком всіх летучо-смоляних фарб є те, що органічний розчинник – цінний продукт при висиханні безповоротно втрачається. Деякі розчинники токсичні.

**Емульсійні (латексні) фарби** являють собою пігментовані емульсії або дисперсії полімеру у воді. До їх складу входять також емульгатори і деякі речовини, що поліпшують властивості фарб. Емульсійні фарби випускають у вигляді рідкої пасти, яку на місці робіт розводять до малярської консистенції м'якою водою (жорстка вода може викликати згортання фарби, що робить її непридатною до вживання). Емульсійними фарбами фарбують щільні, а також сильно пористі і вологі поверхні. Утворення плівки відбувається внаслідок розпаду емульсії при видаленні води, яка частково випаровується, а частково поглинається основою. Новоутворена плівка володіє деякою пористістю і завдяки цьому є повітря- і паропроникною. Волога поступово випаровується через барвисте покриття, а його зчеплення з основою не слабшає. Ці фарби дають гладкі матові покриття, що володіють великою механічною міцністю, світло- і водостійкістю.

У будівництві найбільш часто застосовують полівінілацетатні, бутадієнстирольні і поліметилакрилатні (акрилатні) емульсійні фарби. Полівінілацетатні і бутадієнстирольні фарби використовують для внутрішнього фарбування по дереву і штукатурці. Акрилатні фарби, що володіють підвищеною атмосферостійкістю, можна застосовувати для фарбування фасадів будівель.

**Полімерцементні фарби** виготовляють змішуванням водних смоляних емульсій з білим цементом, лужностійкими пігментами і наповнювачем. Утворення плівки в полімерцементних фарбах відбувається в результаті розпаду смоляної емульсії при випаровуванні води і реакції гідратації портландцементу. Такі фарби добре зчіплюються з бетонними поверхнями і штукатуркою. Застосовують полімерцементні фарби для обробки фасадів бетонних, цегляних і оштукатурених будівель, а також для заводської обробки великих блоків і панелей.

### 3.11. Мастильні матеріали

#### 3.11.1. Загальні відомості

Метою змазування зон тертя є забезпечення переважно рідинного тертя, при якому втрати на тертя малі, а знос деталей практично відсутній.

**Мастильний матеріал** – матеріал, що вводиться на поверхні тертя для зменшення сили тертя і (або) інтенсивності зношування. Мастильні матеріали повинні володіти:

– строго заданими властивостями, які визначаються величинами питомого і повного навантажень в зоні тертя; максимальною, середньою та об'ємною температурою в зоні контакту;

– кінематикою руху в зоні тертя (кочення, ковзання, змішане). При цьому повинні враховуватися природа матеріалів обох деталей тертя, характеристики хвилястості і шорсткості поверхонь в зоні тертя, властивості навколишнього середовища та ін.

До основних показників якості і працездатності мастильних матеріалів відносяться *в'язкість і в'язкісно-температурні властивості, стійкість до окислення і корозійна стійкість, зольність, температури застигання, спалаху і займання, коксованість, антипінні властивості, щільність, колір і інші.*

**В'язкість рідкого мастильного матеріалу** – внутрішнє тертя, виникаюче між його молекулами і шарами при їх відносному переміщенні під дією зовнішньої сили. Розрізняють *динамічну, кінематичну і умовну в'язкість*. Залежність в'язкості від температури прийнято характеризувати відношенням значень кінематичної в'язкості при 50 °С і при 100 °С. Чим менше це відношення, тим вище в'язкісно-температурні властивості масла.

**Коксивність масла** – це здатність масла під впливом високих температур розкладатися з утворенням твердих опадів (коксу).

По агрегатному стану мастильні матеріали можуть бути *рідкими, пластичними, твердими і газоподібними*. Найбільшого поширення отримали рідкі мастильні (масла) і пластичні мастильні (мастила) матеріали.

