Міністерство освіти і науки України
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

С. М. Ящук, В. Г. Люльченко

ВИРОБНИЦТВО ТА ОБРОБКА КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

(технологія виробництва конструкційних матеріалів**)**

Рекомендовано вченою радою Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини
як навчальний посібник

Умань 2020

УДК 669.018.29
Я 99

Рецензенти:

Курок В. П., доктор педагогічних наук, професор кафелри технологічної та професійної освіти Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка;

Азізов Т. Н., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри техніко-технологічних дисциплін, охорони праці та безпеки життєдіяльності Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини;

Андрощук І. П., доктор педагогічних наук, доцент кафедри теорії та методики трудового та професійного навчання Хмельницького національного університету

Рекомендовано до друку на засіданні кафедри техніко-технологічних дисциплін, охорони праці та безпеки життєдіяльності Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини (протокол № 7 від 17.12.2019 року)

Ящук С. М.

Я99 Виробництво та обробка конструкційних матеріалів (технологія виробництва конструкційних матеріалів) : навч. посіб. / Ящук С. М., Люльченко В. Г. – Умань : Візаві, 2020. – 199 с.

В навчальному посібнику викладено питання технологій виробництва сучасних конструкційних матеріалів. Висвітлено основні відомості про технології виробництва металів інших неметалевих матеріалів, що використовуються в народному господарстві та для виготовлення деталей машин в умовах сучасного промислового виробництва. Коротко розглянуто загальні поняття про одержання виробів із неметалевих матеріалів і порошків. Висвітлено сучасні методи електрофізичної та електрохімічної обробки металів, питання автоматизації процесів механічної обробки.

Для освітнього процесу підготовки фахівців технологічного напрямку освітнього ступеня «Молодший бакалавр» та «Бакалавр» у закладах вищої освіти

УДК 669.018.29

© Ящук С. М., ЛюльченкоВ. Г., 2020

ЗМІСТ

Вступ. 7

Розділ 1. Властивості металевих і неметалевих матеріалів

1.1. Будова металів, методи дослідження їх структури 9

1.2. Основні властивості конструкційних матеріалів 11

Розділ 2. Метали та сплави як конструкційний матеріал

2.1. Діаграма стану системи залізо – вуглець 16

2.2. Процеси виплавки чавуну 19

2.2.1. Доменний процес 21

2.2.2. Технологія плавки чавуну у вагранках 25

2.2.3. Процес одержання чавуну в індукційних печах 27

2.2.4. Фазові та структурні перетворення залізовуглецевих сплавів в чавун у зв’язку з діаграмою стану

2.2.5. Формування структури білих чавунів. 28

2.2.6 Промислові чавуни 30

2.3. Промисловий процес виплавки сталі 31

2.3.1.Фазові та структурні перетворення 35
залізовуглецевих сплавів в сталь у зв’язку з діаграмою стану

2.3.2.Поняття про виробництво сталі із чавуну

2.3.3. Поняття про розливання сталі. Характеристика 35
видів розливання сталі. 37

2.3.4. Поняття про способи одержання високоякісної сталі 39

2.3.5. Методи виплавлення сталі

2.3.6. Класифікація і маркування легованих сталей 41

2.3.7. Конструкційні леговані сталі 41

44

46

Розділ 3. Кольорові метали й сплави

3.1 Алюміній та його сплави 54

3.1.1 Сировина для виробництва алюмінію 55

3.1.2 Способи одержання алюмінію 56

3.1.3 Вплив хімічних елементів на властивості алюмінію 62

3.1.4 Сплави на основі алюмінію 64

3.2 Теоретичні основи виробництво міді 69

3.2.1 Гідрометалургійна переробка мідних руд 70

3.2.2 Пірометалургійний спосіб одержання міді 71

3.2.3 Сплави на її основі міді 73
3.2.4 Латунь 74
3.2.5 Бронза (олов'яниста) 76
3.2.6 Сплави міді з алюмінієм, кремнієм, берилієм та іншими елементами 78
3.3. Виробництво магнію 80
3.4 Виробництво титану 82
3.5 Антифрикційні сплави 84
Розділ 4. Основні технології ливарного виробництва
4.1. Загальні поняття ливарного виробництва 86
4.2. Ефективність використання металу при литті по зрівнянню з іншими видами обробки металів 86
4.3. Дефекти виливок 88
4.4 Виготовлення виливок із чавунів 95
4.5 Виробництво виливок із сталі 98
4.6 Виробництво виливок із мідних сплавів 99
4.7 Виробництво виливок із алюмінієвих сплавів 101
4.8 Виробництво виливок із магнієвих, титанових і цинкових сплавів 103
4.9 Будова ливарної форми. Виготовлення стержнів 105
4.10 Плавлення сплаву і заливання форм 106
Розділ 5. Порошкова металургія 108
5.1. Основні технології виробництва порошків 110
5.2 Формування порошків 113
5.3 Спікання і обробка спечених виробів 115
5.4 Фільтри 118
Розділ 6. Неметалеві конструкційні матеріали
6.1. Полімери та пластичні маси 120
6.1.1 Полімери 120
6.1.2 Методи синтезу полімерів 121
6.2. Пластичні маси 123
6.2.1 Загальні властивості пластмас 125
6.2.2 Технологія одержання виробів із пластмас 126
6.3. Виробництво полімерних волокон, штучних та синтетичних 131
6.4. Композиційні матеріали 133
6.4.1 Основи створення полімерних композиційних матеріалів 142
6.4.2 Склопластики 143

6.4.3 Поліестерні смоли 145
6.4.4 Вуглепластики 146
6.4.5 Технологія виготовлення виробів з армованих пластиків 147
6.5 Скло та склокристалеві матеріали 149
Розділ 7. Деревні матеріали
7.1 Деревина як конструкційний матеріал 154
7.2 Макроскопічна та мікроскопічна будова деревини 155
7.3 Основні властивості деревини 157
7.3.1 Фізичні властивості 157
7.3.2 Механічні властивості деревини 158
7.4 Деревні породи, що застосовуються у виробництві 159
7.5 Вади деревини 160
7.6 Пиломатеріали 162
7.7 Листові деревні матеріали 164
8. Текстильні матеріали
8.1 Матеріали природнього походження 166
8.2 Матеріали хімічного походження 169
Розділ 9. Опоряджувальні матеріали 174
9.1 Матеріали для прозорого оздоблення 175
9.1.1 Барвники 175
9.1.2. Протрави 176
9.1.3 Розчинники, розріджувачі й пластифікатори 177
9.1.4 Лаки й політури 181
9.2 Матеріали для непрозорого оздоблення 188
9.2.1. Олії й оліфи 188
9.2.2 Ґрунтовки і шпаклівки 190
9.3 Фарби 191
9.4. Емалі 193
Список рекомендованої літератури 196
Додатки

Передмова

Навчальний посібник написаний відповідно до освітньої програми дисципліни «Виробництво та обробка конструкційних матеріалів» для підготовки фахівців освітнього ступня «молодший бакалавр» та «бакалавр» спеціальності (014.10 Середня освіта. Трудове навчання і технології) закладів вищих освіти України III - IV рівнів акредитації.

Мета видання - поглиблення і закріплення теоретичних знань про виробництво конструкційних матеріалів та набуття умінь аналізувати і використовувати конструкційні матеріали в народному господарстві.

Предметом досліджень є освоєння процесів переробки природної сировини, тобто практичні методи перетворення сировинних матеріалів у готові вироби різних розмірів, конструкцій та ін. За товарними та сировинними ознаками технологію розподіляють на: технологію переробки металів і сплавів, технологію переробки силікатних матеріалів, технологію переробки гуми, шкір та інших видів природних сировинних матеріалів. Втілення прогресивних технологічних процесів переробки сировини у товари, описаних у посібнику, дозволяє забезпечити раціональне природокористування природних ресурсів і сировини.

ВСТУП

Ефективне функціонування будь-якого підприємства незалежно від форми власності і господарювання пов’язано, перш за все, з досягненням ресурсної забезпеченості. Одним з найважливіших завдань управління природно-ресурсним потенціалом є оптимізація взаємин між окремими видами природних ресурсів та виробничою діяльністю підприємств. При проведенні досліджень та реалізації практичних заходів у цьому напрямку важливим є врахування економічної значущості та реальної господарської важливості кожного виду природної сировини. В зв’язку з цим збереження всіх видів природних ресурсів вважається економічно доцільним. Зараз активно використовується дослідження про встановлення меж допустимих навантажень на природне середовище та шляхів подолання об’єктивних лімітів природовикористання. При функціонуванні промислових підприємств доводиться мати справу з охороною навколишнього середовища. Слід відмітити, що охорона навколишнього середовища – це система заходів, скерованих на підтримку взаємодії людини, як суб’єкта економічних відносин, та навколишнього природного середовища, що забезпечують збереження та відновлення природних багатств, раціональне використання природних ресурсів, попередження впливу результатів діяльності підприємств на природу та здоров’я людини. Виникнення умов екологічних катастроф не тільки на територіях із значними промисловими комплексами та виробничим навантаженням зумовлює необхідність розробки дієвих заходів щодо зниження викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище та його забруднення, створення екологічно щадних, маловідходних і безвідходних технологій, економії ресурсів.

Сучасне матеріалознавство природних ресурсів, як прикладна наука про їх будову та властивості, інтенсивно досліджує: загальні закони розвитку природних ресурсів як складової національного багатства; особливості формування споживних та технологічних властивостей природних ресурсів і комплексів; зв'язок між складом, структурою і властивостями нових матеріалів; знаходження раціональних рішень у процесі вивчення впливу переробки природної сировини на навколишнє середовище; способи обмеження споживання природних ресурсів для задоволення потреб в господарській

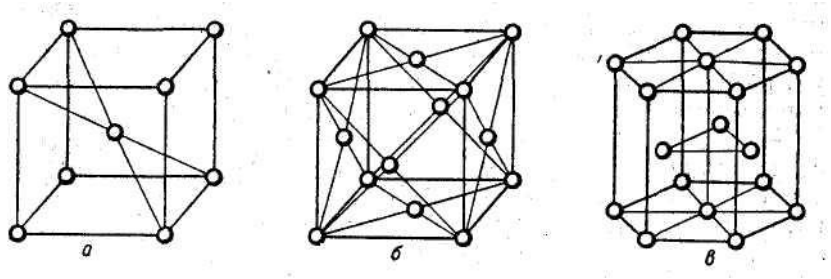
діяльності людини, або, іншими словами, – обмежувальні прогнози в господарській діяльності людини на Землі.

Предметом досліджень сучасної науки матеріалознавства є детальне вивчення за допомогою кількісних методів основ структури та функціонування природних ресурсів і сировини. Центральне місце в досліджувальному аспекті матеріалознавства природних ресурсів посідає механізм переробки природної сировини, відтворення природних ресурсів, збереження їх властивостей, поповнення природних ресурсів під впливом діяльності людини. Рівень технічного розвитку суспільства залежить не тільки від того, якими матеріалами воно володіє, але значною мірою – від методів їх обробки. В прискоренні науково-технічного розвитку важливу роль відводять технології виробництва непродовольчих товарів. Технологія передбачає конкретні виробництва, тобто практичні методи перетворення сировинних матеріалів у готові вироби різних розмірів, конструкцій та ін. За товарними та сировинними ознаками технологію розподіляють на: технологію переробки металів і сплавів, технологію переробки силікатних матеріалів, технологію переробки гуми, шкір та інших видів природних сировинних матеріалів. Втілення прогресивних технологічних процесів переробки сировини у товари, описаних у роботі, дозволяє забезпечити раціональне природокористування та відтворення природних ресурсів і сировини.

Розділ 1. Властивості металевих і неметалевих матеріалів

1.1 Будова металів, методи дослідження їх структури

У техніці під металами розуміють як технічно чисті метали, так і їхні сплави. Застосування металів потребує знання їхніх механічних, фізичних, хімічних і технологічних властивостей. Вивчення цих властивостей – справа нелегка, тому що залежать вони не тільки від складу, а й від будови, або структури, металевих матеріалів. Тому, змінюючи внутрішню будову металів механічною або термічною обробкою, можна значно змінити і їхні властивості. Вивчення зв'язків між складом, будовою, обробкою і властивостями металів є завданням металознавства.



Мал. 1.1 Елементарні кристалічні комірки металів.

Усі метали в твердому стані мають кристалічну будову. Розташування атомів (іонів) у кристалічній речовині звичайно зображають у вигляді елементарної комірки, яка є найменшим комплексом атомів. Багаторазове повторювання її відображає розташування атомів в об'ємі всієї речовини, тобто її кристалічну решітку. Кристалічна решітка об’ємного твердого тіла складається з великої кількості однакових елементарних комірок, утворених структурними елементами.

Найхарактернішими для металів є три типи кристалічних комірок (мал. 1.1): об'ємноцентрована кубічна (оцк), гранецентрована кубічна (гцк) і гексагональна щільноупакована (гщу). У системі оцк кристалізуються, наприклад, Сг, Мо, W; в системі ГЩУ – Zn, Be.

Відстань між центрами атомів, розташованих на одному ребрі кристалічної комірки, називається параметром решітки. Кубічні решітки характеризуються одним параметром – довжиною ребра куба. Залежно від фізичної природи сил, які діють між структурними елементами кристалічної решітки, розрізняють чотири типи кристалів. Іонні – у вузлах яких містяться позитивно та негативно заряджені іони; молекулярні – що утворюються молекулами речовин; атомні –

кристалічні решітки яких утворюються внаслідок щільної упаковки атомів, найчастіше одного типу; металічні – у вузлах яких розміщені позитивні іони металу.

Отже, класичними представниками кристалічних речовин є метали. Більшість металів мають найпростіші типи кристалічних решіток. Так, залізо (при температурі нижче 910°С), хром, молібден, ванадій та інші мають об’ємноцентровану кубічну решітку; залізо (при температурі більше 910°С), алюміній, нікель, мідь, свинець та інші кристалізуються в гранецентровану кубічну решітку; гексагональну щільноупаковану решітку мають магній, цинк, берилій та інші метали.

Якщо взяти порівняно великий шматок довільного металу, то на перший погляд його кристалічна будова ніяк не виявляється. Річ у тім, що метали, як звичайно, складаються із величезної кількості маленьких кристаликів, що зрослись між собою різнозорієнтовано. Під мікроскопом чи навіть за допомогою лупи їх неважко побачити, особливо на свіжому зламі металу

У різних кристалографічних площинах, проведених через центри атомів у кристалічних решітках, число атомів і відстані між ними неоднакові. Наприклад, у площині, проведеній через основу гексагональної решітки (рис. 1.1, в), розташовано сім, а в площині її грані – чотири атоми. В зв'язку з цим властивості монокристалів (одиничних кристалів у вигляді геометрично правильної фігури многогранника) у різних напрямках неоднакові. Таке явище називається анізотропією.

Реальні метали є тілами полікристалічними, тобто складаються з великої кількості по-різному орієнтованих у просторі кристалів (зерен). Тому властивості таких металів у будь-якому напрямку усереднені, однакові. Проте в тих випадках, коли обробка металів сприяє переважному орієнтуванню окремих кристалів (наприклад при прокатуванні, куванні), полікристалічні метали стають також анізотропними. Так, міцність зразків, вирізаних з листа вздовж напрямку прокатування, менша за міцність зразків, вирізаних у напрямку впоперек прокатування; встановлено, також, що коефіцієнт теплового розширення листа з цинку може відрізнятися в 1,5-2 рази залежно від напрямку прокатування.

У деяких металів (Fe, Sn, Ti) при зміні температури і тиску відбувається перебудова атомів у просторі, тобто змінюється форма кристалічної решітки. Існування однієї і тієї самої речовини в різних

кристалічних формах (модифікаціях) називається поліморфізмом, а перехід з однієї модифікації в іншу – поліморфним перетворенням.

При поліморфних перетвореннях змінюється не тільки будова кристалічної решітки металу, а й його властивості – об'єм, пластичність, здатність розчиняти в собі різні домішки і т. ін.

Поліморфізм металів має велике практичне значення, тому що він багато в чому визначає поводження і властивості металів при механічній і термічній обробці, легуванні та роботі в умовах низьких і високих температур.

1.2 Основні властивості конструкційних матеріалів

Метали характеризуються фізико-хімічними, механічними і технологічними властивостями.

До фізико-хімічних властивостей конструкційних матеріалів належать:

- колір – характерна ознака зовнішнього виду матеріалу, властивість тіл викликати зорове сприйняття згідно зі спектральним складом й інтенсивністю відбитого світла;
- густина – маса одиниці об'єму даної речовини, вимірюється в кг/м^3;
- температура плавлення – температура, при якій хімічно чистий метал переходить із твердого стану в рідкий, може визначатись в °С або К;
- питома теплоємність – характеризує здатність тіла до нагрівання, визначається як кількість енергії (теплоти), необхідної для нагрівання 1 кг речовини на 1 градус та вимірюється в Дж/(кг*К), або Дж/(кг*°С);
- питома теплота плавлення – кількість теплоти, яку поглинає 1 кг металу при стану в рідкий (при температурі плавлення), одиниця вимірювання – Дж/кг;
- теплопровідність – величина, що характеризує теплопровідні властивості матеріалу та залежить від хімічної природи матеріалу, одиниця вимірювання в Вт/(м*К);
- електричний опір – властивість речовини чинити опір впорядкованому руху носіїв струму, характеризується питомим опором, який показує величину опору проходженню струму по провіднику довжиною 1 м та поперечним перерізом у 1 мм^2; електричний опір вимірюється в Ом, питомий опір – Ом/(м*мм^2);

До механічних відносять:

- міцність - характеризує властивість матеріалу чинити опір дії

зовнішніх сил; за дією зовнішніх сил розрізняють міцність на розтяг, стиснення, згин, кручення та інше; в системі СІ виражається в Н/м^2, хоча реально в техніці використовується позасистемна одиниця Н/мм^2;

- в’язкість – розрізняють статичну в'язкість, яка характеризується відносним видовженням при дослідженні зразків на видовження й виражається в % відношенні довжини зразка при руйнуванні до його початкової довжини, а також динамічну в'язкість, яка визначається кількістю роботи, прикладеної до зразка, необхідну для його руйнування;

- твердість – характеризує протидію матеріалу при вдавлюванні в нього твердої стальної кульки (метод Брінелля) або алмазного конуса (метод Роквелла); вимірюється у відносних одиницях.

Конструкційні матеріали характеризуються наступними основними технологічними властивостями:

- пластичність – здатність матеріалу під дією зовнішніх сил, не руйнуючись, змінювати свою форму та розміри й зберігати залишкові (пластичні) деформації після припинення дії цих сил;

- ковкість – здатність металу оброблятись тиском без ознак руйнування, тобто куватись, штампуватись, прокатуватися в гарячому та холодному станах;

- рідинотекучість – здатність розплавленого металу чи сплаву заповнювати ливарну форму в найтонших та найскладніших її частинах і давати міцні виливки точної конфігурації;

- усадка – зменшення об'єму металу внаслідок його тверднення та охолодження до кімнатної температури;

- газопоглинання – здатність металів поглинати гази в розплавленому стані та виділяти їх внаслідок охолодження;

- здатність до ліквації – поява неоднорідності металу за хімічним вмістом у різних частинах виливка;

- корозія – процес хімічного чи електрохімічного руйнування поверхні металу або сплаву під дією навколишнього середовища;

- зносостійкість – здатність металу чинити опір дії стираючих зусиль, які призводять до зміни розмірів чи руйнування поверхні виробу;

- оброблюваність – властивість металу оброблятись різальними інструментами для надання деталям певної форми, розмірів та шорсткості поверхні;

- зварюваність – властивість металів утворювати міцні з'єднання через їхнє місцеве нагрівання до розплавленого чи пластичного стану

із застосуванням механічного тиску або без нього.

Властивості матеріалів залежать від типу кристалічної решітки, від відстані між атомами в решітці, від типу зв'язку між окремими структурними елементами. Наприклад, речовини з атомною кристалічною структурою характеризуються високою твердістю та міцністю (алмаз, германій та інші); металічні кристали в своєму об'ємі мають значну кількість вільних електронів, тому є добрими електро- й теплопровідниками. Механічні властивості матеріалів значною мірою залежать від їхньої структури і насамперед від того, чи є зразок моно- або полікристалом. Як уже зазначалося, полікристалічні тіла – ізотропні, для монокристалічних же характерна анізотропія їхніх властивостей.

Сплави – це тіла, що утворились внаслідок тверднення розплавів, які складались із двох чи більше компонентів. Металеві сплави можуть складатись лише із металів (наприклад, латунь – сплав міді й цинку) або із металів із незначним вмістом неметалів (наприклад, чавун та сталь – це сплави заліза з різними концентраціями вуглецю). Неметалеві сплави складаються з неметалевих речовин і можуть бути природними (граніт, базальт) й штучними (скло, шлаки).

Будова сплавів складніша за будову чистих металів, тому властивості сплавів значно відрізняються від властивостей чистих металів. Наприклад, залізо має границю міцності близько 250 Мн/м^2 (25 кГ/мм^2), а сплави на його основі–до 2000 Мн/м^2 (200 кГ/мм^2) і вище. Залізо і нікель – метали феромагнітні, а сплав заліза з 25% Ni не має цієї властивості. Усі ці приклади не тільки виявляють можливості зміни властивостей металів при сплавлянні їх з іншими елементами, а й свідчать про необхідність всебічного вивчення сплавів для раціонального використання їх у різних галузях сучасної техніки.

У сплавах залежно від фізико-хімічної взаємодії компонентів можуть утворюватися наступні фази: тверді розчини, хімічні сполуки та механічні суміші.

Тверді розчини – це сплави, в яких один із компонентів зберігає свою кристалічну решітку, а атоми інших компонентів розташовуються в решітці першого, змінюючи її розміри. Розрізняють тверді розчини заміщення, коли атоми розчиненого компонента замінюють частину атомів розчинника (мал. 1.2, а), (наприклад, цинк у магнію розчиняється до 1,4, а в міді – до 39%; мідь і нікель мають необмежену розчинність один в одному) та тверді розчини проникнення, коли атоми розчиненого компонента займають місця

між вузлами кристалічної решітки, мають малі атомні розміри, наприклад, з вуглецем, азотом, бором. Це такі, як розчин вуглецю в залізі (рис. 2,б).

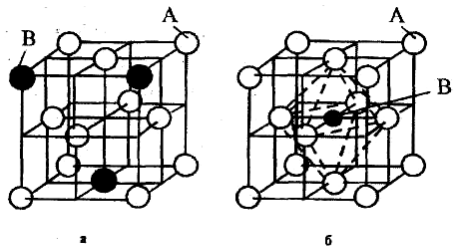


Рис. 1.2. Схеми твердих розчинів заміщення (а) та проникнення (б).

Ряд компонентів при твердінні можуть вступати в хімічну взаємодію й утворювати *хімічні сполуки* як металів з неметалами, так і тільки одних металів.

Хімічні сполуки металів з неметалами (окисли, сульфіди і т. ін.) мають особливий тип кристалічної решітки, цілком певний склад, а також характерні фізико-механічні властивості (високу твердість і підвищену крихкість). У сплавах вони звичайно перебувають у вигляді включень.

Хімічні сполуки металів з металами характеризуються змінним складом. Наприклад, у сполуці FeCr вміст хрому може змінюватись від 20 до 60%. Недотримання закону постійності складу істотно відрізняє їх від звичайних хімічних сполук. Тому іноді їх називають не хімічними, а металевими сполуками.

Якщо при твердінні компоненти сплаву не взаємодіють один з одним, утворюється *механічна суміш* зерен кожного з компонентів. Наприклад, сплав свинцю з сурмою після твердіння являє собою суміш двох фаз зерен свинцю і сурми. Механічна суміш деяких сплавів може складатись і з більшої кількості різних фаз. Звичайно, кожна з них зберігає свій тип кристалічної решітки.

У рідкому стані більшість металів необмежено розчиняються. Перехід сплавів із рідкого стану в твердий принципово відрізняється від процесу кристалізації хімічно чистих металів, для яких температура плавлення та кристалізації – це чітко фіксовані температури. У випадку сплавів процес кристалізації теж характеризується тепловими ефектами, але сплав і плавиться, і кристалізується у певному діапазоні температур. Досліджують криві нагріву та охолодження при різних співвідношеннях компонентів сплаву й фіксують критичні точки, тобто температури при яких на кривих охолодження (нагріву) з’являються зупинки чи перегини

шляхом побудови діаграми стану сплавів, які відображають зв’язок між станом сплавів, їх складом і температурою, а також фазові перетворення, що відбуваються у сплавах при нагріванні й охолодженні.

Розділ 2. Метали та сплави як конструкційний матеріал

2.1 Діаграма стану системи залізо – вуглець

Залежно від вмісту вуглецю залізовуглецеві сплави поділяють на сталі (до 2,14 % С) і чавуни (більше 2,14%). Діаграма стану системи Fe – C графічно зображує фазовий стан залізовуглецевих сплавів залежно від вмісту вуглецю та температури за умови дуже повільного їх охолодження або нагрівання. Основою для побудови такої діаграми (рис. 2.1) є дослідження Д.К. Чернова, пов'язані з відкриттям критичних температур (точок), що залежать від вмісту вуглецю у сплаві, а також уявлень щодо закономірності зміни при певних температурах структурного стану і властивостей залізовуглецевих сплавів. Діаграму стану системи Fe – C використовують у теорії та практиці термічної обробки сталей і чавунів.

Діаграма Fe – C (рис. 2.1) показана лише для інтервалу концентрації вуглецю від 0 до 6,67 %, тобто до утворення хімічної сполуки Fe3C (цементит). Лише ця частина діаграми має практичне значення, оскільки сплави з більш високим вмістом вуглецю дуже крихкі. По осі абсцис на діаграмі показано концентрацію вуглецю в масових частках (мас. %), а по осі ординат – температуру в градусах Цельсія (Т, °С). Якщо розглядати Fe_3C як компонент, то для переводу концентрації вуглецю в концентрацію цементиту вміст вуглецю слід помножити на 15.

При охолодженні залізовуглецевих сплавів вуглець може не тільки хімічно взаємодіяти із залізом, утворюючи Fe_3C, але й виділятись у вільному стані у вигляді графіту. Тому розрізняють дві діаграми стану: залізо – цементит (Fe – Fe_3C) і залізо – графіт (Fe – C).

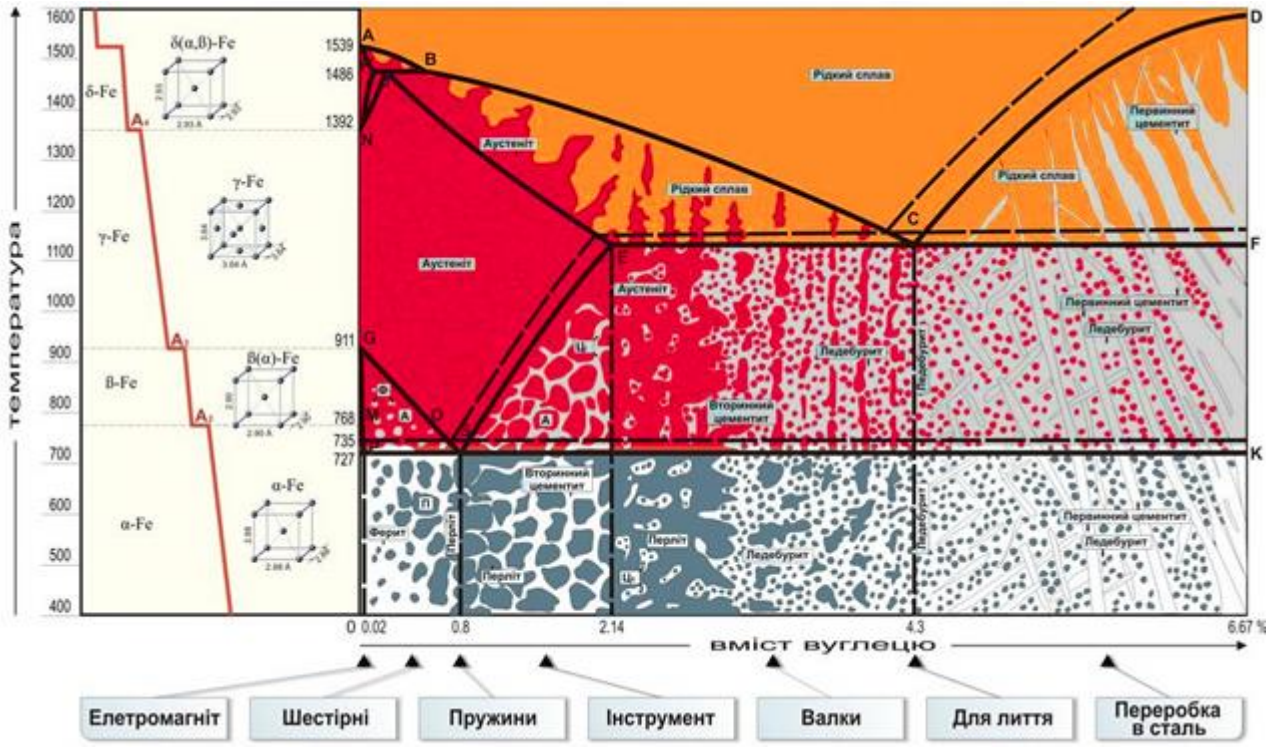


Рис.2.1. Діаграма стану «Залізо-Цементит»

На діаграмі перша зображена суцільними лініями, друга – штриховими. Оскільки цементит за певних умов розпадається з утворенням вільного вуглецю (графіту), то діаграму в системі Fe – Fe_3C називають нестабільною (метастабільною), а у системі Fe – C – стабільною. Всі лінії стабільної системи Fe – C розташовані на діаграмі вище ліній метастабільної Fe – Fe_3C, евтектичне та евтектоїдне перетворення відбувається за більш високих температур (відповідно 1153 і 738 °С). Точки С, Е, S зміщуються ліворуч (С ' = = 4,26 %; £ ' = 2,11 %; S ' = 0,70 %). Лінія Е', С', F' відповідає температурі утворення графітної евтектики (аустеніт + графіт), лінія Р', S', К' – утворенню евтектоїда (ферит + графіт), по лінії Е', S ' виділяється вторинний графіт.

Основними фазами залізовуглецевих сплавів є рідкі та тверді розчини вуглецю у залізі, цементит та графіт (рис. 2.1). У розплаві заліза при температурі 1147 °С розчиняється до 4,3 % вуглецю. У твердих розчинах заліза (ферит, аустеніт) розчинність вуглецю значно менша. Твердий розчин вуглецю на основі об'ємноцентрованої кубічної гратки (ОЦК) заліза називають феритом (Ф). Високотемпературний 5-ферит містить максимальну кількість вуглецю – 0,1 %. У низькотемпературному а-фериті максимальна розчинність вуглецю становить 0,025 % при 727 °С, а при зниженні температури зменшується практично до нуля. Ферит м'який (80... 100

НВ), пластичний, нижче 768 °С магнітний.

Твердий розчин втілення вуглецю на основі гранецентрованої кубічної гратки (ГЦК) у-заліза називають аустенітом (А). Розчинність вуглецю в у-залізі при зростанні температури підвищується і досягає максимуму (2,14 % С) при 1147 °С. Аустеніт пластичний, немагнітний, твердість його 170 НВ. Хімічна сполука, яка утворюється в залізовуглецевих сплавах, карбід заліза Fe_3C, має назву цементит (Ц). Це найбільш тверда (780 НВ) і крихка фаза в системі залізо – вуглець, нижче 217 °С магнітна. Цементит містить 6,68 % С, має складну орторомбічну кристалічну гратку з дванадцятьма атомами заліза і чотирма вуглецю, температура плавлення становить близько 1600 °С.

У сплавах з вмістом вуглецю більше 4,3 % може випадати одразу при охолодженні розплаву первинний цементит. Вторинний виділяється з аустеніту вздовж лінії ES діаграми, третинний – з фериту вздовж лінії PQ.

Евтектоїдна (механічна) суміш фериту та цементиту, яка утворюється при 727 °С і вмісті вуглецю 0,8 %, має назву перліт (П). Залежно від будови перліту змінюються і його властивості. Так, пластинчастий перліт більш твердий, крихкий та міцніший за зернистий (160...230 НВ; с в = 600...800 МПа; 5= 15...20%).

Евтектичну суміш аустеніту і цементиту (вище 727 °С) або перліту і цементиту (нижче 727 °С) називають ледебурит (J1). Він утворюється при вмісті вуглецю 4,3 % за температури 1147 °С, твердий (800 НВ) і крихкий. Це – структурна складова білих чавунів.

У промислових чавунах основною структурною складовою є графіт. Це одна з поліморфних модифікацій (різновидів) структурно вільного вуглецю з гексагональною кристалічною граткою. Твердість і міцність графіту низькі. У сірих чавунах він має вигляд пластин різної форми і розмірів, у ковкому – форму пластівців, у високоміцному – кулясту форму.

У вуглецевих сплавах заліза графіт є стабільною фазою, а цементит – лише відносно стабільною.

Лінії діаграми стану системи Fe – Fe C (див. рис. 2.1) показують (визначають), за яких температур в залізовуглецевих сплавах відбуваються перетворення. Лінія ABCD, що об’єднує точки початку кристалізації розплавів з різним вмістом вуглецю, називається лінією ліквідусу. Лінія A H IE C F що відповідає точкам закінчення кристалізації, називається лінією солідусу. GOS – лінія верхньої границі області рівноваги а- і у-фаз. При охолодженні по цій лінії

починається виділення а -фази (при нагрівання – у-фази). SE – лінія початку перетворення аустеніту з утворенням цементиту при охолодженні (критичні точки Агт), при нагріванні сплаву критичні точки Аст. PQ – лінія початку виділення цементиту (третинного) при охолодженні або розчинення третинного цементиту при нагріванні.

Однофазні області 8-фериту, а-фериту та аустеніту обмежені відповідно лініями AHN, GPQ і NIESG. Деякі лінії діаграми відображають такі температурні і концентраційні умови, за яких у рівновазі перебувають три фази. Так, лінія HIB при перитектичній температурі 1499 °С характеризується наявністю трьох фаз: 8-фериту, аустеніту і рідини (розплаву). Сплави по лінії ECF, що відповідає евтектичній температурі 1147 °С, складаються з рідини, аустеніту і цементиту. Сплави на лінії PSK, яка відповідає евтектоїдній температурі 727 °С, складаються з аустеніту, фериту і цементиту. При температурах 768 °С (лінія МО для сталі) і 210 °С (для чавуну) спостерігається магнітне перетворення відповідно фериту і цементиту.

Характерні точки на діаграмі відповідають певним температурам і концентраціям вуглецю (мас. %).

Точка А відповідає температурі плавлення (або твердннення) чистого заліза (1539 °С). Точка В вказує на вміст вуглецю (0,5 %) у рідкій фазі при перитектичній температурі (1499 °С). Точка Н відповідає граничній кількості вуглецю (0,1 %) у 5-фазі при перитектичній температурі. Точка / вказує на вміст вуглецю (0,16 %) в аустеніті, який перебуває в рівновазі з 8-фазою і рідиною при перитектичній температурі. Точка С вказує на вміст вуглецю (4,3 %) у рідкій фазі в стані рівноваги з аустенітом при евтектичній температурі (1147 °С). Точка Е відповідає 2,14 % С в аустеніті, що перебуває в рівновазі з цементитом при евтектичній температурі. Точка S відповідає 0,8 % С в аустеніті, який перебуває в рівновазі з перлітом (ферит + цементит) при евтектоїдній температурі (727 °С). Точка Р відповідає 0,02 % С – граничній кількості вуглецю, розчиненого у фериті, що перебуває у рівновазі з аустенітом і цементитом при евтектоїдній температурі.

2.2. Процеси виплавки чавуну

Залізо є найбільш розповсюдженим металом завдяки своїм фізичним, механічним та іншим властивостям і тому, що разом з вуглецем воно утворює такі сплави, як сталі та чавуни. В періодичній таблиці елементів Д.І.Менделєєва важко знайти іншу речовину, із

якою так тісно пов'язане життя людини. Відомо, що першими шматками заліза, із яких були виготовлені знаряддя праці нашими предками, було метеоритне залізо. Пройшло багато тисяч років, поки люди навчилися одержувати залізо з руди. Зараз не можна точно встановити, коли й ким вперше було одержано перший зливок з руди, але термін збереження знайдених уламків залізного серпа складає близько 3000 років.

Якщо залізо було головним металом практичної діяльності людини, то залізні руди були найбільш цінним багатством країни, за яке нерідко виникали кровопролитні війни. Недарма спис та щит – характерні атрибути бога війни Марса.

Ураховуючи технічні якості заліза, людина зробила його важливим матеріалом своєї діяльності, основою машинобудування, промисловості, економічного та технічного прогресу. Майже все, починаючи від швейної голки, цвяха, ножа і закінчуючи крокуючими екскаваторами, залізничними дорогами, трансатлантичними лайнерами, гігантськими домнами, у яких одержують чавун – не може існувати без заліза.

Самородне залізо, яке утворилося в Землі – це дуже велика рідкість. У вигляді маленьких вкраплень його знайдено в базальтах і в лавах вулканів. Метеоритне залізо складається приблизно з 90% Fe, 8,5% Ni, 0,5% Co, 1% (P, S, C, Cr, Cu). Від земного воно відрізняється тим, що кується тільки в холодному стані. Уперше це стало відомо в 1009 р. майстрам Хоросанського султана, які не змогли викувати з метеоритного заліза шаблю. У нагрітому стані воно не кувалось, а розпадалось на маленькі шматочки.

На поверхневих шарах Землі залізо знаходиться всюди. Воно є в усіх гірських породах, пісках, глинах здебільшого у вигляді оксидних сполук: Fe_3O_4 – магнітний залізняк (магнетит); Fe_2O_3 x nH_2O – бурий залізняк (лимоніт); $FeCO_3$ – залізний шпат (сидерит); FeS_2 – залізний колчедан (пірит); FeS – магнітний колчедан (піротин); Fe (SAs) – миш'яковий колчедан (арсенопірит); $FeTiO_3$ – титанат заліза (ільменіт).

У хімічно чистому вигляді залізо – це сріблясто-сірий блискучий і пластичний метал, зовнішні схожий на платину. Чисте залізо стійке до корозії. Присутність у його складі мізерної кількості домішок лишає залізо цих цінних властивостей. У світі щорічно втрачається від корозії майже четверта частина всього виробленого заліза.

Назва заліза пішла від санскритського слова ghalgha, що означало «метал, руда». Наукова назва – від латинського слова «ферум» – залізо. Густина заліза при 20 °С ρ = 7870 кг/м3; Тпл. = 1539 °С (ρ = 6900 кг/м3); Ткип. = 3000 °С.

Спочатку залізо одержували у горнах. У XIV столітті ливарне залізо почали одержувати з використанням продувки розплаву повітрям і переведенням його в ковкий стан за допомогою очищення. У другій половині XIX століття "фрішевання" (продування) та регенеративне спалювання суттєво покращилися і було розроблено процеси Бесемера (1855 р.) та Сіменса-Мартена (1865 р.).

Процес одержання чистого заліза відбувається за рахунок відновлення оксидів або термічного розкладання пентакарбонілу заліза:

$$Fe_2O_3 + 3H_2 = 2Fe + 3H_2O;$$
$$Fe_2O_3 + 3CO = 2Fe + 3CO_2\uparrow;$$
$$3Fe_2O_3 + CO = 2Fe_3O_4 + CO_2\uparrow;$$
$$Fe_3O_4 + 4CO = 3Fe + 4CO_2\uparrow;$$
$$Fe(CO)_5 = Fe + 5CO.$$

2.2.1. Доменний процес

Основними сплавами заліза з вуглецем є сталь та чавун. Сталь – це залізний сплав зі вмістом вуглецю до 2%, а чавун – більше 2%. Чавуни, які виплавляють у доменних печах, є багатокомпонентними сплавами на основі заліза, які вміщують, крім вуглецю, різну кількість кремнію, марганцю, сірки, фосфору та інших елементів. Наприклад, хімічний склад ливарного чавуну, який виробляють на комбінаті "Азовсталь", має такий склад: (3,86-4,06)% C, (2,73-2,91)% Si, (0,380,67)% Mn, (0,21-0,43)% P, (0,020-0,023)% S, (0,021-0,031)% Ti, (0,0190,024)% Ni, (0,017-0,025)% V, (0,021-0,022)% Cu, (0,003-0,010)% As, (0,096-0,142)% домішки. Утворення чавуну в доменній печі починається при порівняно низьких температурах у результаті розчинення вуглецю у відновленому залізі. При низьких температурах залізо знаходиться в твердому стані, і взаємодія його з активним вуглецем, який утворюється з газової фази, та коксом відбувається дуже повільно через малий контакт між реагентами. Виробництво чавуну потребує знання властивостей сировини, підготовки її до плавки, закономірностей процесу, технології та організації доменного виробництва. У зв'язку з цим металургію чавуну поділяють на чотири розділи: 1 – теорія і технологія підготовки сировини для доменної

плавки; 2 – теорія доменного процесу; 3 – конструкції доменних печей і цехів; 4 – технологія доменної плавки. Доменна піч відома з XV ст., а перше наукове пояснення процесу було зроблено тільки біля 100 років тому. Загальний вигляд доменної печі та зон, у яких відбуваються фізико-хімічні процеси відновлення та одержання чавуну, наведено на рис. 2.2.

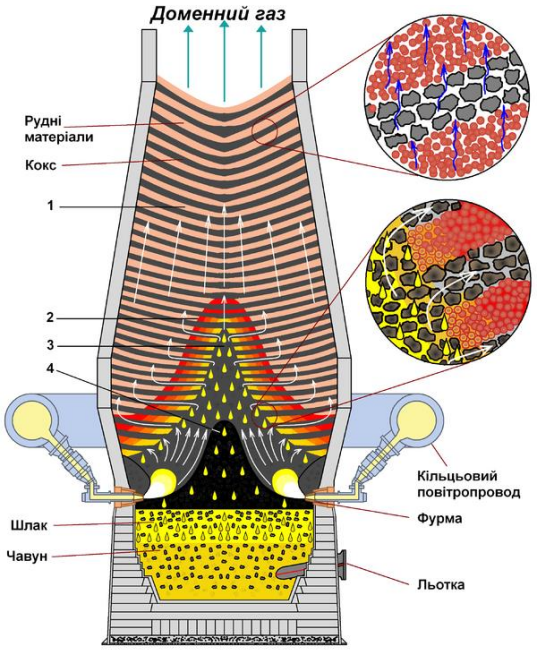
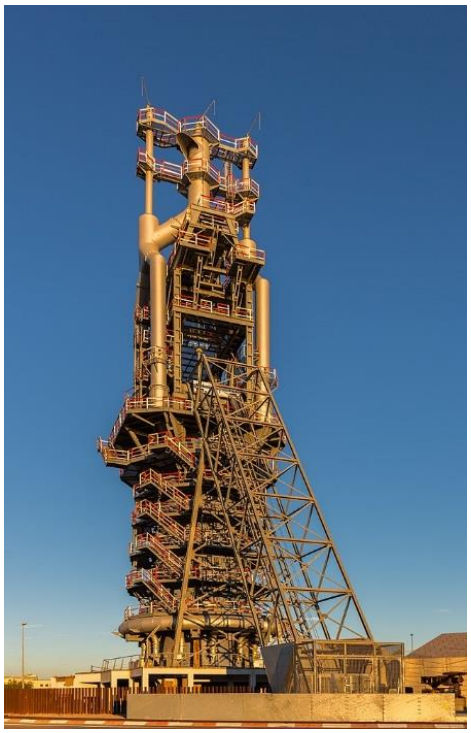


Рис. 2.2 Загальний вигляд доменної печі

(1. Зона твердих коксу і руди; 2. Зона розм'якшення і плавління («злипання», або «когезії»); 3. Зона розпушеного коксу; 4. Зона щільно запакованого коксу; Фурмена зона (зона циркуляції))



Доменна піч № 2.2 колишнього металургійного заводу у Сагунт (Іспанія). Вигляд з боку нахиленого мосту

Доменний процес одержання чавуну відбувається на рис. 2.3. Руду, концентрат (продукт збагаченої руди) та флюс направляють на фабрику окусковування, де з них виготовляють агломерат або окатки. Відсіяний агломерат направляють в доменний цех. Одночасно туди подають кокс та допоміжний флюс. Агломерат, флюс і відсіяний від пилу кокс завантажують в домену піч. Повітря для продувки підігрівають до температури 1100-1350 °С і подають у піч. Одночасно з продувкою можна також подавати технологічний кисень, який одержують із повітря на спеціальних установках. Із метою зниження витрат коксу в піч можуть вводитися інше паливо та відновники: природний газ, мазут та інші паливо і відновники.

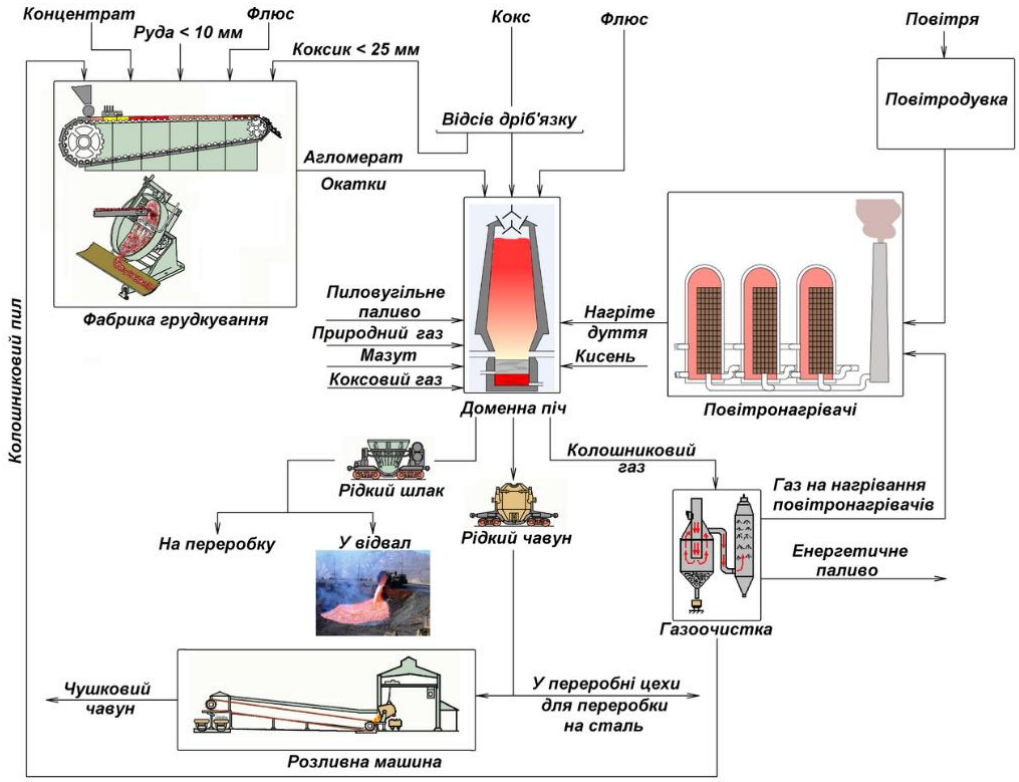


Рис. 2.3 Схема доменного виробництва

Основним флюсом для доменної плавки є вапняк ($CaCO_3$), який після розкладання в печі переходить в оксид кальцію. Необхідність застосування флюсу пов’язана з тим, що після відновлення оксидів заліза в печі залишається тугоплавка пуста порода. Додавання флюсу значно знижує температуру плавлення породи й інтенсифікує процес шлакоутворення.

У процесі доменної плавки одержують рідкий чавун, шлак та колошниковий газ. У доменних печах виплавляють три типи чавунів: переробний чавун, із якого виготовляють сталь; ливарний чавун, що використовують для виробництва литих виробів; феросплави, які використовують у сталеплавильних цехах.

Колошниковий газ, який виходить із домни, містить близько 20% оксиду вуглецю (CO), 5-6% водню, близько 0,5% метану і має теплотворну здатність біля 900 ккал/м^3. Його використовують здебільшого для підігрівання повітря, що подається через фурми в піч. Перед продувкою газ очищають від пилу. До складу доменних шлаків входять головним чином CaO, SiO_2, Al_2O_3, MgO. Ці шлаки часто використовують для виробництва цементу (шлакового цементу), бетону та штучного каміння. Іноді шлаки містять цінні домішки, які надходять в них з руди. Наприклад, шлаки від переробки керченських руд є хорошою сировиною для одержання ванадію. Повітря, що

містить підвищену концентрацію кисню, перед продуванням домни можна не підігрівати. У зв'язку з цим рекуператори (пристрої для підігрівання повітря) можна не використовувати. Поряд з цим кисневе продування значно підвищує продуктивність домни та покращує якість побічних продуктів виробництва – газів та шлаку. Зокрема, доменний газ, окрім значного збільшення його калорійності (за рахунок газифікації коксу), стає придатним для різних каталітичних синтезів. Таким чином, сама домна перетворюється в комплексний агрегат, який одночасно виробляє напівпродукти для металургійної (чавун), хімічної (газ) і будівельної промисловості (шлак).