#### 3.11.2. Мастила

Мастила як конструкційний матеріал вузла тертя виконують такі функції:

- 1) зменшують тертя, що виникає між сполученими деталями;
- 2) знижують знос і запобігають задири поверхонь тертя;
- 3) відводять тепло від поверхонь, що труться;

- 4) захищають поверхні деталей, що труться і інші неізольовані частини від корозійного впливу навколишнього середовища;
- 5) ущільнюють зазори між сполученими деталями;
- 6) видаляють із зони тертя продукти зносу, корозії та інші забруднення.

Залежно від призначення і умов експлуатації масло, що використовується, повинно надійно виконувати дві-три основні функції. За походженням (способом отримання) виділяють *нафтові, синтетичні і рослинні* масла. У найбільших масштабах використовуються нафтові олії, одержувані шляхом переробки нафтової сировини. Синтетичні масла, одержувані на основі вуглеводневої або інших видів сировини, частіше використовуються в суміші з нафтовими маслами – напів *синтетичні масла*.

До складу товарних масел часто входять крім *основного компонента* (нафтового, синтетичного масла або їх суміші) *спеціальні присадки і тверді антифрикційні добавки*.

В якості присадок використовуються органічні сполуки в кількості до 30%, що поліпшують ті або інші властивості (антиокислювальні, мийно-диспергуючі, в'язкі, антифрикційні, протизносні, депресорні, протипінні та ін.).

В якості твердих антифрикційних добавок (0,5...3,0%) використовуються графіт, дисульфід молібдену, нітрид бору, деякі селеніди, сульфід і йодиди металів, а також високодисперсні порошки металів і їх оксиди. Метою введення твердих добавок є підвищення мастильної здатності масел і їх стабільності до окислення. Перевагою використання твердих добавок є і те, що їх дія проявляється як при низьких, так і при високих температурах.

Основними споживчими властивостями мастил є: *рухливість, індекс в'язкості, стабільність до окислення, випаровуваність, займистість, прийомистість до присадок, мастильна здатність, сумісність з нафтовими основами, сумісність з ущільнювальними матеріалами*.

**Індекс в'язкості (ІВ)** – ступінь зміни в'язкості масла від температури. Чим вище його значення, тим краще масло.

За призначенням виділяють наступні основні групи масел: *моторні, індустриальні, трансмісійні, турбінні, компресорні, гідравлічні, консерваційні, для технологічних операцій і спеціального призначення*.

До групи моторних масел відносяться масла для змащування карбюраторних, дизельних і авіаційних поршневіх двигунів, а також універсальні.

Індустриальні масла ділять на чотири групи:

- 1) для гідравлічних систем;
- 2) для напрямних ковзання;
- 3) для зубчастих передач;
- 4) для шпинделів, підшипників і пов'язаних з ними сполук.

Специфічними споживчими властивостями індустриальних масел є: *індекс задира, навантаження зварювання, показник зносу і противоскачкові властивості*.

Трансмісійні масла призначені для змащування різного роду механічних і гідравлічних трансмісій. Умови роботи масел визначаються конструкцією

агрегату трансмісії (циліндричний, конічний, спірально-конічний і ін.).

Позначення моторних, трансмісійних та гідравлічних масел встановлені ГОСТ 17479.1-85, ГОСТ 17479.2-85 і ГОСТ 17479.3-85.

Компресорні масла, застосовувані в повітряних, газових, холодильних компресорах, повітродувках і вакуумних насосах різного типу і призначення поділяються на три основні групи: *для повітряних і газових компресорів; для холодильних компресорів; для вакуумних насосів.*

Споживчі вимоги до мастил для повітряних і газових компресорів визначаються температурою стисливості газу, тиском стиснення і чистотою газу. Компресорне масло повинно мати термічну і термоокисаційну стабільність, відсутність схильності до коксоутворення і температуру спалаху на 50 °С вище найвищої робочої температури. У маслі не має бути летючих компонентів, а масляний туман повинен відразу осідати на стінках циліндрів, в іншому випадку може статися вибух парів масла. Компресорне масло для холодильних компресорів повинно протистояти агресивності хладагента, температура його застигання повинна бути нижчою за мінімальну робочої температури.