Для виплавки чистого заліза використовують іноді електричні доменні печі. У таких печах шихту нагрівають до заданих температур за допомогою електричного струму, що подається до електродів. Повітря в ці печі зовсім не вводять, а вугілля завантажують лише в кількості, яка необхідна для відновлення руди. При цьому частину газів, які утворюються в процесі відновлення, повертають назад у домну, щоб зберігати її тепло.

В умовах доменної плавки при 570°С і надлишку CO та H_2 відбувається відновлення оксидів заліза:

$$3Fe_2O_3 + CO(H_2) = 2Fe_3O_4 + CO_2(H_2O);$$

$$Fe_3O_4 + nCO(kH_2) = 3FeO + CO_2(H_2O) + (n-1)CO((k-1)H_2);$$

$$FeO + CO(H_2) = Fe + CO_2(H_2O);$$

при цьому частина FeO відновлюється твердим вуглецем:

$$FeO + C = Fe + CO.$$

Разом із залізом відновлюються оксиди марганцю, кремнію, фосфору та інших елементів. За термодинамічною стійкістю до відновлення монооксидом вуглецю та воднем оксиди поділяють на чотири групи:

1) легковідновлювальні CO та H_2: MnO_2, Mn_2O_3, Fe_2O_3, Cu_2O, NiO, CoO;

2) оксиди, термодинамічна стійкість яких наближається до Fe_3O_4 та FeO: $V2O_3$, Mn_3O_4, P_2O_5, SnO;

3) оксиди, стійкість яких більша, ніж FeO: Cr_2O_3, SiO_2, TiO_2, MnO;

4) оксиди, спорідненість металів яких до кисню більша, ніж вуглецю при температурі доменного процесу: Al_2O_3, MgO, CaO, і вони майже повністю переходять в шлак.

Реакції відновлення протікають у доменній печі за різних температур. Так, за температур, що менші, ніж 1100°С, відновлюються вищі оксиди мангану за реакціями:

$3MnO_2 + 2CO = Mn_3O_4 + 2CO_2\uparrow$; $3Mn_2O_3 + CO = 2Mn_3O_4 + CO_2\uparrow$; $Mn_3O_4 + CO = 3MnO + CO_2\uparrow$.

Надалі відновлення оксидів відбувається лише вуглецем при температурах понад 1100°С:

$$2MnO + C = 2Mn + CO_2\uparrow.$$

Значна кількість відновленого марганцю переходить у шлак. Інші елементи відновлюються за такими реакціями:

$$NiO + CO = Ni + CO_2\uparrow;$$
$$Cu_2O + CO = 2Cu + CO_2\uparrow;$$
$$ZnO + CO = Zn + CO_2\uparrow;$$
$$2As_2O_3 + 3C = 4As + 3CO_2\uparrow;$$
$$Ca_3(PO_4)2 + 5C = 3CaO + 2P + 5CO\uparrow;$$
$$Fe_3(PO_4)_2 + 8C = 3Fe + 2P + 8CO\uparrow;$$
$$2P_2O_5 + 5C = 4P + 5CO_2\uparrow;$$
$$V_2O_3 + 3C = 2V + 3CO\uparrow;$$
$$TiO_2 + C = Ti + CO_2\uparrow.$$

Зі шлакової фази відновлюється кремній:

$$SiO_2 + C = SiO + CO\uparrow;$$
$$SiO + C = Si + CO\uparrow.$$

Для інтенсифікації процесу плавки і більш економної витрати палива повітря, що вдувається, попередньо нагрівають до 1000...1200ºС у повітронагрівачах (кауперах).

2.2.2 Технологія плавки чавуну у вагранках

Вагранки для одержання чавуну почали використовувати з другої половини XVIII-го століття. Спочатку для плавки застосовували тільки доменний чавун, що обмежувало технологічні можливості вагранок і гальмувало розвиток ливарного виробництва. За типом палива, яке використовується при одержанні чавуну, вагранки поділяють на коксові, коксогазові та газові.

Вагранка – це шахтна піч безперервної дії, у якій шихта рухається назустріч потоку гарячих газів. Зверху в колошникове вікно завантажують шихту, що складається з металічних, паливних і флюсових матеріалів, які подають по черзі. Через фурму знизу подають повітря для горіння палива. При цьому плавлення шихти відбувається вище фурм у плавильному поясі, а нижче розміщується шар палива, який називають холостою калошею. Чавун краплями стікає в спеціально виконаний горн (копильник), звідки випускається

через льотку по жолобу в ківш. Схему коксової вагранки наведено на рис. 2.4.

Вагранки класифікують за футерівкою (кислі, основні), за теплотехнічними особливостями (без підігріву і з підігрівом дуття), за ступенем очищення газів (відкриті, напівзакриті та закриті). У відкритих вагранках проводиться тільки грубе очищення газів від великих частинок пилу. У напівзакритих агрегатах очищається тільки частина газів, а в закритих усі гази, що використовують для дуття. Вагранки з підігрівом газів до температури 350-500°С і повним їх очищенням рекомендують для застосування в ливарних цехах індивідуального виробництва.

Сучасна вагранка складається з плавильного агрегату, вагових та загрузочних пристроїв для подачі визначеної маси шихтових матеріалів.

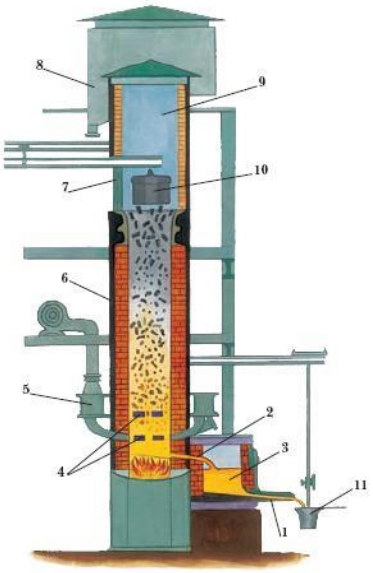


Рис. 2.4 Схема коксової вагранки:

1 – жолуб для випуску чавуну із накопичувача; 2 – лётка; 3 – накопичувач; 4 – фурма для продування; 5 – повітряний колектор; 6 – шахта; 7 – завантажувальне вікно; 8 – іскоровпіймач; 9 – труба; 10 – завантажувальна посудина; 11 – розливний ковш

Вагранка забезпечена обладнанням для очищення відхідних газів і пилу; подачі та підігрівання дуття; зливання рідкого металу й видалення шлаку, а також системами автоматичного управління і контролю за процесом плавки.

Система підведення у вагранку повітря (повітропровід, фурмений пояс і фурми) забезпечує зону горіння необхідною кількістю кисню, який рівномірно розподіляють по її периметру. Для цього використовують різні за конструкцією фурми (круглі, квадратні,

прямокутні, еліптичні, щілинні), які розміщують в один або декілька рядів під різним (10-15 градусів) кутом нахилу до горизонту.

Коксогазові вагранки. Часткова заміна у вагранках коксу природним газом дозволяє знизити вміст сірки та регулювати концентрацію вуглецю в металі, одержувати необхідний чавун при економних витратах палива. Коксогазові вагранки додатково обладнують двохпровідними газовими нагрівачами. Повітря може надходити у вагранку від однієї або від двох повітродувок. Газові нагрівачі розміщують на відстані 600900 мм від фурм залежно від діаметру шахти й висоти холостої калоші у вагранці.

2.2.3 Процес одержання чавуну в індукційних печах

В індукційних печах метал нагрівають струмом, який виникає в ньому за допомогою магнітного поля індуктора. Існуючі типи індукційних печей відрізняються:

конструктивно – тигельні або канальні (рис. 2.5 та 2.6);

за частотою електричного струму – промислової (50 Гц), підвищеної (150-450 Гц), середньої (до 10000 Гц) та високої (понад 10000 Гц) частоти.

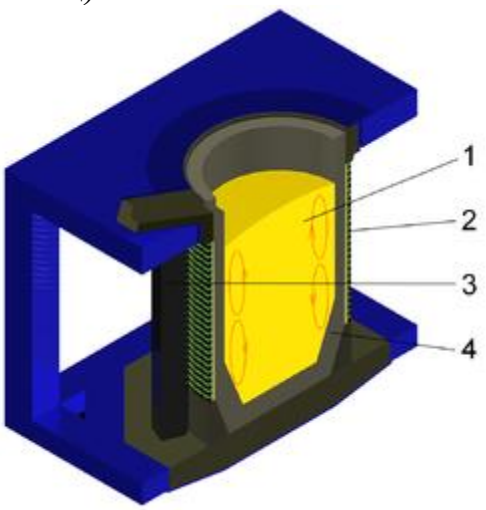


Рис. 2.5 Індукційна тигельна піч у розрізі:

1 – Розплав. 2 – Соленоїд з водоохолоджуваної трубки. 3 – Стяжки. 4 – Тигель



Рис. 2.6 Індукційна піч для плавлення вакуумної сталі

Основними елементами індукційної тигельної установки є піч із механізмом нахилу, електрообладнання (генератор підвищеної частоти або трансформатор, батарея конденсаторів, щит управління).

До конструкції печі входять корпус (каркас), індуктор та вогнетривкий тигель, який у великих печах закривається.

Виробляють печі промислової частоти потужністю 400-20000 кВт, об'єм рідкого металу в них складає від 1,0 до 60 т (марки ІЧТ-1, ІЧТ-60). Тигельні печі середньої частоти мають потужність 800 – 2400 кВт, ємністю від 1 до 6 т (ІСТ-1, ІСТ-6). Канальні індукційні печі для чавуну (міксери) випускаються тільки промислової частоти ємністю 10 – 60 т (марки ІЧКМ-10, ІЧКМ-60).

В індукційних печах щільність струму досягає максимуму на поверхні металу біля стінок тигля та знижується у напрямку до центру. У поверхневому шарі виділяється найбільша кількість теплоти. Між глибиною проникнення струму в ванну або шихтовий матеріал і частотою струму існує така залежність:

$\delta = 5{,}03\ \rho/(\mu \cdot f)$,

де ρ – питомий опір шихти, Ом·м;

μ – магнітна проникність шихти, Гн·М;

f – частота струму, Гц.

Видно, що, чим вища частота, тим менша глибина проникнення струму і більш нерівномірний прогрів шихти, що негативно впливає на стійкість футерівки і швидкість розплавлення металу. Недоліком індукційних печей є низька активність шлаку, оскільки він нагрівається тільки металом, який плавлять.

2.2.4 Фазові та структурні перетворення залізовуглецевих сплавів в чавун у зв'язку з діаграмою стану

Розглянемо закономірності фазових перетворень і формування структури чистого заліза, технічного заліза, сталей та чавунів за умов повільного охолодження (нагріву), користуючись діаграмою стану Fe – Fe_3C.

Чисте залізо. При охолодженні розплаву чистого заліза перша температурна зупинка на графіку охолодження спостерігається при температурі 1539 °С, коли залізо з рідкого стану переходить у твердий. В результаті кристалізації утворюється 5-залізо з кристалічною граткою об'ємноцентрованого куба (ОЦК) з параметром а = 2,93 А. При температурі 1400 °С ця форма заліза переходить в у-залізо і змінює кристалічну гратку на кубічну гранецентровану (ГЦК) з параметром а = 3,64 А. При подальшому зниженні температури до 911 °С у-залізо переходить у р-залізо з об'ємноцентрованою кубічною граткою і параметром а = 2,90 А. Подальше охолодження до 768 °С призводить до перетворення немагнітного р-заліза у магнітне а-залізо з ОЦК-граткою і параметром а = 2,86 А.

Наявність кількох алотропічних модифікацій заліза залежно від температури позначується на процесах формування структури і властивостей залізовуглецевих сплавів.

Технічне залізо. При охолодженні розплаву технічно чистого заліза (містить 0,02 % С) кристалізація сплаву починається при деякому переохолодженні відносно лінії АВ з утворенням кристалів δ-фериту. Вони мають форму дендритів. Вміст вуглецю в δ -фериті зростає відповідно лінії АН, а в рідкій фазі – відповідно лінії АВ. При деякому переохолодженні відносно лінії АН кристалізація закінчується. Структура складається з рівновісних зерен δ-фериту.

Подальше охолодження сплаву 1 призводить до поліморфного перетворення δ→γ, яке починається і закінчується при деякому переохолодженні відносно точок 4 і 5, розташованих на лініях HN і IN. Перетворення супроводжується перерозподілом вуглецю між феритом і аустенітом. При повільному охолодженні склад фаз змінюється відповідно нахилу вказаних ліній. По закінченні перетворення нижче точки 5 структура сплаву складається з рівновісних зерен аустеніту.

При температурах нижче точки 6 структура аустеніту знову стає нестабільною і починається поліморфне перетворення γ→α, яке відбувається в інтервалі температур (точки 6...7) і також супроводжується перерозподілом вуглецю між фазами. Нижче точки /структура сплаву складається з зерен фериту. В інтервалі точок 7...8 твердий розчин (ферит) є ненасиченим вуглецем, а нижче точки 8 він стає пересиченим і починає виділятись цементит (Fe_3C – надлишкова фаза). Цементит виділяється переважно по границях зерен, що негативно впливає на властивості технічного заліза. Тому на практиці намагаються гальмувати утворення такого (третинного) цементиту. Кінцева структура сплаву після повного охолодження складається з фериту та третинного цементиту.

2.2.5 Формування структури білих чавунів.

У білих чавунах весь надлишковий вуглець перебуває у зв'язаному стані, тобто у вигляді цементиту – Fe_3C. Структура чавуну формується за умов не дуже повільного охолодження розплаву у відповідності з метастабільною діаграмою системи залізо – цементит.

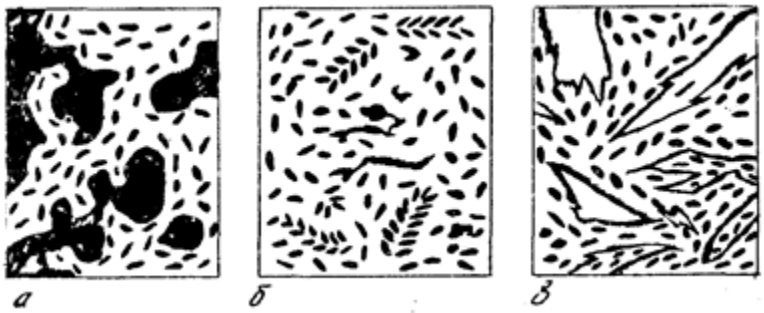


Рис. 2.7 Схеми структурних змін під час кристалізації чавунів з різним вмістом вуглецю
(а - доевтектичний, б - евтектичний, в - заевтектичний)

Розглянемо формування структури доевтектичного чавуну. Його кристалізація (рис. 2.7, сплав а) відбувається в два етапи. В інтерваті температур точок 1...2 кристалізується аустеніт. При цьому склад рідкої фази змінюється відповідно нахилу лінії ВС діаграми, тобто розплав збагачується вуглецем. При евтектичній температурі концентрація рідкої фази буде відповідати точці С, тобто буде евтектичною. Евтектичний розплав, при деякому переохолодженні відносно евтектичної температури (1147 °С), кристалізується в евтектику, яка складається з суміші аустеніту і цементиту (ледебурит). Провідною фазою під час евтектичної кристалізації є цементит, пластини якого пересікаються гілками аустеніту. По закінченні кристалізації структура чавуну складається з аустеніту та ледебуриту.

При подальшому охолодженні в інтервалі температур точок 2...J аустеніт збіднюється вуглецем відповідно до лінії ES діаграми. З нього виділяється вторинний цементит, який може нашаровуватись на цементит ледебуриту, утворювати приграничну сітку або від-манштетові пластини. Здебільшого вторинний цементит у чавуні не є самостійною структурною складовою. При переохолодженні відносно евтектоїдної лінії діаграм аустеніт складу точки S перетворюється на евтектоїд – перліт. Таким чином структура доевтек- тичного білого чавуну буде складатись з перліту і ледебуриту. Оскільки у ледебуриті аустеніт також перетворився на перліт, такий ледебурит інколи називають *видозміненим*.

Користуючись діаграмою, неважко визначити, що структура евтектичного чавуну (рис. 2.7, сплав б) після повного охолодження являє собою ледебурит (видозмінений), а заевтектичного (сплав III) складається з первинного цементиту і ледебуриту.

2.2.6 Промислові чавуни

За хімічним складом чавуни відрізняються від сталі високим вмістом вуглецю (більше 2,14 %) і постійних домішок (S, P, Si, Мп). Порівняно зі сталями чавуни мають нижчі механічні властивості, але значно кращі технологічні (ливарні, оброблюваність різанням, антифрикційні властивості, зносостійкість). Це зумовлює широке використання чавуну для виготовлення багатьох деталей у різних галузях машинобудування.

Залежно від хімічного складу та умов кристалізації вуглець у чавуні може бути у хімічно зв'язаному стані у вигляді цементиту Fe_3C, або у вільному стані у вигляді графіту. Відповідно до цього розрізняють білі чавуни (вуглець у вигляді цементиту) і як складову – перліт; сірі чавуни (вуглець у вигляді графіту пластинчастої або пелюсткової форми), а також високоміцні (графіт кулястої форми) та ковкі (графіт пластинчастої форми).

Структурний стан білих чавунів залежить від вмісту вуглецю і відповідає діаграмі рівноважного стану Fe – Fe_3C. За структурою їх поділяють на доевтектичні (2,14...4,3 % С), евтектичні (4,3 % С) і заевтектичні (4,3...6,7 % С). Структуру доевтектичних білих чавунів складають перліт, ледебурит і вторинний цементит. Металографічно перліт спостерігається у вигляді темних зерен, цементит – світлих смуг, а ледебурит – у вигляді ділянок з темними вкрапленнями (суміш дрібних округлих темних зерен перліту, рівномірно розподілених у білій основі цементиту).

Одержанню таких структур сприяє підвищений вміст у чавуні марганцю, зменшений вміст кремнію і зростання швидкості охолодження під час твердіння. Наявність у структурі білого чавуну твердих цементиту і ледебуриту зумовлює їхню високу твердість і крихкість та дуже ускладнює обробку різанням. Тому використання білих чавунів у машинобудуванні обмежене. Використовують їх для виготовлення шроту і зірочок для очистки литва, куль дробильних агрегатів. В основному ж білі чавуни переробляють на сталь або шляхом спеціальної термічної обробки (графітизуюче відпалювання) – на ковкий чавун.

Структура сірих, ковких і високоміцних чавунів складається з металевої основи, що пронизана графітовими вкрапленнями. Металева основа таких чавунів може бути перлітною, феритною і ферито-перлітною. Вона зумовлює характеристики твердості, міцності, зносостійкості. Такі ж характеристики, як пластичність, опір руйнуванню при розтягуванні, опір спрацюванню, залежать головним чином від форми, розмірів і характеру розподілу графітових вкраплень.

Розрізняють три основні форми графітових вкраплень (фаз): пластинчасту, пластівчасту та кулясту.

Сірі чавуни. Їм притаманна пластинчаста форма графіту, який можна розглядати як тріщину чи надріз, що створює концентрацію напружень у металевій матриці та різко знижує характеристики міцності чавуну. Сірий чавун – найдешевший конструкційний матеріал. У виробництво надходить у вигляді виливків, має високі ливарні властивості, добре оброблюється різанням, чинить опір зношуванню, здатен розсіювати коливання при вібраційних і змінних навантаженнях (у 2... 4 рази вище за сталь).

Сірі чавуни одержують при введенні до розплаву чавуну речовин (графітизаторів), що сприяють розпаду цементиту і виділенню вуглецю у вигляді графіту. Графіти затором сірого чавуну є кремній. При введенні приблизно 5 % кремнію цементит сірого чавуну майже повністю розпадається, утворюючи структуру з пластичної феритної основи і вкраплень пластинчастого графіту. При зменшенні кількості кремнію цементит перліту розпадається частково, утворюючи ферито-перлітну структуру основи чавуну. Подальше зменшення вмісту кремнію призводить до формування структури сірого чавуну на перлітній основі. Найміцнішими є сірі чавуни на перлітній основі, а найбільш пластичними – на феритній. Промисловість випускає такі марки сірих чавунів: СЧ10, СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧЗО, СЧ35, СЧ40, СЧ45. При маркуванні сірих чавунів літери СЧ означають – чавун сірий, а цифри – мінімальне значення порогу міцності при розтягуванні (ов, кгс/мм^2).

Залежно від рівня фізико-механічних характеристик сірі чавуни умовно можна поділити на чавуни малої та підвищеної міцності і чавуни зі спеціальними властивостями.

Сірі чавуни малої міцності мають феритну або ферито-перлітну структуру з пластинчастим графітом і відповідають маркам від СЧ10

до СЧЗО. Наприклад, при розтягуванні міцність чавуну СЧ25 оц= 250 МПа, твердість 180...250 НВ.

Сірий чавун підвищеної міцності відповідає маркам від СЧ35 до СЧ45, має перлітну металеву основу і більш тонку розгалужену пелюсткову форму графіту.

Міцність таких чавунів ов = = 350...450 МПа, твердість 200...289 НВ. Міцність цих чавунів забезпечують легуванням і модифікуванням. Легування здійснюють присадкою невеликої кількості нікелю і хрому, молібдену з титаном або міддю. При цьому одержують дрібнозернисту структуру і більш тонку форму графіту. Модифікування здійснюють добавками (0,1...0,3 % від маси чавуну) феросиліцію, сілікоалюмінію, сілікокальцію та іншими. їх додають безпосередньо у ківш під час його заповнення розплавом. Структура такого чавуну не містить ледебуритного цементиту, чавун твердне з відбілюванням (білий або половинчастий), хімічний склад чавуну лишається практично незмінним. Модифікований рідкий чавун необхідно одразу розливати у ливарні форми, оскільки ефект модифікування зникає вже через 10... 15 хв.

У машинобудуванні з сірих чавунів СЧ10, СЧ15 виготовляють деталі для низьких і середніх статичних навантажень (станини верстатів, кришки люків, подушки опор тощо); з чавунів СЧ20, СЧ25 – для підвищених навантажень динамічної дії (картери двигунів, блоки циліндрів, поршні, станини); СЧЗО, СЧ35, СЧ40 – для високих навантажень і зношування (розподільні вали, зубчасті колеса, гільзи блоків циліндрів, гальмівні колодки).

Ковкі чавуни. Це умовна назва більш пластичного, порівняно з сірим, чавуну. Його ніколи не кують. Одержують його шляхом тривалого високотемпературного відпалювання виливків білого чавуну з перлітно-цементитною структурою. Під час такого графітизуючого відпалювання цементит білого чавуну розпадається, утворюючи графіт пластівчастої форми. Залежно від структури металевої основи розрізняють ковкі феритний і перлітний чавуни.

Феритні ковкі чавуни одержують з білих, які мають у своєму складі 2,4...2,8 % С; 0,8... 1,4 % Si; 0,3...0,4 % Мп; 0,08... 0,1 % S; <0,2 % Р.

Перлітні ковкі чавуни виготовляють з білих, які містять 2,8... 3,4 % С; 0,5...0,8 % Si; 0,4...0,5 % Мп; 0,12 % S ; 0,2 % Р.

Залежно від показників міцності при розтягуванні (оц) і відносного видовження ковкі чавуни розрізняють за марками: КЧ30-6, КЧЗЗ-8,

КЧ35-10, КЧ37-12 – це феритні чавуни; КЧ45-6, КЧ50-4, КЧ56-4, КЧ60-3, КЧ63-2 - перлітні.

З ковких чавунів виготовляють високоміцні деталі для змінних і ударних навантажень, підвищеного спрацювання, наприклад, шестерні, шатуни, картер заднього мосту, гальмівні колодки, ступиці, гачкові ланцюги, пальці різальних апаратів тощо. Антикорозійні властивості ковких чавунів досить високі при експлуатації в середовищі вологого повітря, води, топочних газів. Вони широко застосовуються у сільськогосподарському, автомобільному, текстильному машинобудуванні.

Високоміцні чавуни – це різновид сірого чавуну з феритною або перлітною структурою, модифікованого магнієм або комплексними модифікаторами (магній з добавками силіцію та інші). В результаті модифікування одержують графіт кулястої форми і невеликих розмірів. Такі чавуни мають підвищену міцність і порівняно з сірими чавунами здатні чинити опір крихкому руйнуванню. Вони мають феритну або перлітну структуру металевої основи.

Залежно від порогу міцності (6_B) і відносного видовження (δ) високоміцні чавуни поділяють на такі марки: ВЧ38-17, ВЧ42-12, ВЧ45-5, ВЧ50-2, ВЧ60-2, ВЧ70-3, ВЧ80-3, ВЧ100-4, ВЧ120-4.

Діапазони зміни властивостей цих марок такі: 6_B = 380... 1200 МПа, δ = 2...7 %, твердість 140...369 НВ.

Високі механічні властивості цих чавунів дозволяють використовувати їх для виготовлення деталей машин, що працюють за умов значних навантажень, замість поковок і виливків із сталей. З високоміцного чавуну виготовляють деталі ковальсько-пресового обладнання, прокатних станів, парових турбін, тракторів, автомобілів (колінчасті вали, поршні тощо).

Чавуни зі спеціальними властивостями. Використовують їх у випадку, коли виливок, окрім міцності, має забезпечити певний рівень специфічних властивостей, наприклад хімічну або корозійну стійкість, зносостійкість, жаростійкість тощо. Так, аустенітний чавун має високі показники хімічної стійкості у кислотах і лугах, а також жароміцності. Приклади таких чавунів – нірезит (містить додатково 14 % Ni, 2 % Сг, 7 % Cu), нікросилал (містить 5 % Si, 18% Ni, 2% Cr та інші). Жаростійкий чавун-чугаль містить 20...25% алюмінію.

Магнітний чавун (феритний з кулястим графітом) використовують для виготовлення корпусів електричних машин, щитів, рам тощо. Немагнітні чавуни – нікель-марганцевий (містить 7... 10% Mn, 7...9%

Ni) або марганцево-мідний (містить 9,8 % Mn і 1,2...2,0 % Cu) – використовують для виготовлення кожухів і бандажів електричних машин.

До чавунів із спеціальними властивостями відносять також феросплави, такі, як феромарганець, феросиліцій, ферохром, що застосовують для розкислення і легування сталі у металургійних і ливарних процесах.

2.3. Промисловий процес виплавки сталі

2.3.1 Фазові та структурні перетворення залізовуглецевих сплавів в сталь у зв'язку з діаграмою стану

Формування структури сталей. Залежно від вмісту вуглецю сталі поділяють у відповідності з діаграмою стану на доевтектоїдні (від 0,025 до 0,8 % С), евтектоїдні (0,8 % С) і заевтектоїдні (більше 0,8 % і до 2,14 % С). Відповідно кристалізація сталей може проходити в один, два або три етапи. Кристалізація сталей з вмістом вуглецю, що відповідає сплавам а, II, б (див. рис. 2.15), починається з утворення δ-фериту. Під час охолодження склад цих кристалів змінюється відповідно нахилу лінії ЛН, а склад рідини – відповідно лінії АВ. При температурі лінії НІВ рідина (розплав) для всіх випадків приймає концентрацію вуглецю біля точки В, а кристали – біля точки Н.

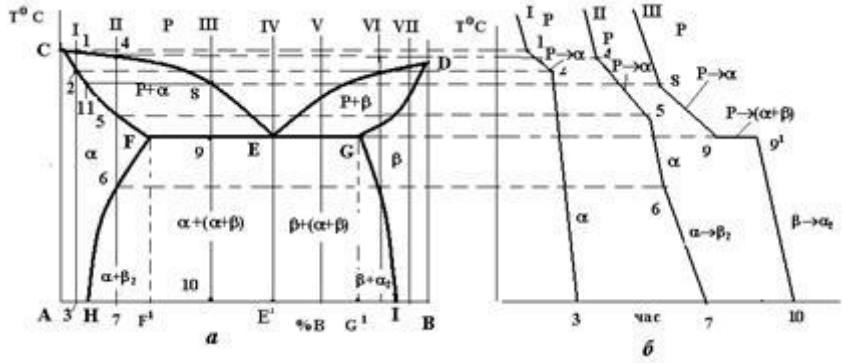


Рис. 2.15 Діаграма стану (а) і криві охолодження (б) системи з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стан і евтектичним перетворенням

За умови незначного переохолодження відносно лінії НІВ починається перитектична кристалізація, внаслідок якої за рахунок взаємодії кристалів δ-фериту та рідини утворюються кристали аустеніту. Перитектична кристалізація відбувається при постійній температурі. Залежно від складу сталі вона може завершитись повним зникненням фаз, які існували раніше (сплав II), або зберегти надлишок δ-фериту (сплав а) чи рідини (сплав б). В останньому випадку відбувається третій етап кристалізації, під час якого в температурному

інтервалі між лініями HIB їді IE кристалізується аустеніт. У сплавах III і IV кристалізація відбувається у температурному інтервалі між лініями BC і IE. Кристали аустеніту ростуть у формі дендритів. У зв'язку з підвищеною рухливістю атомів вуглецю дендритна ліквація майже не спостерігається.

Подальше формування структури залежить від складу сталі. В евтектоїдній сталі (сплав III) аустеніт залишається стабільним при охолодженні до точки S. При охолодженні відносно цієї точки при постійній температурі відбувається евтектоїдне перетворення. В результаті утворюється структура, що складається з суміші зерен (пластин) α-фериту і цементиту. Таку евтектоїдну суміш називають *перлітом*.

При охолодженні доевтектоїдної статі (сплав II) нижче лінії GS аустеніт втрачає стабільність і починається поліморфне перетворення його у ферит. Кристали фериту утворюються переважно на стиках зерен аустеніту і ростуть здебільшого у вигляді рівновісних зерен. Перетворення супроводжується зміною складу аустеніту відповідно лінії GS. При евтектоїдній температурі 727 °C аустеніт завжди набуває евтектоїдної концентрації. При деякому переохолодженні відбувається евтектоїдне перетворення.

Таким чином, структура доевтектоїдної сталі буде складатись з фериту та перліту. Відносну кількість фериту і перліту у структурі доевтектоїдної сталі, а також аустеніту та фериту при евтектоїдній температурі можна визначити, користуючись правилом відрізків. Також можна вирішити зворотню задачу – орієнтовно визначити вміст вуглецю в статі залежно від співвідношення в структурі фериту і перліту (за умови повільного охолодження).

У заевтектоїдній сталі (сплав IV) нижче лінії ES аустеніт стає пересиченим щодо вуглецю. Надлишковий вуглець виділяється з аустеніту у вигляді вторинного цементиту по границях аустенітних зерен. Під час охолодження в інтервалі температур перетворення аустеніт збіднюється вуглецем відповідно лінії ES. Як і в доевтектоїдній сталі, аустеніт при евтектоїдній температурі матиме евтектоїдну концентрацію вуглецю і при подальшому охолодженні за постійної температури перетвориться на перліт. Структура заевтектоїдної статі складається з перліту і вторинного цементиту.

Перетворення при нагріванні сталей відбувається у зворотному порядку.

2.3.2. Поняття про виробництво сталі із чавуну

Сталь відрізняється від чавуну меншим вмістом вуглецю, кремнію, марганцю, домішок сірки та фосфору. Основною сировиною для виробництва сталі є передільний чавун та стальний металобрухт. Передільний чавун, як правило, містить 3,8...4,4 % C, 0,2...2,0 %Si, 0,6...3,5 %Mn, 0,07...1,6 %P, 0,03...0,08S. Суть переробки чавуну в сталь полягає у зменшенні в ньому вмісту вуглецю та інших елементів і переводу їх у шлак або гази. То ж сталь одержують окисленням надлишку C,Si, Mn, S та P.

На сучасному етапі сталь одержують в кисневих конвертерах, мартенівських та електричних печах.

Характеристика конвертерного способу виробництва сталі. Суть киснево-конвертерного процесу полягає у продуванні рідкого чавуну *киснем*. Кисневий конвертер представляє собою посудину грушовидної форми із стального листа, внутрішня частина якого футерована основними вогнетривкими матеріалами (Рис. 2.8 та 2.9). Робоче положення конвертера – вертикальне. Кисень подається в нього під тиском 0,8...1,0 МПа за допомогою водоохолоджуваної фурми, що введене в конвертер через горловину і розташована над рівнем рідкого металу на відстані 0,3...0,8*м*.

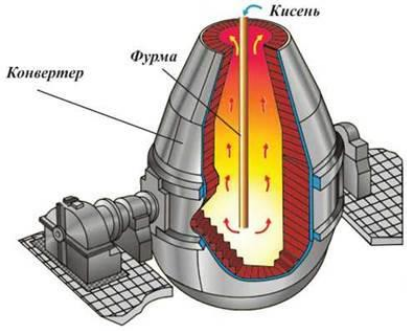


Рис. 2.8. Схема кисневого конвертера



Рис. 2.9. Томасівський конвектор

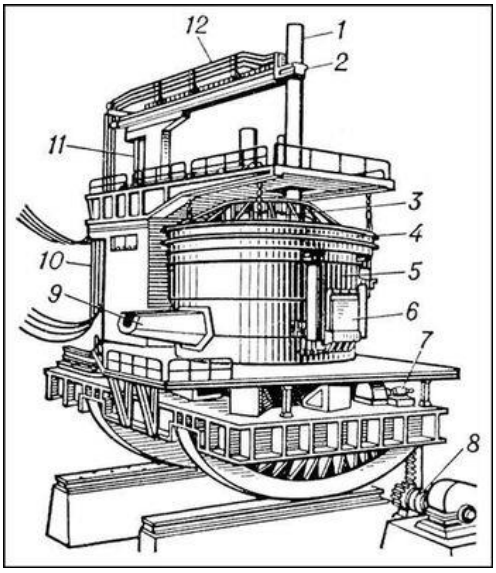
Перед початком роботи конвертер завантажують до 30 % стального брухту, потім заливають рідкий чавун при температурі 1250...1400 ºС, вводять кисневу фурму, подають кисень і додають шлакоутворюючі матеріали.

В момент, коли вміст вуглецю досягає заданого для даної марки сталі, подачу кисню припиняють, конвертер повертають і виливають спочатку сталь, а потім – шлак. Продуктивність кисневого конвертера ємністю 300 *т* досягає 400...500 *т/год*, в той час як продуктивність мартенівських і електропечей не перевищує 80 *т/год*.

Характеристика мартенівського способу виробництва сталі.

Матеріалами для виплавки сталі в мартенівській печі можуть бути: стальний брухт, рідкий і твердий чавуни, залізна руда. Флюсом служить вапняк $CaCO_3$ (8...12 % від маси металу). Спочатку в піч завантажують і прогрівають залізну руду і вапняк, потім додають стальний брухт (скрап) і заливають рідкий чавун. Для інтенсифікації процесу плавлення і окисленні домішок ванну продувають киснем. Продувка киснем дозволяє скоротити тривалість процесу у 2...3 рази, зменшити витрати палива і залізної руди.

Характеристика способу виробництва сталі в електропечах. Порівняно з іншими плавильними агрегатами електропечі володіють рядом переваг: здатністю швидкого нагрівання і підтримання заданої температури в межах 2000ºС, можливістю створення окислювальної, відновлювальної та нейтральної атмосфери, а також вакууму. Це дозволяє виплавляти в електропечах сталі і інші сплави з мінімальною кількість шкідливих домішок та сталі зі спеціальними властивостями. Металургійні печі поділяють на ***дугові*** і ***індукційні***.



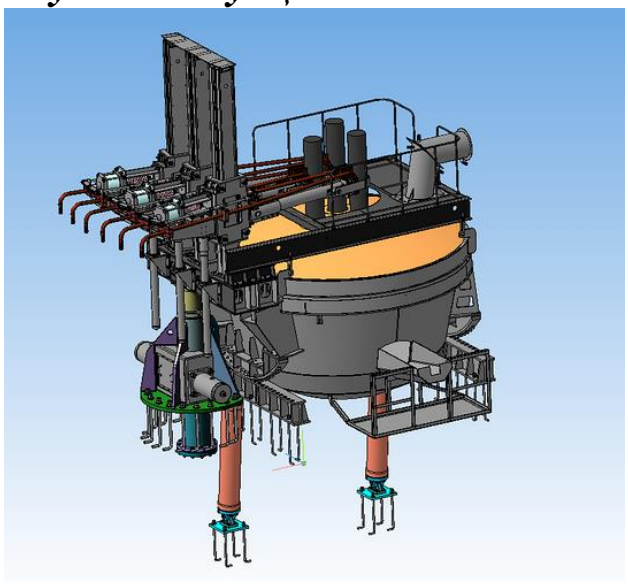


Рис. 2.10 Дугова сталеплавильна піч ДСП-200 ємкістю 200 т:

1 – графітований електрод діаметром 710 мм ; 2 – електрододержатель; 3 – зведення; 4 – водоохолоджуване склепінне кільце; 5 – циліндровий кожух; 6 – водоохолоджувані допоміжні дверці; 7 – електромеханічний механізм повороту печі довкола вертикальної осі; 8 – електромеханічний механізм нахилу печі; 9 – зливна шкарпетка; 10 – рухливий токоподвод з водоохолоджуваних гнучких кабелів; 11 – шток для вертикального переміщення системи стійка – рукав – електротримач – електрод; 12 – токоподвод з охолоджуваних мідних труб.

У ***дуговій*** (*рис*. 2.10) електропечі джерелом тепла є електрична дуга, що виникає між електродами діаметром 350...550 *мм* і шихтою при подачі на електроди напруги 200...600 *В* і струму 1...10 *кА*. Плавка з окисленням схожа з мартенівським процесом. Плавка без окислення застосовується для одержання легованих сталей.

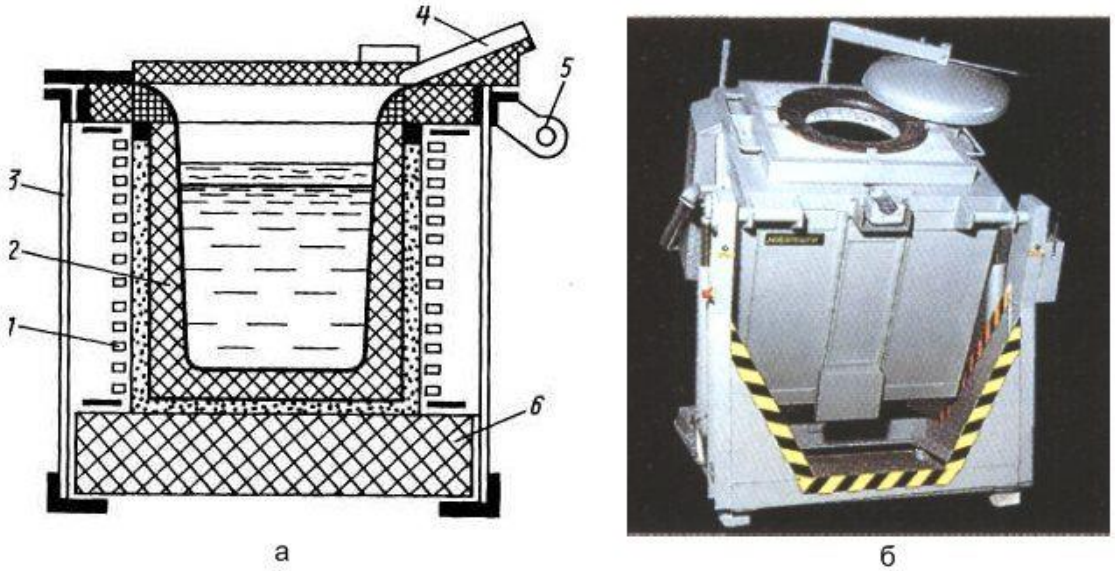


Рис.2.11 Індукційна тигельна піч

а – схема (1- первинна обмотка; 2 – металева шахта в тиглі; 3 – каркас; 4 - зливний носок; 5 – ось повороту; плита з вогнетривкого бетону); б – загальний вигляд

Індукційні печі (*рис*. 2.11) порівняно з дуговими мають ряд переваг:

- відсутність дуги дозволяє виплавляти метали з малим вмістом вуглецю і газів; - виникаючі електродинамічні сили перемішують рідкий метал, вирівнюючи хімічний склад і умови спливання неметалічних включень;

- ці печі маю невеликі розміри, що дозволяю розміщувати їх в спеціальних камерах, створюючи будь-яку атмосферу чи вакуум.

В цих печах плавку звичайно проводять методом переплавки легованих сталей або чистого по сірці та фосфору вуглецевого скрапу і феросплавів.

Тривалість плавки в індукційній печі ємністю 1 *т* складає 45 *хв.*, витрати електроенергії на 1 *т* сталі – 600...700 *кВт/год*.

2.3.3. Поняття про розливання сталі. Характеристика видів розливання сталі.

Виплавлену в плавильній печі сталь випускають у сталерозливний ківш і мостовим краном переносять до місця розливання злитки. Сталь розливають у ***виливниці*** («изложницы») або ***кристалізатори*** установок для безперервного розливання.

Виливниця представляє собою чавуну форму для одержання злитків різного перерізу мал.2.13.



Рис. 2.13 Вертикальні виливниці для розливання сталі

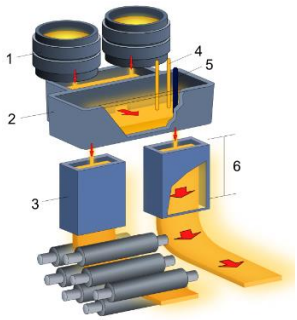


Рис. 2.14 Трьохмірна модель установки безперервного розливання сталі

(1 – ківш; 2 – проміжний ківш; 3 – кристалізатор; 4 - плазмовий факел; 5 – стопор; 6 - зона первинного охолодження і початку кристалізації)

Маса злитків для прокату становить 10...12 *т*, а для поковок досягає 250...300 *т*. Застосовують два способи розливання сталі у виливниці: ***зверху*** і ***сифоном*** (*рис*. 2.14). Розливання сифоном здійснюється у виливниці внизу вверх одночасно у 2...60 встановлених на піддоні виливниць через центровий літник і канали у піддоні. При цьому забезпечується плавне, без розбризкування їх заповнення; поверхня злитка – чиста, скорочується час розливання.

Пряме відновлення заліза з руди. Заслуговує на увагу розробка процесу прямого відновлення заліза з руди. Виключення із виробництва сталі проміжного процесу – одержання чавуну – економічно вигідне. Задача складна.

Найбільш розповсюдженим є виробництво губчастого заліза. Це пористий напівпродукт (95 % заліза, 5 % оксидів заліза, 0,01...0,016 % Si 0,01 P, домішок породи та ін.), що виплавляється у сталеплавильних агрегатах, у сталь. Відновлення шихти ведеться у невеликих за висотою шахтних печах у суміші газів $CO+H_2$. Як і у доменних печах, процес заснований на принципі протитоку: залізорудні матеріали завантажують зверху, а відновлювальні, нагріті приблизно до 1200ºС, гази поступають знизу. В зоні відновлення температура становить 850...900 ºС.

2.3.4 Поняття про способи одержання високоякісної сталі

Для одержання високоякісної сталі застосовують методи ***спеціального переплавлення***, що покращують структуру сталі і її властивості. До таких методів можна віднести переплав у ***вакуумній індукційній печі*** (одержується сталь чиста по газам, сірці та фосфору), у ***вакуумній дуговій печі***, електрошлаковий переплав, позапічна обробка тощо.

2.3.5 Методи виплавлення сталі

Сталь виплавляють з чавуну і брухту. У процесі переробки чавуну на сталь у сплаві зменшується вміст вуглецю (масова частка його в сталі не перевищує 2 %), силіцію, фосфору, сірки, мангану. Видалення цих домішок ґрунтується на реакціях окиснення киснем або FeO в розплаві. Отже, сталь – це ковкий сплав заліза з вуглецем та іншими домішками (металами і неметалами).

У процесі виплавляння сталі відбуваються складні процеси. Оксиген, який міститься в руді, і кисень, що надходить з повітрям у піч для спалювання газуватого палива, окиснює вуглець і значну кількість заліза:

$$2C + O_2 = 2\,CO\uparrow$$
$$2FeO + O_2 = 2FeO$$

Утворений 2Fe оксид FeO, а також FeO, що містяться у брухті, за високої температури взаємодіють із силіцієм, манганом та іншими домішками, які містяться у чавуні:

$$FeO + C = Fe + CO$$
$$2FeO + Si = 2Fe + SiO_2$$
$$FeO + Mn = Fe + MnO$$
$$5FeO + 2P = 5Fe + P_2O_5$$

Утворені оксиди взаємодіють з флюсами, які вносять у піч під час виплавки сталі. При цьому утворюються шлаки. Вони легко видаляються з печі. Для видалення 2Fe оксиду, який ще залишається в сталі, у розплавлену сталь додають розкисники (манган, ванадій, титан), що взаємодіють з надлишковим FeO:

$$FeO + Mn = Fe + MnO$$

Утворені оксиди переходять у шлак.

Під час виплавляння сталей до них додають легуючі добавки – кобальт, нікель, ванадій, хром, вольфрам, молібден, титан та інші метали. Це дає змогу виробляти сталі різного складу, що мають

підвищену міцність, корозійну стійкість (неіржавна сталь), високу стійкість до спрацювання тощо.

Є кілька способів добування сталі: киснево-конвертерний, мартенівський, електротермічний.

В основу конвертерного способу виробництва сталі покладено розробки англійського винахідника Генрі Бесемера (1856). Він запропонував переробляти рідкий чавун (з незначним вмістом фосфору і сірки), продуваючи його повітрям. Паливо у цьому разі не потрібне. Процес відбувається мимовільно за рахунок теплоти екзотермічних реакцій і триває 12 – 15 хв. Однак через низький вміст кисню в повітрі неможливо було досягти потрібних температури й інтенсивності окисно-відновних процесів. Сталь була низької якості. З розвитком виробництва кисню створились умови для вдосконалення способу Бесемера. В другій половині XX ст. його замінив киснево-конвертерний спосіб.

За киснево-конвертерним способом кисень продувають крізь розплавлений чавун у спеціальних апаратах – конвертерах (мал. 1). Це високопродуктивний спосіб, що дає змогу добувати сталь високої якості.

Мартенівський спосіб розробив французький металург П’єр Мартен у 1864 р. Він сконструював піч, в яку завантажуються чавун, брухт і певна кількість руди. У піч вводяться попередньо нагріті повітря і паливо, під час згоряння якого утворюється факел з температурою майже 1900 °С. Метал і руда плавляться, і в розплав уводяться добавки, потрібні для виплавляння сталі заданого складу. Вигоряння домішок відбувається переважно за рахунок кисню повітря. Процес плавлення триває 8 – 10 год.

За мартенівським способом кисень або повітря пропускають над розплавленим чавуном. При цьому залізо окиснюється в поверхневому шарі. Перевага мартенівського способу полягає в тому, що процес переробки чавуну на сталь можна контролювати і виробляти сталі різних марок. Однак він менш економічний, ніж конвертерний. Тому останнім часом виплавка сталі за цим способом скорочується.

За електротермічним способом, що відомий з 1880 р., сировиною здебільшого є брухт, до якого додають трохи чавуну. Окиснення вуглецю, фосфору та деяких інших домішок здійснюється також киснем і FeO, що містяться в брухті. Електропечі дають змогу досягати вищої температури розплаву, ніж це можливо в інших печах, тому цей

спосіб найчастіше застосовують для виплавки сталей, легованих тугоплавкими металами.

Пряме відновлення заліза з руди. Доменний процес переробки залізної руди нині є застарілим. Дедалі більше підприємств орієнтуються на пряме відновлення, тому нових доменних печей у світі вже не будують.

Для прямого відновлення заліза руда ретельно очищується від домішок. Як відновник використовується водень:

$$Fe_2O_3 + 3H_2 = 2Fe + 3H_2O$$

Інший ефективний відновник – природний газ:

$$4Fe_2O_3 + 3CH_4 = 8Fe + 6H_2O + 3CO_2\uparrow$$

З очищеної руди і невеликої кількості коксу готують залізорудні кульки (окатиші, інакше – окотки), які подають у циліндричну обертову піч, що має невеликий ухил. Окатиші поступово пересуваються до нижньої частини печі, куди за принципом протитечії надходить природний газ або повітря з газуватими відновниками – водяним газом ($CO + H_2$) і воднем H_2. Відновлення відбувається за температури, нижчої за температуру плавлення заліза. Тому залізо утворюється в твердому стані (губчасте) у вигляді окатишів, які переплавляються в електропечах, і, обминаючи стадію утворення чавуну, одержують сталь з масовою часткою Fe 98 – 99 %.

Добування заліза високої (надвисокої) чистоти. У багатьох галузях застосовують залізо лише високого ступеня чистоти. Його добувають карбонільним методом, в основі якого лежить реакція сполучення технічного заліза з карбон(II) оксидом:

$$Fe + 5CO = [Fe(CO)5]$$

Утворений ферумпентакарбоніл – рідина, яку легко відокремити від домішок перегонкою. За температури майже 250 °С карбоніл розкладається з утворенням чистого заліза у вигляді порошку:

$$[Fe(CO)_5] = Fe + 5CO$$

Добутий порошок розплавляють у вакуумі або в атмосфері водню і добувають метал з масовою часткою Fe до 99,999 %.