**Консерваційні масла** застосовуються для захисту від корозії і зношування металовиробів, конструкційних матеріалів, запасних частин, інструментів, апаратури та ін. Ці масла утворюють на поверхні тонку масляну плівку, що захищає поверхню від зовнішнього середовища, а також є мастильним матеріалом при переході від консервації до експлуатації. Консерваційні масла, як правило, не сумісні з ходовими, і перед запуском законсервованого пристрою консерваційне масло повинно бути замінено або в нього додано ходове масло.

**Масла для технологічних операцій** – це мастильний матеріал, який виконує роль допоміжного засобу в різних технологічних процесах: обробка різанням, пластична і теплова обробка, для ливарних форм, керамічних виробів, для виробництва бетонних виробів та ін.

**Спеціальні масла** – це такі види масел, які за своїми властивостями пристосовані до виконання особливих певних функцій і практично не застосовуються в звичайних умовах змащення. До цієї групи належать просочувальні масла і масляні розчинники, масло для ланцюгів тунельних печей, масло для герметизації свердловин, масляні теплоносії та ін. Спеціальне масло отримують шляхом введення в мінеральне або синтетичне основне масло спеціальних присадок. За специфікою експлуатації розрізняють робочі, консерваційні та консерваційно-робочі масла.

За умовами застосування масла можуть бути *літні, зимові, всесезонні*, а також для застосування в регіонах з особливими кліматичними умовами, наприклад, *північні* (арктичні).

### **3.11.3. Пластичні мастила**

Основне завдання пластичних мастил – зниження коефіцієнта тертя. Менше застосування мають пластичні захисні мастила, що наносяться на поверхню для захисту від корозії і для герметизації. Всі пластичні мастила

повинні відрізнятися високим прилипанням до змащованої поверхні.

**Основним компонентом** пластичних мастил є мінеральне або синтетичне масло різної в'язкості. Як загусник використовуються консистентні вуглеводні, а також мила різних металів і жирних кислот.

Загущувач утворює з маслом просторовий скелет, в осередках сітки якого закріплено масло. Переміщення масла обмежене перегородками скелета. Просторовий скелет зазвичай побудований з кристалічних агрегатів з волокнистої ниткоподібної або кулястої структурами. Між молекулами в агрегатах і самими агрегатами здійснюється ван-дер-ваальсова взаємодія. Форма агрегатів і особливо форма волокон і їх розміщення в просторовій структурі визначають механічні властивості мастила; так, наприклад, пластичне мастило має межу плинності.

Пластичні мастила не деформуються під дією сили тяжіння, а під дією зсуваючих сил після подолання межі текучості течуть як рідини. Відновлення просторової структури і пов'язані з цим реологічні властивості називаються **тиксотропні властивості**.

Властивості пластичних мастил оцінюють так само, як і властивості інших мастильних матеріалів. Додатково (через специфіку їх структури) визначаються коефіцієнт тиксотропії, межа плинності, температура каплепадіння і ін., серед яких, наприклад, мікробіологічна стійкість, так як деякі компоненти пластичних мастил можуть бути їжею для бактерій, розвиток яких призводить до часткового руйнування або зміни просторової структури мастила.

Пластичні мастила класифікуються: по основному компоненту (маслу), по виду згущувача, за призначенням (для підшипників кочення, ковзання, для передач; канатне мастило, ущільнювальне мастило, мастило для газових кранів, насосне мастило, вакуумне мастило та ін.) і по особливим властивостям (термостійкі, негорючі, стійкі до високого тиску і ін.).

Найбільшого поширення набули кальцієві мастила (солідол), що виготовляються з натуральних тваринних і рослинних жирів або жирних синтетичних кислот. В якості загусників застосовується гідроксид кальцію в порошковому вигляді (гашене вапно) або у вигляді водної суспензії (вапняне молоко). Солідол випускається різної консистенції, що визначають в'язкість масла і кількість згущувача.

#### **3.11.4. Тверді мастильні матеріали**

У багатьох специфічних випадках у вузлах тертя можуть застосовуватися тільки **тверді мастильні матеріали**. До таких випадків відносяться, наприклад, такі умови роботи вузлів тертя: експлуатація нижче температур застигання масел і мастил; експлуатація при високих температурах, при яких мастила розкладаються і випаровуються; неприпустимість присутності рідини; неможливість періодичного підведення мастильного матеріалу до поверхонь тертя і ін.

Природні і штучні тверді мастильні матеріали можна розділити на дві групи:

– **неорганічні** – шаруваті (графіт, діхалькогеніди перехідних металів,

нітрид бору та ін.); не шаруваті (хлориди, фториди і іодіди металів, оксиди та ін.); м'які метали і їхні сплави (Pb, Sn, Cd та ін.);

– **органічні** – полімерні матеріали (політетрафторетилен, поліаміди та ін.).

Тверді мастильні матеріали застосовуються у вигляді покриттів конструкційних матеріалів і антифрикційних наповнювачів в композитах.

Основними вимогами до твердих мастильних покриттів є: низький опір зрізу; висока адгезія матеріалу покриття до підкладки; можливо менша товщина шару покриття; високий опір зношуванню; відсутність корозійного впливу на метали; висока температурна стійкість. Перераховані вимоги істотно залежать як від природи твердого мастильного покриття, так і від способу їх нанесення на деталь.

Способи нанесення покриттів можуть бути розділені за такими групами: механічні (натирання, галтовка і ін.); за речовиною, що зв'язує (занурення, нанесення пензлем, розпорошення і ін.); хіміко-термічні та фізичні (плазмовий, детонаційний і ін.).

### 3.11.5. Мастильно-охолоджуючі рідини

**Мастильно-охолоджуючі рідини (МОР)** – складні багатокомпонентні (в середньому 8...10 складових) з'єднання продуктів нафтохімічного і хімічного виробництва. Вони мають ряд властивостей, що забезпечують при введенні їх в зону різання підвищення стійкості інструменту, поліпшення якості оброблюваної поверхні, зменшення сил різання і сприяють видаленню стружки.

В основі дії МОР на процес різання лежать три ефекта: мастильний, охолоджуючий і миючий.

Застосування МОР не завжди дає позитивний результат. Так, хімічно активні речовини при різанні швидкорізальним інструментом у багатьох випадках знижують стійкість інструменту внаслідок збільшення абразивно-хімічного зносу, а також зменшення захисної дії наросту на контактних поверхнях. Особливо значний прояв негативного впливу МОР на стійкість при малих швидкостях різання. У промисловості застосовуються два основних види МОР: *масляні* і *водорозчинні*.

**Масляні МОР** складаються з мінерального масла (60...95%) і різних присадок: антифрикційних, антизадирних, антипінних і антитуманних інгібіторів корозії. Масляні МОР (сульфо-фрезол, МР-1, ОСМ-3) володіють найбільш високою мастильною дією і застосовуються в основному при обробці швидкорізальним інструментом на низькій швидкості різання і коли необхідно знизити шорсткість обробленої поверхні.

**Водорозчинні МОР** (емульсоли) містять 70...85% мінерального масла і 30...15% емульгаторів разом з різними присадками. З емульсолів (Е-1, -2, -3, ЕТ-2 та ін.) готують водні емульсії (зазвичай 1...10% емульсолів). Водні охолоджувальні емульсії завдяки мастильній і високо охолоджуючій дії отримали найбільш широке застосування.