Сировиною для виробництва сталі є чавун, брухт і залізна руда. Сталь виробляють киснево-конвертерним, мартенівським і електротермічним способами. Це дає змогу зменшити у сталі вміст домішок (C, Si, P, S, Mn) за допомоги їх окиснення – частково O, який міститься в руді та брухті, а частково – киснем повітря або кисневого дуття, що надходить у піч для спалювання палива.

Легуючі добавки – метали Co, Ni, V, Cr, W, Mo, Ti – дають змогу виробляти сталь заданої якості (неіржавну, підвищеної міцності тощо).

Виробництво сталі і чавуну принципово різниться: виплавляння сталі – це процес окиснення, спрямований на зменшення вмісту вуглецю та інших домішок; доменний – процес відновлення.

Найефективнішим способом добування сталі є киснево-конвертерний, а найперспективнішим – прямого добування заліза з руди.

2.4.6 Класифікація і маркування легованих сталей

Державна система маркування якісної легованої сталі складається зі сполучення літер і цифр, що орієнтовно вказують на її хімічний склад. Легуючі елементи мають такі позначення: азот (А), ніобій (Б), вольфрам (В), марганець (Г), мідь (Д), кобальт (К), берилій (Л), молібден (М), нікель (Н), свинець (П), хром (Х), бор (Р), кремній (С), титан (Т), ванадій (Ф), цирконій (Ц), алюміній (Ю), рідкісноземельні метали (Ч).

Цифри після літери вказують приблизно на вміст даного легуючого елемента. При вмісті елемента менше 1 % цифри не пишуть; при вмісті близько 1 % – пишуть цифру 1; близько 2 % – цифру 2 тощо. При маркуванні конструкційних якісних сталей цифри перед першою літерою марки використовують для позначення середнього вмісту вуглецю у сотих частках процента, а у високовутлецевих інструментальних сталях – в десятих частках процента. Наприклад, сталь марки 20Х містить у своєму складі 0,17... 0,23% C, 0,7... 1,0% Cr; сталь 30ХГСН2 - 0,3 % C, до 1% Cr, до 1% Mn, до 1% Si, до 2% Ni.

Літера А у кінці марки сталі вказує на обмежений вміст сірки і фосфору (до 0,03% кожного), а також на те, що дотримано всіх технологічних вимог металургійного процесу виробництва високоякісної сталі, наприклад, сталь 18ХНЗА. Особливо високоякісна сталь має в кінці марки позначення літерою Ш. Наприклад, сталь 95Х18Ш, особливо високоякісна, виплавлена методом електрошлакового переплаву, містить 0,9...1,0 %C, 17... 19% Cr, 0,03% P і 0,015% S.

Деякі групи сталей мають додаткові позначення: марки шарико-підшипникових сталей починаються з літери Ш, швидкорізальних – з літери Р, магнітотвердих – з літери Е, автоматних – з літери А.

Для скорочення кількості знаків при маркуванні сталі іноді відступають від загальноприйнятої системи, особливо для складнолегованих сталей, і не вказують цифри, що означають вміст

вуглецю або іншого елемента (інструментальні сталі з вмістом вуглецю понад 1%).

Класифікують леговані сталі за такими ознаками, як за хімічним складом, тобто залежно від вмісту вуглецю (низьковуглецеві до 0,25%, середньо вуглецеві – 0,25...0,6%, високовуглецеві – 0,6...2%) та вмісту основного легуючого елемента (хромисті, нікелеві, хромонікелеві, марганцеві тощо).

Сталі з високим вмістом легуючих елементів, що розширюють γ-область на діаграмі стану, утворюють клас аустенітних сталей; сталі з високим вмістом елементів, що звужують γ-область, і низьким вмістом вуглецю – утворюють клас феритних сталей.

Залежно від структури у рівноважному стані розрізняють: доевтектоїдні (від 0,02 до 0,8% С), які містять у структурі перліт і надлишковий ферит; евтектоїдні (0,8% С) з перлітною структурою; заевтектоїдні (понад 0,8% С), які мають у структурі надлишкові (вторинні) карбіди; ледебуритні, шо мають надлишкові карбіди, які виділяються з рідкої фази під час кристалізації. Останні у литому стані утворюють з аустенітом евтектику – ледебурит.

За структурою після охолодження зразків (діаметром 25 мм) на повітрі розрізняють три класи сталей: перлітний – сталі цього класу характеризує відносно низький вміст легуючих елементів; мартенситний – сталі містять дещо більшу кількість легуючих елементів; аустенітний – характеризується високим вмістом легуючих елементів.

За якістю сталі поділяють на сталі звичайної якості, якісні, високоякісні та особливо високої якості.

За призначенням стані можуть об'єднуватись у кілька груп:

Конструкційні – використовують для деталей машин і механізмів і зазвичай піддають термічній обробці. Своєю чергою, їх поділяють на сталі для цементації; сталі поліпшувані (гартування + + високий відпуск); сталі будівельні (низьколеговані) – призначені для термічної обробки у споживача.

Інструментальні сталі використовують для виготовлення різального, штампувального і вимірюваного інструменту. Умовно їх поділяють на вуглецеві, леговані, штамповані, швидкорізальні.

Сталі з *особливими властивостями* мають певні, різко визначені властивості: жароміцні, теплостійкі, зносостійкі, неіржавіючі, з особливими магнітними або електричними властивостями тощо.

2.4.7 Конструкційні леговані сталі

Конструкційні леговані сталі поділяють їх на: сталі для цементації; поліпшувані; високоміцні. Вони мають забезпечувати комплекс високих механічних властивостей, конструктивну міцність і довговічність виробів при експлуатації.

Сталі для цементації використовують для виробів, які працюють за умов тертя, ударних і перемінних навантажень. Надійність і ресурс роботи таких виробів забезпечується високим рівнем твердості й міцності поверхні та достатньою конструктивною міцністю і в'язкістю серцевини металу. Для цього сталі, призначені для цементації, насичують з поверхні вуглецем (цементують) і далі піддають гартуванню з низьким відпуском, що забезпечує високу твердість (58...63 HRC) поверхні деталі і потрібну в'язкість серцевини. Хімічний склад таких сталей обмежений вмістом вуглецю до 0,25%, сумарним вмістом легуючих елементів для низьколегованих сталей до 2,5% і для середньолегованих – 2,5... 10%.

Для виробів малих розмірів, що працюють за умов тертя і середніх навантажень, використовують сталі типу 15ХА, 20Х ($6_В$ = 700... 750 МПа, δ= 10... 12%, KCU = 0,6...0,7 МДж/м^2). Відповідальні деталі для експлуатації при високих і ударних навантаженнях і великих швидкостях виготовляються зі сталей типу 15ХФ, 18ХГ, 25ХГМ ($6_В$ = 900...1200 МПа, δ = 10 %, KCU = 0,8 МДж/м^2). Великі важконавантажені деталі для експлуатації за умов динамічних і вібраційних навантажень виготовляють зі сталей, легованих комплексом карбідоутворюючих елементів (Cr, V, Ti, Mo) з нікелем $6_В$ = 800... 1300 МПа, δ = 8...12%, KCU = 1,0 МДж/м^2). Серед них сталі 20ХН, 20ХН3А, 12Х2Н4, 18ХГТ, 20ХГР. Типові режими термічної обробки після цементації – гартування з низьким відпуском для одержання структури мартенситу.

Поліпшувальні сталі – це низьколеговані сталі з вмістом вуглецю 0,3...0,5%. Для забезпечення потрібних властивостей міцності, пластичності та в'язкості їх піддають гартуванню з високим відпуском (500...600 °С), тобто поліпшують. Загальна кількість легуючих елементів у поліпшувальних сталей становить 3...5 % (Cr, Ni, W, Mo, Si, V), основний легуючий елемент – хром (0,8...1,1%). Властивості таких сталей: $6_В$ = 900... 1600 МПа, δ = 10...12%, KCU=0,4...0,9 МДж/м^2. Розрізняють хромисті сталі – 40Х, 45Х, для прогартованості їх додатково легують бором 0,002...0,003 % (40ХР) або до 1% марганцем (40ХГ). З них виготовляють деталі для роботи за умов

підвищених напружень і знакозмінних навантажень – шатуни, колінчасті вали. Хромомарганцеві сталі, леговані Si і Mn (хромансил), наприклад 30ХГС, добре зварюються, після термообробки 6_B = 1650 МПа, δ = 6%, KCU = 0,5 МДж/м2. Для великих відповідальних і важконавантажуваних деталей складної форми використовують сталі зі значною кількістю Ni і Mo, наприклад 40ХНМ, 30ХН2МФ, 40ХН2МФ, 40ХН2МА, 38ХН3МФ тощо.

Високоміцні леговані сталі використовують для виготовлення особливо відповідальних і важконавантажених деталей, які експлуатують за умов різко змінюваних навантажень (деталі шасі, конструкції фюзеляжів тощо). Це комплексно-леговані (кількома легуючими елементами) середньовуглецеві сталі (0,3...0,6% С), які зміцнюють термічною обробкою або піддають термомеханічній обробці. Наприклад, 30ХГСН2А, 40ХГСН3ВА (6_B = 1850...2000 МПа, δ =11...12 %, KCU = 0,4...0,6 МДж/м^2).

Пружинно-ресорні леговані сталі містять у своєму складі 0,5...0,7% С, додатково леговані Si (до 2%) і елементами Mn, Cr, V, W, B, які підвищують пружні характеристики і прогартованість сталі. Сталі 50С2, 50ХГФА використовують для ресор автомобілів, сталі 55СГ, 60СГ, 65С2ВА, 60С2ХФА – для відповідальних пружин, ресор тощо. Найвищу пружність забезпечує гартування і середній (400...500 °С) відпуск на структуру трооститу відпуску (високодисперсна суміш фериту з карбідами). Додаткове легування сталі вольфрамом, молібденом, ванадієм підвищує стійкість сталі під час відпуску, що дозволяє використовувати їх для роботи за умов нагріву до 200... 250 °С. При легуванні бором (0,003%) підвищується поріг пружності сталі і прогартованість (сталі 55ХГР, 50ХФРА та інші). Для підвищення опору втомі і зменшення чутливості до концентраторів напружень пружини і листи ресор у готовому вигляді піддають поверхневому наклепуванню струменевою обробкою шротом.

Шарикопідшипникові сталі складають особливу групу конструкційних сталей, що відповідають вимогам високої міцності і зносостійкості. Для них характерним є високий вміст вуглецю (~ 1%) і хрому. Для маркування цих сталей використовують літери ШХ, які розшифровуються як сталь шарикопідшипникова хромиста, далі йдуть цифри, які вказують на вміст хрому в десяти частках процента (ШХ6, ШХ9, ШХ15).

Евтектоїдний вміст вуглецю і хрому забезпечують одержання після гартування структури дисперсного мартенситу з карбідами високої

твердості, зносостійкість і прогартованість сталі. Для підвищення прогартованості сталі додатково легують марганцем і кремнієм (сталі ШХ15СТ, ШХ20СГ).

Термічна обробка шарикопідшипникових сталей включає операції відпалювання прокату, гартування (від 790...880°С) і відпуск при 150...200°С на твердість 62...65 HRC. До сталей цієї групи існують підвищені вимоги щодо чистоти і рівномірності розподілу карбідів.

Зносостійкі сталі об'єднують групи високомарганцевих і графітизованих сталей.

Високомарганцеві сталі типу 110Г13Л містять у своєму складі 0,9...1,4 % С і 11,5...15 % Mn, характеризуються високою зносостій кістю, пластичністю і ударною в'язкістю. Використовуються для виготовлення широкої номенклатури виливків, які працюють за умов ударно-абразивного спрацювання (бронеплити, била дробарок, траки, залізничні стрілки і хрестовини, зубці ковша екскаваторів). Сталь 110Г13Л має однофазну аустенітну структуру після гартування без поліморфного перетворення від температур 1000...1100 °С і такі механічні властивості: $б_В$ = 800... 1000 МПа, $б_Т$ = 250...400 МПа, δ = 35...45 %, ψ= 40...50%, 170...230 НВ, KCU = 1,6...2,1 МДж/м^2. Вона здатна до наклепування і внаслідок цього до підвищення твердості (600 НВ).

Графітизована сталь містить у своєму складі 1,5...2,0% С і до 2% Si. Після гартування вона поєднує властивості загартованої сталі та чавуну. Графіт у такій сталі є змащуючою фазою. Сталь має структуру феритоцементитної суміші з певною кількістю графіту. Залежно від режиму термічної обробки і вмісту вуглецю кількість графіту може значно змінюватись. Графітизовані сталі використовують для виготовлення поршневих кілець, поршнів, колінчастих валів та інших виливків для умов тертя.

Інструментальні леговані сталі, порівняно з вуглецевими, характеризує підвищена прогартованість, значна міцність, більш високі різальні властивості, пластичність у відпаленому стані. Легуючі елементи (W, Mo, Co, Cr) підвищують теплостійкість, Mn – загартованість, N – в'язкість, V – зносостійкість.

Сталі з сумарним вмістом легуючих елементів до 2,5% відносять до низьколегованих, до 10% – до середньолегованих і більше 10% – до високолегованих.

У низьколегованих сталях основним легуючим елементом є хром (сталі Х, 11Х, 13Х). При вмісті хрому до 0,4 % прогартованість сталей

низька, а з підвищенням вмісту хрому до 1,3... 1,6 % при легуванні кількома елементами (Cr, Mn, Si, W) вона значно зростає (сталі 9ХС, 9ХВГ, ХВГ, Х12М та інші). Так, сталь Х прогартовується у маслі на глибину до 25 мм, сталь 9ХС – до 35 мм, сталь ХВГ – до 45 мм, сталь ХВГС – до 80 мм.

Сталь Х з теплостійкістю до 200°С застосовують для токарних і стругальних різців: сталь 9ХС з теплостійкістю до 260°С – для виготовлення свердел, розверток, фрез, метчиків, плашок; сталі типу ХВСГ, 9Х5ВФ з теплостійкістю до 450 °С використовують для виготовлення крупних свердел, плашок, протяжок, фрез та іншого різального інструменту.

Високолеговані інструментальні сталі містять у своєму складі W, Cr, V, Mo (до 18 % основного легуючого елемента) і мають високу теплостійкість – до 600...650 °С. Такі сталі називають *швидко різальними* і позначають літерою Р і цифрою, яка вказує на вміст вольфраму у процентах (сталі Р9, Р18). Вміст хрому (4 %) і ванадію (2 %) при маркуванні цих сталей не вказують. До складу швидкорізальних сталей додатково вводять також молібден і кобальт. Для маркування таких сталей використовують літери М і К та цифри, які вказують на їхню кількість у процентах (сталі Р6М5, Р9К5, Р18К5Ф2 та інші).

Для вимірювального інструменту використовують сталі Х, ХВГ після гартування і спеціального низького відпуску при 120... 130 °С протягом 15...20 год з наступною обробкою при температурах нижче нуля (до – 60 °С). З цих сталей виготовляють також штампи холодного деформування складної форми перерізом 75...100 мм. Для виготовлення інструменту з високою твердістю і зносостійкістю, а також незначною деформацію під час гартування використовують сталі типу Х12Ф1. Сталі з меншим вмістом вуглецю і підвищеною в’язкістю використовують для інструменту, що працює за значних ударних навантажень (пневматичні зубила, ножі для холодної різки тощо), наприклад сталі 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С та інші.

Сталі з вмістом вуглецю (0,5...0,6 %), леговані хромом (який підвищує міцність і прогартованість), а також вольфрамом і молібденом (підвищує твердість, теплостійкість, подрібнюють зерно), нікелем (підвищують в’язкість, прогартованість) і марганцем (заміняє нікель), використовують для виготовлення штампів гарячого деформування – сталі 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ.

Спеціальні леговані сталі – це високолеговані сталі з явно вираженими особливими властивостями (корозійна стійкість, жаростійкість, жароміцність тощо).

Неіржавіючі або корозійностійкі сталі володіють високою хімічною стійкістю в агресивних середовищах. Одержують їх введенням до складу низько- і середньовуглецевих сталей значної кількості хрому (не менше 12,5 %) і нікелю, а також додатково титану, алюмінію і марганцю. Найпоширеніші хромисті і хромонікелеві сталі. Залежно від структури розрізняють корозійностійкі сталі аустенітні (12Х18Н9, 12Х18Н10, 04Х18Н10, 10Х14Г14Н3), феритні (12Х17, 08Х17Т), мартенситні (40Х13), аустенітно-мартенситні (09Х15Н18Ю) та аустенітно-феритні (08Х21Н6М2Т).

Хромисті сталі найдешевші, але за корозійною стійкістю поступаються хромонікелевим. Так, сталь 12Х7 стійка у кислотних середовищах, але не придатна для використання при зварюванні, оскільки при нагріванні під час зварювання вище 900...950 °С і швидкому охолодженні границі зерен сталі збіднюються хромом. При вмісті ж менше 12% Cr елекрохімічний потенціал сталі стає негативним і вона втрачає здатність опиратись корозії. За таких умов у сталі 12Х7 виникає небезпечний вид корозії – міжкристалічна корозія. Для запобігання цього використовують сталь, леговану титаном 08Х17Т.

Хромонікелеві сталі містять підвищену кількість хрому і нікелю, мало вуглецю і відносяться до аустенітного класу (сталь 12Х18Н9). Такі сталі, порівняно з хромистими, характеризує висока корозійна стійкість. Вони здатні до міжкристалітної корозії. Тому в разі необхідності їх також додатково легують титаном (сталь 12ХН8Н9Т) або зменшують вміст вуглецю (сталь 04Х18Н10). Широко застосовують їх у харчовій, хімічній, нафтопереробній галузях промисловості, а також у транспортному машинобудуванні і будівництві. Для економії нікелю його частково замінюють марганцем. Так, сталь 10Х14Г14Н3 використовують як замінник сталі 12Х18Н9. Для експлуатації у кислотних середовищах підвищеної активності використовують сталі аустенітно-феритного класу, наприклад сталь 08Х21Н6М2Т тощо.

Розроблено також високолеговані сталі для агресивних середовищ (80 % розчин H2S04) із складною системою легування елементами Cr, N, Mo, Cu.

Жаростійкі (жаровиностійкі) сталі – це такі, що здатні чинити опір корозійному руйнуванню під дією повітря або іншого газового середовища при високих температурах (400...900 °С). Жаростійкі сталі містять у своєму складі Al, Cr, Si і не утворюють жаровини. Стійкість таких сталей зумовлено утворенням на поверхні виробів щільних захисних плівок оксидів вказаних легуючих елементів. Так, для виробів з робочими температурами до 850...900 °С (клапани двигунів внутрішнього згорання) використовують сталі 40Х9С2, 08Х17Т; для температур до 1100 °С (сопла, жарові труби газових турбін) – сталі типу 36Х18Н25С2. Хромиста сталь з 30 % Сг стійка до температури 1200 °С. Жаростійкі сталі застосовують в основному для деталей нагрівального і енергетичного обладнань.

Жароміцні сталі – це такі, що забезпечують здатність виготовлених з них виробів витримувати механічні навантаження без деформації й руйнування за високих температур (500... 1000 °С). Вони містять у своєму складі хром, кремній, нікель, молібден та інші елементи. Залежно від призначення розрізняють клапанні сталі, котлотурбінні, газотурбінні сталі, а також сплави з високою жароміцністю.

Для температур 300... 500 °С використовують Cr – Si-сталі мартенситного класу (сільхроми) типу 40Х9С2, 40Х10С2М. З них виготовляють клапани двигунів автомобілів і тракторів. Високолеговані аустенітні сталі типу 17Х18Н9 (гомогенні) або 45Х14Н14В2М (гетерогенні – з дрібними карбідними або інтерметалідними фазами) використовують за температур 600...900°С. Аустенітні сталі досить міцні, але в’язкі і погано обробляються різанням. З них виготовляють парові котли, лопатки газових турбін, сопла реактивних двигунів тощо. Для більш високих температур (800... 1000 °С) використовують хромонікелеві сплави – ніхроми і німоніки з мінімальним вмістом вуглецю (0,06...0,12% С).

Вони містять більше 55% Ni і переважають за властивостями кращі жароміцні сталі. За структурою їх поділяють на гомогенні (ніхроми ХН60Ю, ХН78Т та інші) і гетерогенні (німоніки ХН77ТЮ, ХН77ТЮР тощо), леговані, окрім хрому, ще й елементами, які утворюють з нікелем дисперсні інтерметалідні зміцнюючі фази типу $(Ni, Co, Cr)_3Ti$, $(Ni, Co, Cr)_3Al$ тощо. Маркування нікелевих сплавів здійснюють літерами, які означають елементи, і цифрами, що вказують на вміст нікелю. Так, сплав ХН70ВМТЮ містить 70 % Ni, а також Cr, W, Mo, Ti, Al. Жароміцні сплави на основі кобальту використовують

обмежено, наприклад для лопаток соплового апарата реактивних двигунів.

Легованими називають сталі, які, крім заліза, вуглецю і технологічних домішок, містять спеціальні домішки (легуючі елементи). Легуючі елементи вводять до складу сталі для надання їй або покращання певних фізичних, хімічних, механічних або технологічних властивостей. Сталі можуть містити один або кілька легуючих елементів. Наявність цих елементів приводить не тільки до зміни властивостей сталі, а й до режимів її термічної обробки. Легуючі елементи в тій чи іншій мірі розчиняються в основних фазах сталі (фериті, аустеніті, цементиті) або утворюють спеціальні карбіди. Розчинюючись у залізі елементи впливають на температурний інтервал існування його алотропічних модифікацій, змінюючи критичні точки A_3 і A_4 (відповідно 911 і 1392 °С) на шкалі температур діаграми стану. Такі елементи, як Mn, Ni, Pt, C, підвищують точку A_4 і знижують A_3, тобто розширюють область існування у-модифікацій заліза; Si, Al, W, Sn, Mo, V, Ti, Sb – знижують точку A_4 і підвищують A_3, тобто звужують область існування у-модифікацій заліза і розширюють область існування модифікацій а-заліза.

Це може призвести до того, що при певному вмісті елементів, наприклад, Mn і Ni, у-стан буде існувати як стабільний від кімнатної температури до температури плавлення (аустенітні сплави). При певному вмісті таких елементів, як V, Mo, Si та інші, стабільним для всіх температур буде α -стан (феритні сплави).

Багато елементів (W, Cr, Si, Mo, V, Ti) зміщують положення критичних точок на діаграмі залізовуглецевих сплавів (лінія SE) ліворуч. Внаслідок цього сталь, легована цими елементами, буде утворювати перлітну структуру при вмісті вуглецю < 0,8 %. Важливим є вплив легуючих елементів на властивості фериту. Розчинюючись у кристалічній гратці а-заліза атоми легуючих елементів змінюють її параметри, підвищують характеристики міцності фериту і знижують пластичність. Найбільше підвищують міцність Si, Mn і Ni, дещо менше Mo, W, Cr. Більшість елементів, зміцнюючи ферит, незначно впливають на пластичність, проте знижують ударну в’язкість сталі (за винятком Ni). При вмісті до 1 % Mn і Cr підвищують ударну в’язкість. За умов дальшого підвищення їхнього вмісту ударна в’язкість знижується, досягаючи рівня значень нелегованого фериту при 3,0 % Cr і 1,5 % Mn.

У періодичній системі елементів ліворуч від заліза розміщені так звані перехідні метали (мають недобудовану d-оболонку порівняно з Fe) – карбідоутворюючі елементи (Ti, W, Cr, Mn, V, Nb, Mo), а праворуч – ті, що не утворюють карбідів (Co, Ni, Cu). Чим менше заповнена J-оболонка елемента, тим активніше він утворює карбіди. Карбідні фази мають високу твердість і температуру плавлення. Кількість, подрібненість, характер розміщення, морфологія і природа карбідної фази суттєво впливають на властивості легованої сталі.

Карбідоутворюючі елементи впливають не лише на ізотермічне перетворення аустеніту, а й на самий процес ізотермічного перетворення. При цьому утворюються карбіди, розчинні в аустеніті, які по-різному впливають на швидкість розпаду аустеніту за різних температур.

Практично важливим є здатність легуючих елементів сповільнювати швидкість розпаду аустеніту під час перлітного перетворення. Це сприяє глибокій прогартованості і переохолодженню аустеніту до інтервалу мартенситного перетворення (зменшення $V_{кр}$).

Прогартованість значно підвищується при одночасному легуванні кількома елементами (Cr + Mo, Cr + Ni, Cr + Ni + Mo) порівняно з роздільним легуванням Mo, W, B, які також підвищують прогартованість сталі.

Важливим є також вплив легуючих елементів на ріст зерна сталі. Сприяють цьому росту Mn і B. Слабо впливають на розміри зерна Ni, Co, Si, Cu (не утворюють карбідів). Карбідоутворюючі елементи (Cr, Mo, W, V, Ti) подрібнюють зерно і гальмують його ріст при підвищених температурах.