### **3.11.6. Робочі рідини та мастильні матеріали очисних машин гірничих підприємств**

**Робочі рідини.** У гідросистемах механізованого кріплення, очисних комплексів шахт, гідромуфтах, передвижниках забійних конвеєрів в якості робочої рідини застосовують негорючі водні емульсії. До складу водної емульсії входять вода і протикорозійна присадка (емульсія) в кількості 1,5...3% від маси води.

В якості протикорозійних присадок застосовують ВНП НП-117 (1,5...2%) або емульсол Аквол-3 (3%), що представляють собою екстракти селективного очищення масла з додаванням антикорозійних, емульсуючих, протизадирних і поверхнево-активних речовин.

Присадка ВНП НП-117 має вигляд густої чорно-коричневої рідини з температурою застигання  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в зв'язку з чим зберігання і експлуатація емульсії при мінусових температурах забороняються. Присадка, що застосовується для приготування емульсії, повинна мати паспорт або сертифікат заводу-виготовлювача і поставлятися споживачеві у відповідній тарі. Гарантійний термін зберігання присадок: ВНДІ НП-117 – 1,5 року, Аквол-3 – 6 міс.

Готують, транспортують і зберігають емульсію відповідно до спеціальної інструкції.

Готується емульсія шляхом перемішування. Присадка (емульсол) змішується з питною водою, яка відповідає певним вимогам. Спочатку з води (підігрітої до  $60\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) і присадки готується 10–25% -ний концентрат, який ретельно перемішується до отримання однорідної суміші.

В концентрат додається підігріта до  $15\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$  вода в таких обсягах, щоб зміст присадки ВНП НП-117 становив 1,5...2%, Аквол-3 – 3%. Потім весь об'єм суміші ретельно перемішується (10...15 разів) за допомогою насоса будь-якого типу з подачею  $0,5\text{--}1,66\text{--}10^{-3}\text{ м}^3/\text{с}$ . Більш якісно і швидко емульсію готують за допомогою спеціальних ультразвукових установок.

Правильно приготовлена емульсія являє собою однорідну рідину молочного кольору без явно вираженого запаху, видимих згустків, розшарувань, забруднень. Основні відомості, про емульсію повинні бути занесені особою, що її приготувала, в спеціальний журнал. Там же повинні знаходитися паспорта (сертифікати) присадки і довідки з результатами хімічних аналізів води, присадки і емульсії. Аналіз води, емульсії виконують в шахтній або іншій хімічній лабораторії.

Емульсію готують в спеціально обладнаному приміщенні з хорошою вентиляцією. Робітник, зайнятий приготуванням емульсії, повинен користуватися прогумованими фартухом, рукавицями, мати захисні окуляри і дотримуватися заходів особистої гігієни.

Якість емульсії необхідно перевіряти періодично під час роботи кріплення (не рідше одного разу на місяць), так як при експлуатації може відбутися збіднення робочої рідини через осідання присадки на стінках гідроапаратури кріплення, а також забруднення робочої рідини.

Не рекомендується в гідросистему одного і того ж кріплення заливати



робочу рідину з різними присадками, так як це може призвести до утворення згустків і засмічення гідросистеми кріплення.

**Мастильні матеріали.** Для змащення очисних машин застосовуються рідкі мінеральні масла і консистентні мастила. У гідросистемах рідкі мастила є одночасно і робочою рідиною.

У рідкі мінеральні масла додаються протикорозійна присадка КП2 (ГОСТ 23639–79) в кількості 10% до масла ТАП 15В і 5% до масел І20А і І40А. Види мастил, що застосовуються в серійних очисних машинах, наведені в табл. 3.11

Рідкі масла доставляються в шахту в бочках або в спеціально підготовлених ємностях. Консистентні мастила надходять в заводській тарі або в дрібній розфасовці в поліетиленових пакетах.