Розділ 3. Кольорові метали й сплави

3.1 Алюміній та його сплави

Алюміній – елемент третьої групи періодичної таблиці Д.І. Менделєєва. На його зовнішній електронній оболонці знаходиться три електрони, які він віддає, це свідчить про його найвищу валентність, яка дорівнює трьом. Нижчі валентності алюмінію також існують, але проявляються рідко, тому що сполуки одно- і двохвалентного алюмінію не стійкі.

Алюміній менш активний, ніж натрій і магній, а його стандартний електродний потенціал складає 1,66 В. Алюміній із таким низьким потенціалом не розкладає воду й порівняно стійкий до дії розбавлених кислот, що пов'язано з наявністю оксидної плівки на його поверхні. Після руйнування поверхневої плівки метал починає енергійно розчинятися в кислотах:

$$2Al + 6HCl = 2AlCl_3 + 3H_2.$$

Луги при підвищеній температурі розчиняють поверхневу плівку за такою реакцією:

$$Al_2O_3 + 2NaOH = 2NaAlO_2 + H_2O,$$

а потім метал реагує з водою і утворює гідрооксид алюмінію:

$$2Al + 6H_2O = 2Al(OH)_3 + 3H_2.$$

Гідрооксид алюмінію в свою чергу теж взаємодіє з лугом і дає алюмінат:

$$Al(OH)_3 + NaOH = NaAlO_2 + 2H_2O.$$

Схильність алюмінію реагувати як з кислотами, так і з лугами пояснюється його амфотерністю. У кислому середовищі гідрооксид алюмінію подібно лугам дисоціює на іони:

$$Al(OH)_3 \leftrightarrow Al^{3+} + 3OH.$$

У лужних розчинах дисоціація подібна до кислот:

$$H_3AlO_3 \leftrightarrow H+ + AlO_2^- + H_2O.$$

Алюміній у вигляді порошку горить на повітрі, а також горіння можливе й за рахунок взаємодії його з киснем, який хімічно зв'язаний з іншими металами:

$$4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3;$$

$$2Al + Fe_2O_3 = Al_2O_3 + 2Fe;$$

$$10Al + 3V_2O_5 = 5Al_2O_3 + 6V.$$

Алюміній відновлюється з оксиду вуглецем при температурі 2500°С, але при цьому утворюється, крім чистого металу, ще і його карбід:

$2Al_2O_3 + 6C = 4Al + 6CO$;

$4Al + 3C = Al4C_3$.

Алюміній і його карбід енергійно випаровуються, тому відновлювальна плавка дуже рідко використовується в процесах одержання алюмінію.

Оксид алюмінію – Al_2O_3 – це біла дрібнокристалічна речовина густиною 39600 кг/м^3 з температурами $T_{пл.} = 2050°C$ і $T_{кип.} = 2980°C$ відповідно.

Алюміній виявляє низьку спорідненість до сірки, і тому його сульфіди не зустрічаються в природі. Синтезований в лабораторних умовах сульфід не стійкий і дуже швидко взаємодіє з вологою повітря:

$Al_2S_3 + 6H_2O = 2Al(OH)_3 + 3H_2S$.

3.1.1 Сировина для виробництва алюмінію

Алюміній знаходиться в рудах у вигляді мінералів, що містить окисли, подвійні основні сульфати та силікати. Існують такі мінерали алюмінію:

- корунд – 100% Al_2O_3;
- діаспор або беміт – $Al_2O_3 \cdot H_2O$ – 85% Al_2O_3;
- гібсит або гідраргіліт – $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ – 65,4% Al_2O_3;
- нефелін – (NaxKy) $O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ – 32-36% Al_2O_3;
- алуніт – $(NaxKy)SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$ – 37-39% Al_2O_3;
- каолініт – $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2\ 2H_2O$ – 39,5% Al_2O_3;
- кіаніт або силіманіт – $Al_2O_3 \cdot nSiO_2$ – 63,2% Al_2O_3.

Гірські породи, які складаються з гідраргіліту, беміту або діаспору і невеликої кількості корунду та алюмосилікатів, називаються бокситами. Боксити – це головна сировина в процесі виробництва алюмінію. Окрім алюмінію, у них завжди присутні домішки Ti, V, Cr і Ga. Пуста порода складається з гідратованих оксидів заліза, різних водних силікатів і карбонатів кальцію та магнію. Боксити слугують також сировиною для виробництва електрокорунду, глиноземистого цементу й вогнетривких виробів. Боксити також використовують як флюс у мартенівському виробництві сталі.

На даний час найбільш зручним і економічним способом одержання алюмінію є електроліз глинозему, який розчиняють у розплаві кріоліту (Na_3AlF_6). На мал. 3.1 наведено схему одержання алюмінію цим методом.

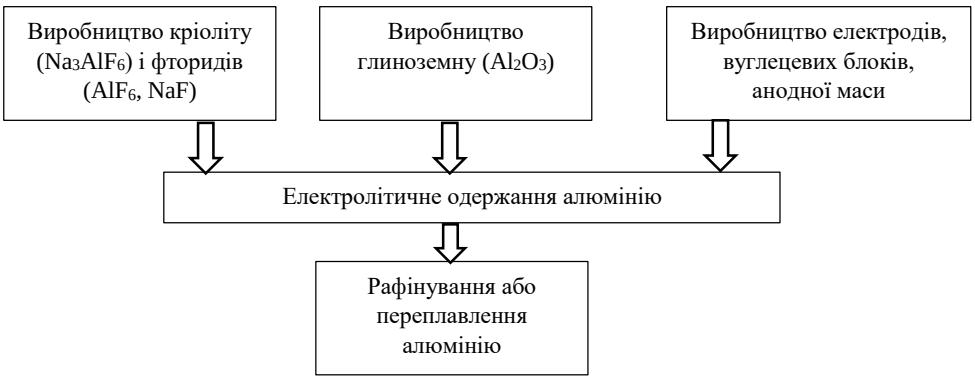


Рис. 3.1 Схема одержання алюмінію електролітичним способом

3.1.2 Процес одержання глинозему з руди

Виробництво чистого глинозему з руд є першою стадією процесу одержання алюмінію. Способи одержання глинозему із руд різні. Технологія виробництва глинозему (Al_2O_3) з бокситів, що розроблена К.І. Байєром, є так званим «мокрим» способом збагачення руди. Разом зі збагаченням із руди вилучають домішки, які можуть при електролізі перейти в менш активний рідкий катодний алюміній. Вилучати шкідливі *домішки* з алюмінію важче, ніж із глинозему. Існує також альтернативний («сухий») спосіб збагачення руди й одержання концентрованого глинозему.

Спосіб Байєра базується на оборотності реакції між гідрооксидами алюмінію та натрію:

$$Al(OH)_3 + NaOH \leftrightarrow NaAlO_2 + 2H_2O.$$

При нагріванні бокситу в концентрованому лузі оксид алюмінію переходить у розчин у вигляді алюмінату натрію за прямою реакцією. Наступне розбавлення й охолодження розчину $NaAlO_2$ викликає його гідроліз, у результаті якого в осад випадає гідрооксид алюмінію $Al(OH)_3$.

Гідраргіліт реагує з розчином NaOH за температури 100°С, а беміт або діаспор – при 160-200°С і підвищеному тиску в автоклаві (*рис*. 3.2).

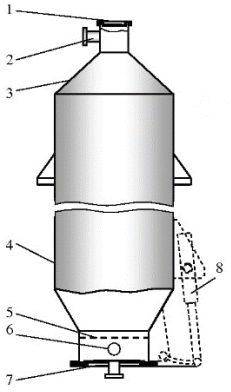


Рис. 3.2 Автоклав для вилуговування бокситів

(1 – верхня кришка; 2 – патрубок для відводу розчину; 3 – конусна частина; 4 – корпус; 5 – решітка; 6 – патрубок для ведення води; 7 – нижня кришка; 8 – зажимний пристрій)

Після взаємодії подрібненого бокситу з лугом в автоклаві одержують пульпу з алюмінату й нерозчинного осаду. Цей осад в основному складається з червоно-бурого оксиду заліза (червоного шламу). Шлам відділяють від розчину відстоюванням, фільтруванням і промиванням. Осад, що очищують таким чином, надходить у відвал. Розчин алюмінату піддають гідролізу при постійному перемішуванні. У процесі гідролізу алюмінат розкладається з утворенням осаду – глинозему. Для прискорення процесу приготування гідроксиду алюмінію в розчин добавляють частину осаду $Al(OH)_3$, який одержано раніше.

У виробничих умовах при вилуговуванні бокситів частіше за все використовують барботажне перемішування повітрям у чанах, які називаються декомпозерами. Тому процес виділення осаду називається декомпозицією.

Осад гідрооксиду алюмінію відокремлюють від розчину за допомогою процесу фільтрування. Після цього його промивають, сушать та нагрівають до температури 1200°С, при якій $Al(OH)_3$ перетворюється в $\alpha - Al_2O_3$.

Метод Байєра, що використовують в усьому світі, не можна застосовувати для переробки бокситів із великим вмістом оксиду кремнію. Присутність SiO_2 призводить до взаємодії його з гідрооксидом натрію й утворення силікату. У свою чергу, цей силікат реагує з алюмінатом і утворює нерозчинні алюмосилікати:

$$SiO_2 + 2NaOH = Na_2SiO_3 + H_2O;$$

$$2NaAlO_2 + 2Na_2SiO_3 + 4H_2O = Na_2Al_2Si2O_8 \cdot 2H_2O + 4NaOH.$$

У результаті таких реакцій частина алюмінію і лугу з розчину переходять в осад, який транспортують у відвал разом із червоним шламом. У бокситах часто присутні карбонати кальцію та магнію, які розчиняються в автоклавах із утворенням кальцинованої соди:

$$CaCO_3 + 2NaOH = Ca(OH)_2 + Na_2CO_3.$$

Сода утворюється також при взаємодії гідрооксиду натрію з вуглекислим газом повітря. У процесі випаровування розчинів сода виділяється у вигляді кристалів моногідрату $Na_2CO_3 \cdot H_2O$. Ці кристали відокремлюють і нагрівають разом із вапняним молоком. У результаті утворюється луг, який повертають у виробництво:

$$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = 2NaOH + CaCO_3\downarrow.$$

Спосіб спікання, а саме спосіб розділення алюмінію та кремнію вперше запропонував Д.А. Пеняков (1916 р.). Цей спосіб детально розробили та впровадили у виробництво (1924-1931 рр.) А.А. Яковкін і І.С. Лілеєв. Технологія ґрунтується на переведенні оксиду алюмінію з бокситу у водорозчинний алюмінат натрію. Реагентом у цьому процесі є сода, яка набагато дешевша й менш активна, ніж гідрооксид натрію. Подрібнений боксит нагрівають у суміші з содою за температури 1200°С. При цьому сода одночасно реагує з оксидом алюмінію й діоксидом кремнію з утворенням алюмінату та силікату натрію:

$$Al_2O_3 + Na_2CO_3 = 2NaAlO_2 + CO_2\uparrow;$$

$$SiO_2 + Na_2CO_3 = Na_2SiO_3 + CO_2\uparrow.$$

Окрім соди, у шихту додають вапняк або вапно. Оксид кальцію також взаємодіє з Al_2O_3 і SiO_2 з утворенням нерозчинних у воді алюмінату $Ca(AlO_2)_2$ і силікату Ca_2SiO_4 кальцію. Залежно від різної спорідненості оксидів, сода витрачається в основному на утворення алюмінату натрію, а вапно – силікату кальцію. Шихту, до складу якої входять боксити, сода та вапняк, спікають за температури 1200°С і одержують спек.

Спек містить алюміній, який входить до складу водорозчинного алюмінату натрію. До спеку входить також кремнезем у вигляді нерозчинних силікатів кальцію і натрію (Na_2SiO_3). При вилуговуванні водою алюмінат натрію ($NaAlO_2$) переходить у розчин, а силікат кальцію залишається в осаді. Гідроліз алюмінату натрію проводять аналогічно процесу Байєра: відділяють осад від розчину; сушать і прожарюють його при температурі 1200°С. Розчин соди випаровують, а кристалічну Na_2CO_3 знову використовують для обробки бокситу.

У нефелінах, окрім глинозему (Al_2O_3), присутні лужні метали – натрій і калій, кількість яких у більшості випадків достатня для утворення алюмінату натрію. При переробці нефелінів одночасно одержують поташ (K_2CO_3) і соду. Технологія переробки нефелінів полягає в наступному. Нефеліновий концентрат і вапняк дисперсністю 0,1 мм перемішують і спікають в трубчастих печах за температури 1300°С:

$$(Na, K)_2O\cdot Al_2O_3\cdot 2SiO_2 + 4CaCO_3 = \ = 2Na(K)AlO_2 + 2CaSiO_4 + 4CO_2\uparrow.$$

Спек подрібнюють і вилуговують в мішалках за температури 7080°С. Після цього розчин, що очищений від шлаку, рафінують в автоклавах від кремнію й піддають повній карбонізації. Осад гідроокису алюмінію ($Al(OH)_3$) відфільтровують, промивають та прожарюють. Біля двох третин розчину повертається у виробництво.

Третю частину, що залишилася, випаровують та кристалізують. У результаті цього спочатку одержують $Na_2CO_3 \cdot H_2O$, а потім, після додаткового випаровування до сухого стану, виділяють поташ – K_2CO_3. Шлам – нерозчинний залишок після вилуговування, подрібнюють у суміші з вапняком. Потім спікають пульпу в трубчастих печах при температурі 1550°С й одержують клінкер. Останній подрібнюють за допомогою млинів до фракції ~ 0,08 мм і одержують цемент. Із кожної тони глинозему виробляють ~ 1 т соди й поташу, а цементу до 8 т.

Електроліз глинозему. Електроліз глинозему проводять у ваннах (рис. 3.3), подина й стіни яких викладено вуглецевими блоками та плитами. Електролітичну ванну заповнюють розчином кріоліту зі вмістом у ньому до 8% глинозему. Зверху в розплав занурюють вуглецевий анод. За температури 9001000°С глинозем, що розчинений в електроліті, дисоціює на іони:

$Al_2O_3 \leftrightarrow 2Al_3+ + 3O_2^-$

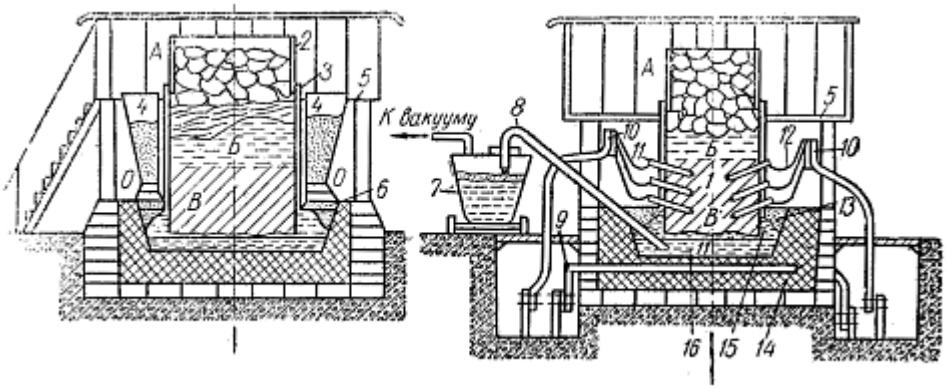


Рис. 3.3 Схема електролізної ванни для виготовлення алюмінію:

1 – анод; 2 – коробка; 3 – кожух; 4– бункери; 5 – площадка; 5 – окись алюмінію; 7 – вакуумний ковш; 8 – труба; 9 – шина катода; 10 – шина анода; 11 – стальні прути; 12 – мідні ленти; 13 – кірка електроліта; 14 – вуглецеві блоки; 15 – розплавлений електроліт; 16 – розплавлений алюміній

У ванні на вуглецевій подині, яка слугує катодом, іони Al3+ відновлюються до металу:

$$2Al_3+ + 6e = 2Al$$

Рідкий алюміній збирається на подині за рахунок різниці в густині алюмінію та електроліту (ρAl = 2340 кг/м^3, ρелект. = 2030 кг/м^3). На вугільному аноді розряджаються іони кисню. При цьому кисень окислює анод до моно- та діоксиду вуглецю (CO і CO_2). Напруга, яка необхідна для електролізу глинозему, складає 1,6-1,7 В за температури 950°С, а для домішок Fe_2O_3 і SiO_2 – 0,89 та 1,69 В відповідно.

Тобто в процесі електролізу на катоді будуть виділятися залізо та кремній. Саме тому для одержання чистого алюмінію необхідно використовувати чистий глинозем. Для виробництва алюмінію застосовують електроліти, які містять від 1,3 до 8,0% глинозему.

У процесі електролізу алюмінію до ванни підводиться напруга – 4,5-5 В. Підведена до ванни енергія витрачається на підтримування температури електроліту (2/3 кількості) та 1/3 – на електроліз. Процес електролізу проводять за температури 950-970°С. Після пуску або капітального ремонту електролітична ванна працює безперервно більше 3 років. Поверхня електроліту у ванні завжди вкрита твердою кіркою. Глинозем доставляють до ванн за допомогою пневматичного або іншого транспорту й завантажують на тверду кірку. Після цього кірку пробивають спеціальними пристроями, і глинозем потрапляє в розплав кріоліту. Глибина рідкого електроліту складає 0,17-0,20 м. У виробничих умовах її визначають за допомогою каліброваного залізного стержня.

У процесі електролізу періодично перевіряють кріолітове число та підтримують його на заданому рівні шляхом регулювання концентрації фторидів натрію та алюмінію. За допомогою вакуумного ковша метал зливають із ванни один раз протягом 2-4 діб. При цьому на подині у ванні залишають шар алюмінію товщиною ~ (0,25-0,30 м).

В електролізерах можна виплавляти також сплави алюмінію з кремнієм – силуміни. Для одержання сплавів використовують силікоалюміній (25-70% Al; 28-70% Si; 1-2% Fe), каоліни, кіоніти та низькосортові боксити. Алюміній і кремній відновлюють малозольним антрацитом, деревним або торф’яним вугіллям, пековим та нафтовим коксом у дугових електропечах за температури ~ 2500°С. У процесі відновлення вказаних елементів утворюється також карбід алюмінію (Al_4C_3), однак кількість його незначна.

Рафінування алюмінію. Алюміній, який випускають із електролітичної ванни, містить різні включення (електроліту, вугілля та вогнетривких матеріалів), а також гази (водень, монооксид вуглецю та ін.). Перегрітий алюміній добре розчинює водень, що надходить у ванну з вологою глинозему. Неметалеві домішки та гази з алюмінію видаляють хлоруванням розплаву, що проводять у футерованому ковші, який встановлюють у витяжну шафу. Алюміній за температури ~ 750°С продувають хлором через графітову трубку, що занурена в розплав. При продувці в рідкому металі утворюється хлорид алюмінію за реакцією:

$$2Al + 3Cl_2 = 2AlCl_3\uparrow.$$

Температура кипіння хлориду алюмінію складає 180°С, тому в розплаві утворюються пухирці з його парів. Ці пухирці спливають із металу на поверхню й виносять із собою неметалеві включення. Гази, що розчинені у металі, при цьому дифундують у пухирці парів, де парціальний тиск газів дорівнює нулю. У результаті продування розплаву хлором відбувається очищення алюмінію від газів і неметалевих включень.

У багатьох галузях техніки застосовують алюміній з низьким вмістом домішок, який відповідає маркам А99–А999. Такий алюміній має високі електропровідність, корозійну стійкість і схильний добре відбивати світло. Алюміній більш високої чистоти (99,999-99,9996% Al) використовують у радіотехнічних приладах, атомній енергетиці та у виробництві напівпровідникових матеріалів. Такий алюміній одержують шляхом глибокого рафінування розплаву від домішок Fe, Si, Ti, Cu та інших елементів.

Електролітичне рафінування алюмінію проводять у трьохшаровій ванні за температури 760-800°С в розплаві, який містить 55% BaCl2; 24% Na3AlF6; 16% AlF3 та 5% NaCl. Густина цього розплаву складає 2700 кг/м3, алюмінію 2340 кг/м3. Тому алюміній у процесі електролізу спливає на поверхню ванни. Для того, щоб рідкий алюміній тонув в електроліті, у нього додають мідь (~30% Cu). Густина такого сплаву алюмінію з міддю складає 3000-3500 кг/м3.

У процесі такого електролізу алюмінію нижній шар ванни поляризують за допомогою анодів, а верхній – катодами. При електролізі на аноді метали розчинюються та переходять у стан іонів. На катоді іони розряджаються й утворюються атоми металів. Із анодного сплаву в іони переходять найбільш електровід'ємні елементи – лужні, лужноземельні метали та алюміній. Елементи, що більш

позитивні, ніж алюміній (кремній, залізо і мідь), залишаються у сплаві. Рафінування алюмінію

Вплив хімічних елементів на властивості алюмінію 109 в електролітичній ванні здійснюють при напрузі 6-7 В. Шляхом електролізу одержують зі звичайного алюмінію (99,5-99,7%) метал, який містить 99,9965% Al. Однак рафінування алюмінію за такою технологією потребує великих витрат енергоресурсів.

Метал підвищеної якості (99,9999% Al) одержують за допомогою зонної плавки алюмінію. Після рафінування електролізом із алюмінію відливають зразки діаметром 15-20 мм і довжиною 300 мм. Циліндричний зразок установлюють у кварцову трубу, із якої відкачують повітря до залишкового тиску 10-2 Па (10-4 мм.рт.ст.). Потім трубу зі зразком встановлюють в індуктор, який рухається. При нагріванні індуктором частина зразка плавиться, а інша залишається в твердому стані. Разом із переміщенням індуктора рухається вздовж стрижня зона плавлення алюмінію. Домішки концентруються в розплавленому металі і разом із ним переміщуються до краю зразка. Після багатьох (10-15 разів) проходів зоною плавлення по зразку кінці стрижня відрізають. Такий процес очищення алюмінію від домішок більш витратний порівняно з електролізом. Тому зонною плавкою очищують невеликі кількості металу, який використовують у виробництві напівпровідників.

3.1.3 Вплив хімічних елементів на властивості алюмінію

Для легування алюмінієвих сплавів застосовують всього 5 елементів – 4 метали (Mg, Cu, Zn, Li) і напівпровідник – кремній. Зміцнення сплавів при легуванні досягається за рахунок утворення в розплаві твердого розчину та виділення зміцнюючих фаз в його матриці.

Частинки, які не розчинюються при цьому, утворюють в сплаві інтерметаліди: Mg_2Si, $CuAl_2$, Al_2CuMg, $Al_2Mg_3Zn_3$, Al_3Mg_2 тощо – або знаходяться в структурі металу у вигляді чистих елементів (Si, Bi, Cd, Pb, Sn).

Магній підвищує корозійну стійкість алюмінієвих сплавів. При цьому незначно знижується пластичність литого металу. Сплави алюмінію з магнієм мають широке застосування і належать до системи Al-Mg (магналії), які термічно не зміцнюються.

Мідь суттєво знижує корозійну стійкість алюмінію та його сплавів. Тому кількість міді в сплавах обмежують. Алюмінієві сплави, що

леговані міддю (дюралі), зміцнюються при термічній обробці і належать до жароміцних.

Цинк при введені з іншими добавками, особливо з магнієм та міддю, суттєво впливає на властивості сплавів. Сплави систем Al-ZnMg і Al-Zn-Mg-Cu після термічної обробки мають найбільш високу міцність серед усіх, що існують.

Кремній забезпечує високі ливарні властивості сплавів, що пов'язано з утворенням у сплавах системи Al-Si (силуміни) евтектичної складової. Силуміни – це широко розповсюджені ливарні сплави на основі алюмінію. Подвійні силуміни термічно не зміцнюються. Уведення в силуміни магнію та міді дозволяє підвищувати їх механічні властивості шляхом гартування з наступним старінням сплавів. Тому на практиці використовуються здебільшого багатокомпонентні силуміни на основі систем Al-Si-Mg і Al-Si-Cu-Mg.

Літій як легувальний елемент силумінів почали використовувати в останні роки. Основні характеристики, які забезпечує введення літію у сплав, це підвищення модуля пружності та питомої міцності литого металу.

Окрім основних легувальних елементів у промислові алюмінієві сплави вводять невеликі добавки інших металів. Малими добавками називають легувальні компоненти, вміст яких у сплавах не перевищує 1% по масі. У якості таких добавок використовують Mn, Ti, Zr, Cr, V, Ni, Be, Cd, B, Sc тощо. При введенні в розплав цих елементів у невеликій кількості (до десятих часток відсотка) подрібнюються та рівномірно розподіляються зерна в сплавах. Найбільш ефективно диспергують алюмінієві сплави скандій, титан та цирконій, особливо при введенні їх разом із бором.

Підвищену жароміцність ливарним сплавам надають добавки марганцю, цирконію та хрому. Включення цих елементів або їх інтерметалідів на 30-50% збільшують жароміцність сплавів.

Сплави на основі алюмінію поділяють на дві підгрупи: ливарні та ті, що деформуються. Найкращі ливарні властивості мають сплави, склад яких близький до евтектичного (11-12% кремнію). Основною структурною складовою сплавів, що деформуються, є α-твердий розчин на основі алюмінію з невеликою об'ємною часткою інтерметалідів.

3.1.4 Сплави на основі алюмінію

Сплави, що деформуються, застосовують для безперервного лиття круглих та плоских заготовок, які в подальшому піддають гарячій або холодній обробці тиском. Для підвищення міцності та спеціальних характеристик такі сплави термічно обробляють. Існують різні види термічної обробки. Гомогенізуючий відпал використовується для усунення дендритної ліквації в заготовках перед пластичною деформацією. Рекристалізаційний відпал сплавів після їх деформації застосовують для зняття наклепу й одержання дрібного зерна у виробах. Проводять також гартування та старіння сплавів, які сприяють розпаду пересиченого твердого розчину та коагуляції в ньому зміцнювальних фаз. У результаті цього підвищується пластичність та корозійна стійкість сплавів.

Особливістю алюмінієвих сплавів є малий температурний інтервал нагріву при гартуванні. Витримка в процесі гартування повинна бути мінімальною й забезпечувати розчинення надлишкових фаз у твердому розчині. Витримка виробів при температурі закалювання складає 2-15 годин. За цей час повинні диспергуватися грубі інтерметалідні фази в сплавах.

Старіння загартованих сплавів на повітрі за нормальної температури протікає декілька діб (природне старіння). За підвищеної температури (150-200°С) старіння проводять протягом 10-24 годин (штучне старіння). У процесі старіння розпадається пересичений твердий розчин, що одержаний при гартуванні сплаву. У результаті цього відбувається зміцнення сплавів і виробів із них.

Сплави алюмінію з магнієм (АМг) і марганцем (АМц) термічно не зміцнюються. Сплави АМц, АМг2, АМг3 мають міцність $\sigma_в$, яка складає 150-170 МПа, сплавів АМг6, АМг61 $\sigma_в$ = 350-370 МПа. Сплави АМг гарно зварюються та мають високі пластичність та корозійну стійкість.

Сплави на основі систем: Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu (високоміцні сплави); Al-Cu-Mg (дюралюміній); Al-Cu-Mg-Si (авіаль); Al-Mg-Cu-Si (жароміцні сплави) зміцнюються термічно.

У сплавах Al-Zn-Mg сумарний вміст легувальних елементів цинку і магнію ($C_{Zn}+C_{Mg}$) знаходиться в межах від 5,2 до 8,2%, а співвідношення C_{Zn}/C_{Mg} складає 0,7-4,0. Для цих сплавів характерні низька швидкість охолодження при гартуванні та широкий інтервал температур (375500°С), при яких проводять термічну обробку. Більшість таких сплавів гартуються при охолоджені на повітрі, що

дозволяє проводити термообробку напівфабрикатів одразу після гарячої деформації без попереднього нагрівання. Зварювальні з'єднання цих сплавів за властивостями не відрізняються від основного металу.

Високоміцні сплави системи Al-Zn-Mg-Cu. Добавка міді в ці сплави (разом із малою кількістю в них Cr, Mn, Zr) дозволила суттєво покращити корозійну стійкість металу при збережені високої міцності (для сплаву В95 значення $\sigma_в$ = 550-600 МПа). Алюмінієвий сплав В95 широко використовують у конструкціях, які працюють під тиском за температур до 100°С. Високоміцні сплави здатні до старіння за кімнатної та підвищеної температур. Штучне старіння проводять за температури 120-125°С протягом 24 годин. Підвищену межу міцності сплаву можна одержати при більш низьких температурах старіння, але при цьому зростає схильність сплаву до поверхневого розтріскування.

У сплави системи Al-Cu-Mg додатково вводять марганець для підвищення корозійної стійкості. Найбільш розповсюдженим сплавом цієї системи є дюралюміній Д16, який витримує значні статичні та вібраційні напруження, але має знижену корозійну стійкість. Максимальні механічні властивості цих сплавів досягають шляхом гартування їх від температури 500±5°С у воді з наступним природним старінням протягом 96 годин.

Сплави такого типу після термічної обробки використовують у конструкціях, що працюють за температур до 200°С. Сплави системи Al-Cu-Mg-Si (авіалі) поступаються дюралюмінію міцністю, але мають кращу пластичність у холодному та гарячому станах, вищу корозійну стійкість та добре зварюються. Авіалі характеризуються тим, що зберігають високу міцність протягом тривалого часу. Сплави типу АВ використовують для виготовлення листів, труб, лопатей гвинтів в авіації, кованих деталей для двигунів, рам та ін.

Ливарні алюмінієві сплави використовують для одержання фасонних виробів і за призначенням їх умовно поділяють на 5 груп. Сплави, які мають високу герметичність, АК12 (АЛ2), АК9ч (АЛ4), АК7ч (АЛ9), АК8М3ч (ВАЛ8), АК8М (АЛ32). Сплави високоміцні та жароміцні АМ5 (АЛ19), АК5М (АЛ5), АК5Мч (Ал5-1), а також корозійностійкі АМг11(АЛ22), АЦ4Мг (АЛ24), АМг10 (АЛ27), АМг10ч (Ал27-1).

Перша група включає сплави на основі системи Al-Si (силуміни), які містять (6,0-13,0%) Si, Mg до 0,55%, Mn до 0,06%, Ті до 0,3%, решта –

алюміній та домішки. Сплави АК12, АК7ч та АК9 мають гарні ливарні властивості та достатньо високу міцність.

До другої групи належать сплави системи Al-Si-Cu (мідисті силуміни), що мають такий хімічний склад: (4,0-22,0%) Si, (1,0 - 8,0%) Cu, (0,2-0,3%) Mg, Mn до 0,8%, Ti до 0,3%, решта – алюміній та домішки. Сплави цієї групи (АК5М, АК7М2) достатньо міцні, мають гарні ливарні властивості.

Третя група – сплави на основі системи Al-Cu (дюралі), до складу яких входять (4,5-5,3%) Cu, (0,35-1,0%) Mn, (0,15-0,35%) Ti, Cr до 0,25%, решта – алюміній та домішки. Такого типу сплави (АМ5) здатні до термічної обробки, у результаті якої покращуються механічні властивості литого металу. Рідкоплинність цих сплавів нижча, ніж у мідистих силумінів.

Четверта група – сплави на основі системи Al-Mg містять (4,513,0%) Mg, Si до 1,7%, Mn до 1,0%, Cu до 1,0%, (0,05-0,25%) Ti, Zr до 0,20%, Be до 0,15%, решта – алюміній та домішки. Сплави цієї системи (АМг10 та ін.) мають підвищені механічні властивості. Тому використовують їх для одержання виробів, що працюють в умовах високих статичних і ударних навантажень.

До п'ятої групи належать сплави алюмінію з іншими елементами. Основними легуючими елементами в цих сплавах є цинк і кремній (АК7Ц9, АК9Ц6, АЦ4Мг). Дані сплави мають високу міцність.

Сплави алюмінію з магнієм та міддю піддають термічній обробці. Після термообробки міцнісні та технологічні властивості сплавів змінюються в широких межах. За ГОСТ 2685 – 53 прийняті такі види термічної обробки алюмінієвих ливарних сплавів: Т1 – старіння, Т2 – відпал, Т4 – гартування, Т5 – гартування та часткове старіння, Т6 – гартування і повне старіння до максимальної твердості, Т7 – гартування та стабілізуючий відпуск, Т8 – гартування та м'який відпуск. Для підвищення міцнісних і пластичнісних характеристик силуміни модифікують натрієм. Промисловий силумін АК12 складається тільки з алюмінію та кремнію (10-13%).

Доевтектичні сплави, що попередньо леговані магнієм, зміцнюють модифікуванням, а також термічною обробкою. Литі вироби з цих сплавів, що працюють при високих навантаженнях (корпуси компресорів, картери та блоки циліндрів двигунів) підлягають гартуванню та штучному старінню за режимами Т6. Виливки зі сплаву АК7ч для підвищення пластичності загартовують (Т4), а для

збільшення міцності – загартовують і піддають старінню за режимами Т6.

Властивості алюмінієвих ливарних сплавів суттєво залежать від способу лиття. Механічні характеристики виливків, які одержані в піщано-глинистих формах набагато нижчі, ніж при литті в кокіль. Литво під тиском дає змогу одержувати якісні деталі без модифікування сплавів.

Алюмінієві сплави плавлять в електричних тигельних печах або у відбивних полум'яневих та індукційних агрегатах. Як шихтові (вихідні) матеріали використовують чушки та злитки алюмінію різних марок, відходи власного виробництва та легувальні метали. Широко застосовують також лігатури (сплави основного металу з легувальними елементами). Лігатури одержують заздалегідь такого хімічного складу, щоб температура їхнього плавлення була нижчою за температуру рідкого сплаву.

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

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

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

Деформівні сплави алюмінію розділяють за придатністю до термічної обробки. До незміцнюваних належать сплави системи Al-Mn, що маркуються літерами АМц і числом – номером сплаву, та сплави системи А1-Mg, в марках яких записують літери АМг та номер сплаву. Ці сплави придатні для умов, що вимагають високої корозійної стійкості, наприклад, трубопроводів для бензину і мастил, зварних баків тощо. Зі сплавів АМг і АМц, які мають межу міцності 110...430 МПа, виготовляють також заклепки, перегородки, корпуси та щогли суден, деталі ліфтів, рами вагонів, кузови автомобілів тощо.

Сплави алюмінію, які зміцнюються термічною обробкою, поділяють на сплави з нормальною міцністю – ***дуралюміни,*** в марках

яких записують велику літеру «Д» і числовий номер сплаву, та ***високоміцні***, в марках яких записують велику літеру «В» і числовий номер. Серед деформівних сплавів виокремлюють сплави для обробки тиском – ***ковкі***. В їх марках записують літери «АК» та числовий номер сплаву.

Дуралюміни характеризуються добрим співвідношенням міцності та пластичності і належать до сплавів системи A1-Cu-Mg. Дуралюміни мають невисоку корозійну стійкість, тому їх поверхню покривають тонким шаром чистого алюмінію – плакують. Товщина шару алюмінію становить 3...5% товщини листа. Паяння і зварювання дуралюміну не створюють рівноміцного з основним металом шва. Тому для нерознімного з'єднання деталей з дуралюміну переважають заклепкові з'єднання. Заклепки також виготовляють з дуралюміну, причому пластичність загартованих заклепок із сплаву Д1 зберігається лише 2 год, а із сплаву Д16 – 20 хв. Тому для заклепок використовують сплав Д18, в якому завдяки меншому вмісту міді та магнію пластичність зберігається і після старіння.

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

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

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

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

Мідні сілуміни (АК5М, АК8М3, АК12М2МгН та ін.) характеризуються високою міцністю при звичайних та підвищених температурах. Вони добре обробляються різанням і зварюються, але

ливарні властивості гірші. Застосовуються для виготовлення корпусів компресорів, головок і блоків циліндрів двигунів.

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

3.2 Теоретичні основи виробництво міді

Знайомство людини з міддю відбулося в доісторичні часи. У природі вона іноді зустрічається в самородному стані у вигляді окремих кристалів та шматків різного розміру. Учені вважають, що наукова назва міді «купрум» походить від острова Кіпр, де були мідні рудники стародавніх римлян. Назва сплаву міді з оловом – бронза з'явилася пізніше і пов'язана з невеликим італійським містечком Бриндизі. Уперше високої майстерності в одержанні литва з бронзи досягли японці. Так, статую Будди в храмі Тодайзі вагою 400 т. було відлито ще в 749 р.

Мідь – елемент I групи періодичної таблиці Д.І. Менделєєва, який має два ізотопи з атомними масами 63 і 65. Температура плавлення міді складає 1085°С, кипіння – 2560°С, а густина – 8900 кг/м3. Мідь має високу пластичність, що дозволяє одержувати з неї вироби під дією тиску. Електропровідність міді трохи менша, ніж у срібла, але вища, порівняно з алюмінієм, платиною та залізом. Тому мідь є основним матеріалом для електро- та радіотехніки.

Мідь у сполуках буває одно- і двовалентною:

$$2Cu+ = Cu_2+ + Cu.$$

На повітрі при температурі нижче 400°С мідь повільно окислюється до CuO. При більш високих температурах на ній утворюється окалина, яка складається з CuO, Cu2O та CuCO3·Cu(OH)2. При нагріванні вище температури 800°С на повітрі оксид міді розпадається на закис міді та кисень:

$$2CuO = Cu2O + ½O_2↑.$$

Закис міді плавиться при температурі 1230°С і легко відновлюється газами СО і Н2 до металу за температури близько 450°С. Властивості сульфідів міді Cu2S і CuS подібні до оксидів. За температури понад 450°С в нейтральній атмосфері CuS розкладається на сульфід закису та сірку:

$$4CuS = 2Cu_2S + S_2↑;$$
$$2CuS = Cu_2S + S↑.$$

За високих температур у мідних розплавах присутній тільки Cu_2S, що плавиться за температури 1127°С. Розглянуті сульфіди при нагріванні на повітрі окислюються до CuO і Cu_2O. Цей процес часто проходить через стадію проміжного утворення $CuSO_4$ та основних солей – $nCuSO_4 \cdot mCu(OH)_2$. При нагріванні $CuSO_4$ до 700°С розкладається.

Гідрометалургійна переробка мідних руд 83 з утворенням спочатку основних солей, а потім CuO. У руді мідь, як правило, знаходиться у вигляді сірчистих сполук, оксидів і гідрокарбонатів (малахіт, алурит, куприт, халькопірит тощо).

3.2.1 Гідрометалургійна переробка мідних руд

Бідні окислені та змішані руди, які важко піддаються збагаченню, переробляють за допомогою гідрометалургії. Мідь із таких руд вилуговують розчинами $2SO_4$ або солями амонію. Наприклад, H_2SO_4 легко переводить у розчин малахіт, а сульфідні мінерали не реагують з H_2SO_4:

$$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2 + 2H_2SO_4 = 2CuSO_4 + CO_2\uparrow + 3H_2O.$$

Сірчана кислота взаємодіє з міддю і одночасно з мінералами заліза. Тому в розчинах збирається сульфат заліза $Fe_2(SO_4)_3$, який може вступати в реакцію з сульфідами міді:

$$CuS + Fe_2(SO_4)_3 = CuSO_4 + 2FeSO_4 + S.$$

Із одержаного розчину мідь висаджують залізним скрапом за реакцією:

$$CuSO_4 + Fe = FeSO_4 + Cu\downarrow.$$

Після виділення осаду розчин повертають на вилуговування. Закисне залізо в них окислюється киснем повітря до Fe^{3+}, яке знову розчиняє мінерали міді з утворенням цементної міді. Одержану при цьому мідь переплавляють та рафінують.

Вилуговування сполук $Fe_2(SO_4)_3$ може відбуватися також природним шляхом у результаті збирання води в гірських джерелах. При природному вилуговуванні сульфату заліза сірчана кислота утворюється за рахунок гідролізу солей заліза за реакцією:

$$Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O = 2Fe(OH)SO_4 + H_2SO_4.$$

Із джерельних вод, які відкачують, мідь висаджують також залізом.

Вилуговування міді солями амонію використовують для переробки окислених і самородних руд. Окислені мінерали легко утворюють розчинні комплексні сполуки з аміаком. Мідь вилуговують шляхом пропускання через шар руди розчину вуглекислого амонію з аміаком. При цьому окислена мідь розчиняється за реакцією:

$CuO + 2NH_4+ + 2NH_4OH = Cu(NH3)_4^{2+} + 3H_2O$.

Амонійний комплекс $Cu(NH3)_4^{2+}$ розчинює металеву самородну мідь. При цьому утворюється одновалентна мідь:

$Cu(NH3)_4^{2+} + Cu = 2Cu(NH_3)_2^{+}$. У присутності амонійних солей комплекс одновалентної міді окислюється киснем повітря і знову стає розчинником для міді:

$2Cu(NH_3)_2^{+} + 2NH_4^{+} + ½O_2 + 2NH_4OH = 2Cu(NH_3)_4^{2+} + 3H_2O$.

Після накопичення міді в розчині при вилуговуванні та продувці її повітрям аміачні комплекси розкладають за допомогою пари:

$Cu(NH_3)4CO_3 = CuO + 4NH_3 + CO_2↑$.

Мідь одержують плавленням осаду, який випав, разом із вугіллям, а газоподібні аміак і CO2 повертають на вилуговування:

$CuO + C= Cu + CO↑$.

Гідрометалургійним способом одержують біля 10-12% міді від її загального об’єму. Головним недоліком гідрометалургії є неможливість разом із міддю видаляти золото та срібло, які присутні майже в усіх мідних рудах.

3.2.2 Пірометалургійний спосіб одержання міді

Технологія пірометалургійного виробництва міді передбачає збагачення руди й одержання концентрату. Потім концентрат випалюють для зниження в ньому вмісту сірки й часткового переведення сульфідів міді та заліза в оксиди. Після випалювання з концентрату одержують багатий на мідь розплав сульфідів (штейн). Потім штейн продувають повітрям у горизонтальному конвертері й одержують чорнову мідь, яку рафінують за схемою (рис. 3.4). Із багатих на мідь рудних концентратів можна виплавляти штейн без попереднього випалювання сірки з нього.

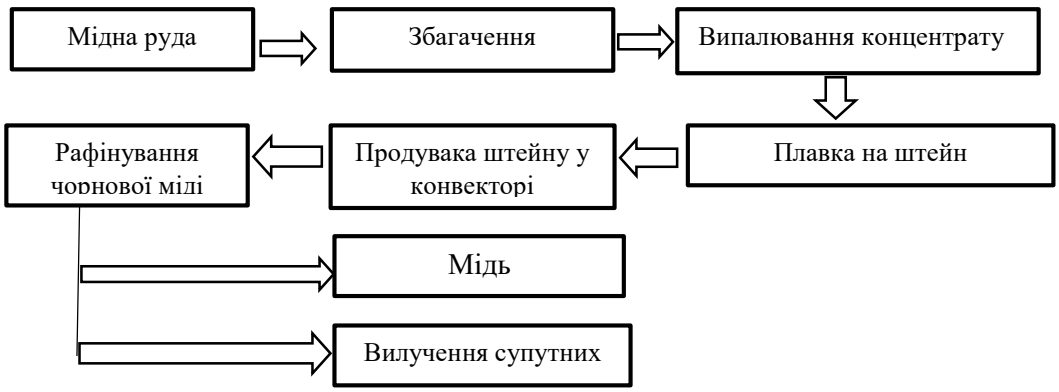


Рис. 3.4 Схема пірометалургійного процесу одержання міді

Збагачення руд та випалювання мідного концентрату

Уміст міді в звичайних рудах складає 0,7-2%. Руди з більшою концентрацією міді трапляються рідко. Головні запаси – це сульфідні руди, а також колчедан. Збагачування сульфідних руд проводять шляхом флотації, у результаті якої одержують концентрати, що можуть містити до 55% міді. У більшості випадків одержують концентрати зі вмістом міді від 11 до 35%. Вилучення міді з таких концентратів складає 80-95%. Після збагачення комплексних руд із них можна вилучати інші супутні цінні елементи. Для цього застосовують селективну флотацію, яка дає змогу послідовно вилучати частки різних металів.

Процес випалювання руд використовують також для одержання бідних концентратів із кількістю міді в них 8-25%. При випалюванні з руди видаляється сірка внаслідок її окиснення. Сірку, що при цьому виділяється у вигляді SO2, використовують для виробництва H_2SO_4.

Сульфіди при нагріванні полум'ям згоряють із виділенням тепла за реакцією:

$$2MeS + 3O_2 = 2MeO + 2SO_2\uparrow + Q.$$

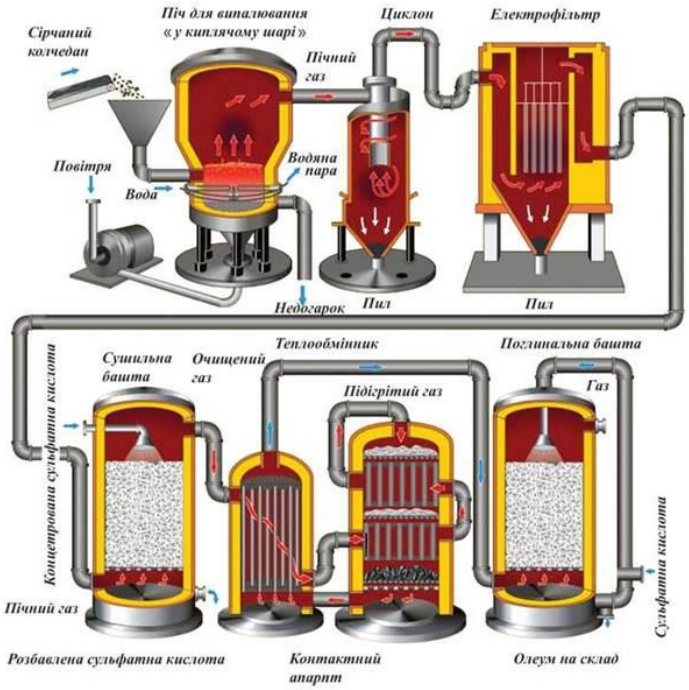


Рис.3.5 Схема виробництва сульфатної кислоти

У процесі випалювання подрібнені часточки сульфідів окислюються повітрям, яке потрапляє в піч (*рис*. 3.5) крізь отвори в поді. Під тиском повітря сульфідні часточки перебувають у безперервному русі й утворюють «киплячий» шар. По мірі випалювання концентрату збільшується товщина шару оксидів, що

ускладнює проникнення газів через нього. У результаті цього горіння сульфідів затухає і може зовсім припинитися. Для інтенсифікації процесу горіння сульфіди необхідно випалювати у вигляді шматочків малого розміру.

Температура відпалювання сульфідних мінералів різна. Середній розмір сульфідних часток у мідному концентраті після флотації складає 0,07 мм. Головною складовою таких часток, що горить, є пірит, вміст якого в них досягає 40-50%. При згоранні 1 кг піриту до Fe_2O_3 виділяється 6749,4 Дж (1607 ккал) тепла, якого достатньо для випалювання концентрату. У зв'язку з цим для роботи печей не потрібно багато палива, а сам процес випалювання концентрату є порівняно дешевим.

Концентрат руди подається з одного боку печі, а з іншого виходить так званий «недогарок». Шихта добре перемішується у випалювальній печі й попередньо нагрівається теплом від горіння сульфідів. Сірчисті гази, що виходять із печі, очищають від пилу й спрямовують на виробництво H_2SO_4. При нагріванні під час випалювання мінерали міді та заліза суттєво змінюють склад із утворенням простих сульфідів і парів сірки:

$$2FeS_2 = 2FeS + S_2\uparrow;$$

$$4CuS = 2Cu_2S + S_2\uparrow;$$

$$4CuFeS_2 = 2Cu_2S + FeS + S_2\uparrow;\ 2Cu_5FeS_4 = 5Cu_2S + 2FeS + \tfrac{1}{2}S_2\uparrow.$$

Для випалювання мідних концентратів використовують також багатоподові (до 10 робочих подів) печі з механічним перемішуванням шихти. Максимальна температура (850°С) у таких печах досягається на середніх подах. Випалювальні печі мають мінімум один под для перемішування шихти. Зовнішній діаметр таких печей складає 6,5 м, висота – до 10 м. Концентрат, що переміщується зверху вниз по подам випалювальної печі, нагрівається до температури, за якої настає горіння

3.2.3 Сплави на її основі міді

Для сучасної техніки найбільш важливі деякі особливі властивості міді: висока електро- і теплопровідність, а та-кож міцність, в'язкість, висока корозійна стійкість. За рік у світі виробляють 3–5 млн тонн міді. Світові запаси міді невеликі і становлять близько 100 млн. тонн. Зараз з відходів виробництва одержують більше міді, ніж виплавляють з руди. Близько половини всього річного виробництва чистої металевої міді йде на виготовлення дротів та інших струмопровідних виробів. За

електропровідністю мідь лише не набагато поступається сріблу, за-лишаючи далеко позаду всі інші метали. Наведемо провідність деяких металів: срібло – 66,7 м/Ом мм^2; мідь – 60,1 м/Ом мм^2; алюміній – 37 м/Ом мм^2; залізо – 10,2 м/Ом мм^2. Будь-які домішки в міді, навіть срібло, погіршують її електропровідність. У залежності від призначення випускають різні марки міді чистотою від 99,99 до 99,50%Cu.