Таблиця 3.11

**Мастила, що застосовуються в серійних очисних машинах**

Мастило, масла	Стандарт, технічні умови	Комбайн, конвеєр	Місця мастила
Індустріальне загального призначення 20А (І20А)	ГОСТ 20799–75	К103; КА80; МК67М; 1К101У; 2К52МУ; КШ1КГУ; 1ГШ68	У гідросистемах підйому і опускання виконавчих органів
Індустріальне загального призначення 40А (І40А)	ГОСТ 20799–75	МК67М; 1К101У; 2К52МУ; КШ1К1У; 1ГШ68	У гідросистемах механізмів подачі
Шахтол	ТУ 38, УССР 2–01.359–81	КЮ3; КА80; МК67М; 1К101У; 2К52МУ; КШ1КТУ; 1ГШ68 СП202; СП202ВШ; СПМ87; СП87П	В редукторах машин
Універсальна, середньоплавка, синтетична УСс (солідол синтетичний)	ГОСТ 4366–76	МК67М; 1К101У; 2К52МУ; СП202; СП87П; СПМ87	У підшипниках тягових зірочок, механізмах управління, натяжних пристроях
Універсальна, тугоплавка, водостійка УТВ (мастило 1-13 жирова)	ОСТ 38.01.145–80	К103; 1К101У; 2К52МУ; КШ1КГУ; 1ГШ68	У цапфах поворотних редукторів, механізмах управління
ЦИАТИМ203	ГОСТ 8773–73	1КЮ1У; 2К52МУ; КШ1КГУ; 1ГШ68; СП202; СП202В1М; СП87П; СПМ87	У підшипниках двигунів, валів, в лабіринтах зірочок

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ржевская С.В. Материаловедение Учебник, изд. 4-е. – М.: Логос, 2004. – 413 с.
2. Домокеев А.Г. Строительные материалы. Учебник для строительных вузов, 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1989. - 495 с., ил.
3. Воробьев В.А., Комар А.Г., Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1976.– 479 с.
4. Казаков С.С., Элькин И.Л. Справочник машиниста углендобывающих комплексов. – К.: Техника, 1989.– 165 с.
5. Гаевик Д. Т. Справочник смазчика. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с: ил.
6. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи. – М.: Металлургия, 1983. – 384 с.
7. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с: ил.
8. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1999. – 416 с.
9. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия: Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1988. – 527 с: ил.
10. Композиционные материалы: Справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др. / Под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с: ил.
11. Лахтин Ю.М. Леонтьева В.П. Материаловедение : Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – 528 с.
12. Лившиц Л.С. Материаловедение для сварщиков (сварка сталей). – М.: Машиностроение, 1979. – 253 с: ил.
13. Материаловедение: Учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. / Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с: ил.
14. Материаловедение и технология металлов: Учеб. для вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др. / Под ред. Г.П. Фетисова. – М.: Высшая школа, 2000. – 638 с: ил.
15. Научные основы материаловедения / Б.Н. Арзамасов, А.И. Крашенинников, Ж.П. Пастухова, А.Г. Рахштадт. – Учеб. для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994. –366 с: ил.
16. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: Учеб. пособ. – М.: Высшая школа, 2002. – 701 с: ил.
17. Справочник по триботехнике: В 3 т. / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. Т. 2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с: ил.
18. Шубина Н.Е. Материаловедение в горном машиностроении: Учеб. пособ. – М.: Изд-во МГГУ, 2000. – 272 с.

Навчальне видання

**Бузило** Володимир Іванович  
**Сердюк** Володимир Петрович  
**Яворський** Андрій Васильович  
**Гайдай** Олександр Анатолійович

## **МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

Навчальний посібник

Видано за редакцією авторів

Підп. до друку 06.07.2021. Формат 30x42/4.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 14,1.  
Обл.-вид. арк. 18,2. Тираж 10 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано  
в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.

49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.