Межа міцності чистої міді у відпаленому стані стано-вить 200–240 Н/мм^2. У результаті холодної деформації (на-клепу) мідь значно міцніє, і залежно від ступеня наклепу її міцність може досягати 380 Н/мм^2. Міцність і корозій-ну стійкість міді можна істотно поліпшити шляхом легу-вання.

За характером взаємодії домішок із міддю їх можна поділити на три групи:

- домішки, що утворюють з міддю тверді розчини: Zn, Sn, Al, Ni, Fe, P, Sb, As та ін. Елементи Pb і Bi мають дуже малу розчинність у мі-ді. Вони утворюють із міддю легкоплавкі евтектики з евте-ктичними температурами відповідно 600 і 543 К. Евтекти-ка виділяється за межею зерен і викликає червоноламкість міді при високих температурах обробки.

- домішки O і S утворюють із міддю крихкі хімічні сполуки Cu_2O і Cu_2S. Наявність закису міді обумовлює «водневу хворобу» міді при нагріванні в атмосфері, що мі-стить водень. Останній, дифундуючи через метал, вступає в хімічну реакцію із киснем закису міді $2H + Cu_2O = 2Cu + H_2O$. Молекули води накопичуються в порах, створюючи високий тиск і утворення мікротріщин.

– мідь слабко окиснюється у повітрі, у морській воді та в інших агресивних середовищах, але має погану стій- кість у сірчистих газах і аміаку. Дуже активно взаємодіє з азотною кислотою. Найважливішими легувальними елементами в мідних сплавах є цинк, олово, алюміній і нікель.

Розрізняють дві групи мідних сплавів:1) латуні – сплави міді з цинком; 2) бронзи – сплави міді з оловом, алюмінієм, кремнієм, берилієм та іншими елементами.

3.2.4 Латунь

Сплави міді з цинком мають загальну назву «латунь». На рис. 3.6 зображена діаграма рівноваги Cu-Zn, яка складається з п'яти перитектичних ділянок.

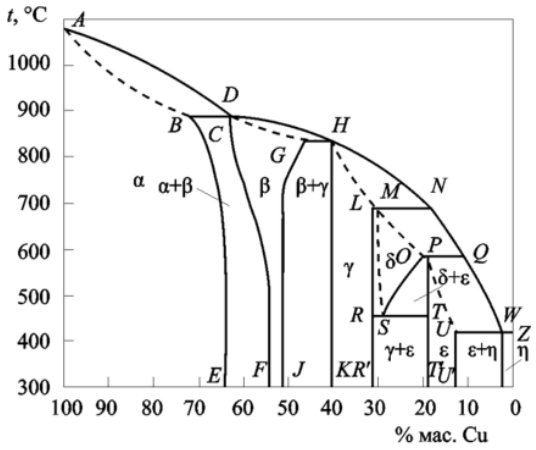


Рис. 3.6 діаграма рівноваги Cu-Zn

У цій системі у твердому стані можливе утворення таких шести фаз: 1) α-твердий розчин цинку в міді. Розчинність цинку в міді при кімнатній температурі становить 39 %. Вона практично не змінюється до температури 727 К і спадає до 32 % при 1175 К;

2) β-твердий розчин на базі сполуки CuZn з електрон-ним типом зв'язку (число електронів/число атомів = 3/2) має ОЦК- ґратку. Тут можливе утворення упорядкованої фази β' при температурах, менших від 727–741 К. При більш високій температурі атоми міді і цинку в ОЦК ґратці розподіляються статистично;

3) γ-твердий розчин на базі сполуки Cu_5Zn_8 електрон-ного типу (21/13) має складну кубічну ґратку. Температура упорядкування цієї фази дорівнює 543 К;

4) ε - твердий розчин на базі сполуки $CuZn_3$ електрон-ного типу (7/4) з ГЩУ – структурою;

5) δ - твердий розчин; природа хімічної сполуки, що лежить в основі цього твердого розчину, не встановлена; 6) η-твердий розчин міді в цинку.

Практичне застосування мають мідні сплави із вмістом цинку до 45 %, що складаються з α-кристалів, або є сумі-шшю α- і β-кристалів. Механічні властивості сплавів Cu-Zn залежно від вмісту цинку показані на рис.3.7. Цинк під-вищує міцність і пластич-ність сплаву. Максимальну пластичність має сплав міді із 30 %Zn. Перехід через межу однофазної області (39 %Zn) різко знижує пла-стичність; β-латунь має ма-ксимальну міцність (σв– 412 Н/мм^2) при віднос-но низькій для латуней пластичності (δ = 7 %); γ-латунь є досить крихкою. Через зазначені обставини (мала пластичність) не тільки γ- і γ+β-, але і β-латуні не мають практичного застосування.

Ливарні властивості латуней визначаються взаємним розташуванням ліній ліквідуса і солідуса. Завдяки тому, що лінії ліквідуса і солідуса для кристалізації α- і β-фаз лежать близько одна від одної, ливарні властивості лату-ней характеризуються низькою здатністю до ліквації, гар-ною текучістю, здатністю до утворення концентрованої усадкової раковини.

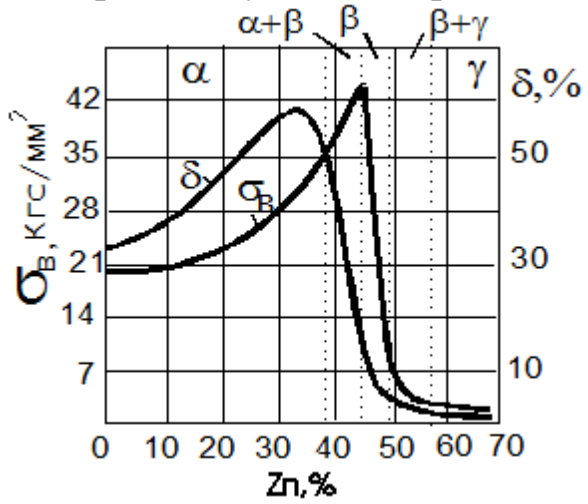


Рисунок 3.7 – Механічні вла-стивості сплавів Cu-Zn

Латунь легко піддається пластичній деформації і тому з латуней виготовляють катаний напівфабрикат (листи, стрічки, профілі і таке ін.).

Крім простих латуней-сплавів, застосовують спеціаль-ні латуні, в яких для одержання тих чи інших властивостей додатково вводять різні елементи: свинець для поліпшення оброблюваності (автоматна латунь), олово для підви-щення опору корозії в морській воді (морська латунь), алюміній і нікель для підвищення механічних властивос-тей тощо. Міцність спеціальних латуней може досягати 800 Н/мм2, що удвічі більше, ніж у звичайній вуглецевій сталі.

Раніше латунь широко використовували в художніх ремеслах і для виготовлення наукових приладів. Сьогодні латунь використовують як конструкційний матеріал там, де потрібні висока міцність і корозійна стійкість: у трубоп-ровідній арматурі, у хімічному машинобудуванні і особли-во в суднобудуванні.

3.2.5 Бронза (олов'яниста)

Бронза – цезбірна назва іншої великої групи мідних сплавів. Найпростіші з них олов'янисті бронзи, відомі ще з бронзового віку. Колись бронзи одержували назви залежно від їхнього призначення: дзвонова (20–30 %Sn), дзеркальна (30–35 %Sn), монетна (4–10 %Sn),

гарматна (8–18 %Sn). У наш час бронзи розрізняють за хімічним складом.

Діаграма Cu-Sn, як і Cu-Zn являє собою комбінацію декількох перитектичних діаграм (рис. 3.8). У системі Cu-Sn у твердому стані можливе утворення таких фаз: α-твердий розчин олова в міді; Sn – майже чисте олово. Ро-зчинність міді в олові менше 0,01 % і на діаграмі не за-значена; β-твердий розчин на базі β-електронної сполу-ки Cu5Sn. Пунктирна лінія показує процес упорядкування; δ-електронна сполука $Cu_{31}Sn_8$; γ-твердий розчин на базі хімічної сполуки міді та олова, кристалічна структура його подібна δ; ε - електронна сполука Cu_3Sn; η – хімічна спо-лука Cu_6Sn_5.

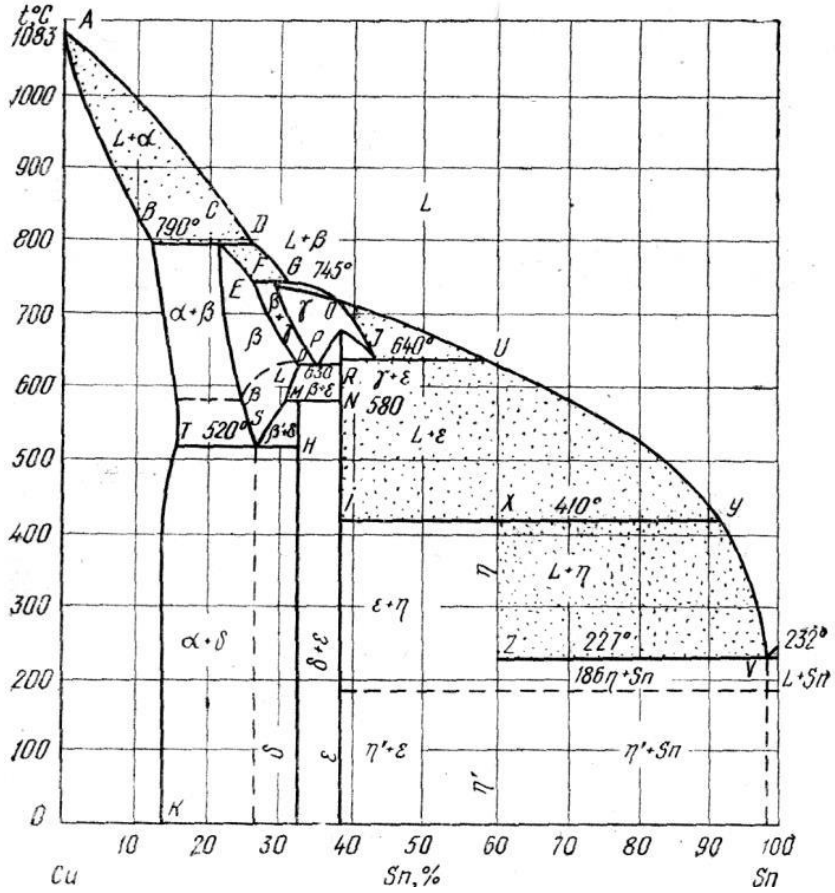


Рис. 3.8 Діаграма стану системи Cu-Sn

Структура литих мідно-олов'яних сплавів значно від-хиляється від рівноважного стану, тому вже у сплавах, що містять 5 % Sn і більше, у литому стані наявна δ-фаза у вигляді евтектоїдної складової (евтектоїд утворюється при 793 К (520 ^{0}C) і має концентрацію 26,8 % Sn).

Відпалена бронза з вмістом до 14 % Sn повинна скла-датися за структурою з однорідного α- твердого розчину. У литому ж вигляді структура бронзи, що містить до 5–6 % Sn, складається з неоднорідного твердого α-розчину, що має, як у литого металу,

дендритну будову (рис. 3.9). При вмісті олова більше 6 % поряд із неоднорідним α-розчином усередині ділянок цього розчину, збагаченого оловом (сві-тлих ділянок) розміщується евтектоїд α+δ.

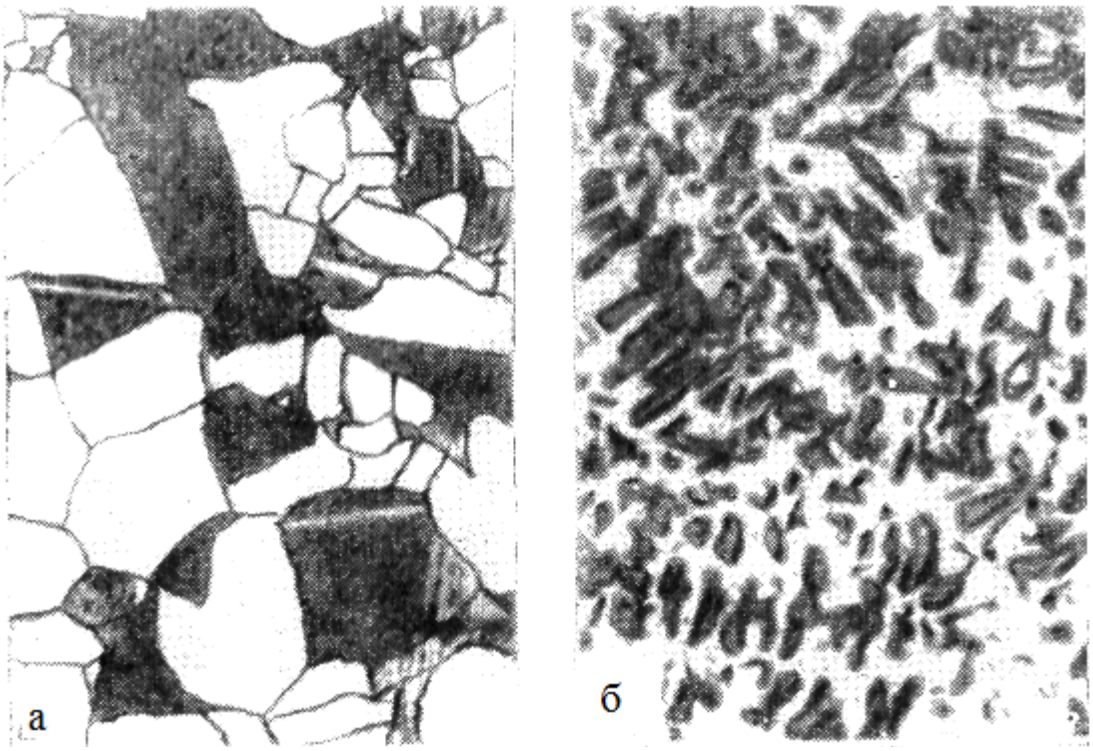


Рисунок 3.9 – Структура литої бронзи з 6% Sn:
а) після відпалювання; б) до відпалювання.(Х 200)

Наявність крихкої δ-фази виключає можливість прока-тування тому, за винятком бронзи, що містіть невелику кі-лькість олова (застосовуваних рідко), бронза, як правило, містить більше 5–6 % Sn, не прокочується і не кується і її застосовують лише у литому вигляді.

Високі ливарні властивості бронзи визначаються виня-тково малою усадкою, що мають бронзи. Усадка олов'я-нистої бронзи менше 1 %, тоді як усадка латуней і чавуну близько 1,5 %, а сталей – більше 2 %. Найбільш складні за конфігурацією виливки (у тому числі художнє лиття), як правило, виготовляють із бронзи.

3.2.6 Сплави міді з алюмінієм, кремнієм, берилієм та іншими елементами

Сплави міді з алюмінієм, кремнієм, берилієм та іншими елементами також називаються бронзою. На відміну від олов’янистої її називають відповідно алюмінієвою, кремнистою тощо. Вона перевершує олов’янисту бронзу за механічними властивостями (алюмінієва, кремниста бронза), за хімічною стійкістю (алюмінієва бронза), за

рідкотекучістю (кремнієцинкова бронза), але поступається щодо ливарних властивостей. Олово – це дефіцитний елемент, тому ці бронзи, крім, берилієвої, дешевші від олов'янистої.

Алюмінієві бронзи. Вміст алюмінію у сплавах не перевищує 11 %. Сплави, що містять до 9 % А1, однофазні і складаються лише з α-твердого розчину алюмінію в міді. При вмісті алюмінію більше 9 % у структурі з'являється евтектоїд $\alpha + \gamma'$ (γ' – електронна сполука Cu32A19). Фаза α пластична, але міцність її невелика. Двофазні сплави $\alpha + \gamma'$ мають підвищену міцність, але їх пластичність помітно нижча. Часто алюмінієві бронзи додатково легують Ni, Mn, Fe та ін.

Алюмінієві бронзи добре чинять опір корозії в морській воді і тропічній атмосфері, мають високі механічні й технологічні властивості. Однофазні бронзи, які мають ви-соку пластичність, застосовують для глибокого штампу-вання виробів. Двофазні бронзи піддають гарячій дефор-мації або застосовують у вигляді фасонного лиття.

Кремнисті бронзи.При легуванні міді кремнієм (до 3,5 %) підвищуються міцність, а також пластичність. Ні-кель і марганець поліпшують механічні і корозійні власти-вості кремнистих бронз. Ці бронзи легко обробляються ти-ском, різанням і зварюються. Завдяки високим механічним властивостям, пружності і корозійній стійкості їх застосо-вують для виготовлення пружин і пружних деталей прила-дів і радіоустаткування, що працюють при температурі до 523 К, а також в агресивних середовищах (прісна, морська вода).

Берилієва бронза.Сплав із 2 % Ве, як видно з діаграми, наведеної на рис. 12.8, такий, що дисперсійно твердне. Роз-чинність берилію в міді при кімнатній температурі не пере-вищує 0,2 %, але загартування з 1073 К фіксує пересичений α- розчин. Якщо загартований сплав піддати потім штучному старінню при 573–623 К, то твердість матеріалу підвищуєть-ся до НВ350–400 (твердість за Бринелем).

Висока міцність, пружність, хімічна стійкість, гарна зварюваність, можливість оброблення різанням роблять берилієву бронзу найбільш прийнятним мате-ріалом для створення відповіда-льних пружин, мембран, пруж-них контактів.Крім того, берилієву бронзу можна застосову-вати для виготовлення безіскрових інструментів. Удар берилієвої бронзи об метал або камінь не дає іскри, як сталь. Тому інструмент із берилієвої бронзи застосовується під час роботи в умовах вибухоне-безпечних гірських робіт.

Свинцеві бронзи. Свинець практично не розчиняється в рідкій міді. Тому такі сплави після твердннення складаються з кристалів міді і включень свинцю. Подібна структура бронзи забезпечує її високі антифрикційні властивості. Це дає можливість широкого застосування бронзи складу Cu–30 %Pb для виготовлення вкладок підшипників ковзання, що працюють на великих швидкостях і при під-вищених тисках. Порівняно з олов'янистою підшипниковою бронзою теплопровідність сплаву Cu–30 %Pb у 4 рази більша, тому цей сплав добре відводить теплоту, яка утворюється при терті.

3.3. Виробництво магнію

Магній легкий метал, який в земній корі серед інших металів займає третє місце після алюмінію і заліза.

В 1695 р. один алхімік випарував епсомську мінеральну воду (курортне місце Епсом поблизу Лондона) і отримав в осаді сіль. Цю саму сіль він виявив в воді інших мінеральних джерел і це був гідратований (включаючий воду в кристалах) сульфат магнію $MgSO4\ 7H_2O$.

Іншу магнієву сіль (основний карбонат магнію) найшли на початку XVIII сторіччя і застосовували в медицині. Свою назву magnesia alba (біла магнезія) вона отримала від античного міста Магнезія (нині – Маніза в Турції).

Англійський хімік Хємфрі Деві (1778-1829) передбачив, що це з’єднання є окисел металу, який він назвав магнієм. “Біла магнезія” виявилась не окислом, але це дійсно було з’єднання металу. Х. Деві в 1808 р. приготував магнієву амальгаму (сплав магнію з ртуттю), але не відомо чи вдалось йому отримати магній із амальгами.

Перші грами чистого магнію вдалось отримати французькому хіміку Бюссі в 1829 р., а велика кількість нового металу – магнію була представлена на Лондонській всесвітній виставці 1862 р.

В XX сторіччі людство отримало можливість познайомитись з іншими властивостями цього металу. Магній і його сплави стали широко застосовуватись в запальних бомбах, і в роки другої світової війни міліони таких бомб були скинуті на міста країн, які воювали. Потім з’явились нові засоби масового знищення – напалмові бомби з оболонкою із магнієвих сплавів.

Магній – найбільш легкий з кольорових технічних металів – (у = 1,75 г/см^3), не має алотропічних перетворень. Температура плавлення магнію 650 °С. Технічно чистий магній має низькі механічні

властивості (σ_B = 180 МПа, δ = 5 %, твердість 30 НВ), схильний до самозапалювання, тепло- та електропровідність його низькі. Використовується в техніці у вигляді сплавів. До складу магнієвих сплавів входять A1, Zn, Mn, Zr. При цьому міцність зростає до 200...450 МПа. Сплави магнію поділяють на: деформівні; ливарні.

Деформівні магнієві сплави призначені для виготовлення напівфабрикатів (пруток, лист, профіль) обробкою тиском. За нормальних температур магній деформується погано. Для підвищення пластичності його сплавів застосовують обробку тиском при 360-520 °С залежно від марки сплаву. Такі сплави маркують літерами МА і цифрами (МА1, МА2-1, МА14), які означають порядковий номер сплаву.

Сплав МА1 (містить 1,3-2,5 % Mn) має хорошу технологічну пластичність, зварюваність і корозійну стійкість. Відноситься до сплавів низької міцності. Додаткове легування його иезієм, приблизно 0,2 % (МА8), подрібнює зерно, підвищує механічні властивості та здатність до холодної деформації. Сплав МА2-1 належить до системи Mg – A1 – Zn, має досить високі механічні властивості і технологічну пластичність. Піддається всім видам листового штампування та прокатування. З деформованих магнієвих сплавів (МА) виготовляють деталі літаків, автомобілів і прядильних верстатів.

Ливарні магнієві сплави використовують для виготовлення деталей методом лиття. їх маркують літерами МЛ і цифрами, що означають порядковий номер сплаву (МЛ5, МЛ16, МЛ1-10, МЛ-12). Наприклад, сплави MJ15 і MJ16 належать до системи Mg – A1 – Zn. Найпоширенішим з цієї групи сплавів є МЛ5 (7,5-9 % A1; 0,2-0,8 % Zn; 0,15-0,5 % Мп). Виливки з магнієвих сплавів іноді піддають гартуванню з наступним старінням. Деякі сплави МЛ застосовують для високонавантажених деталей авіаційної промисловості (картери, корпуси приладів, форми шасі тощо). З огляду на низьку корозійну стійкість магнієвих сплавів вироби з них піддають оксидуванню з наступним нанесенням на них лакофарбових покриттів.

Існують два способи одержання металевого магнію: термічний і електролітичний. В основі першого способу лежить відновлення оксиду магнію вуглецем або кремнієм, а другого – електроліз розплавленого хлористого магнію $MgCl_2$. Більш розповсюджений електролітичний спосіб виробництва металевого магнію. Він складається з двох основних процесів: одержання хлористого магнію з вихідної сировини і його електролізу.

Хлористий магній одержують випалом магнезиту або доломіту і хлоруванням оксиду магнію, що утворився, при 800 – 900°С в присутності відновлювача (вуглецю):

$$MgCO_3 = MgO + CO_2;$$

$$MgCO_3 \cdot CaCO_3 = MgO + CaO + 2C0_2;$$

$$MgO + Cl_2 + C = MgCl_2 + CO.$$

Електроліз розплавленого хлориду $MgCl_2$ виробляється в електролізерах, що представляють собою герметизовані ванни прямокутної форми із шамотної футеровкой. Аноди виготовляють із графіту, катодами служать дві сталеві пластини. Замість електроліт використовують розплав хлористих солей $MgCl_2$, NaCl, KCI, $CaCl_2$, що містить 7 – 15 % $MgCl_2$. Анодний простір відділений від катодного вогнетривкою перегородкою. Після відновлення магній і хлор не повинні взаємодіяти; це привело б до згоряння магнію в хлорі: $Mg + Cl_2 = MgCl_2$,

Після електролізу магній містить домішки. Його піддають рафінуванню, що здійснюють переплавлянням у тигельних печах з флюсами або сублімацією. Рафінований метал, що містить не менш 99,9% Mg, розливають у чушки на розливливній машині. При розливанні струмінь магнію охороняється від окислювання шляхом запилення металу порошком сірки.

3.4 Виробництво титану

Титан – сріблясто-сірий метал з температурою плавлення 1672 °С, з малою питомою вагою (у =4,5 г/см^3) і високою корозійною стійкістю належить до перехідних металів четвертої групи періодичної системи елементів. Міцність титану $\sigma_B \sim 270$ МПа, пластичність $\delta \sim$ -2 5 % , твердість 100-140 НВ. Міцність технічно чистого титану залежить від чистоти металу. Домішки вуглецю, кисню, водню знижують його пластичність, опір корозії і зварюваність. Особливо шкідливими є домішки водню. Механічні властивості технічно чистого титану (марки ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1) знаходяться на рівні властивостей звичайних конструкційних сталей. З нього виготовляють катані і пресовані труби, лист, дріт, поковки. Він добре зварюється, має високі механічні характеристики, корозійну стійкість і жароміцність, але важко обробляється різанням, має низькі антифрикційні властивості.

Легування титану певними елементами дозволяє значно підвищити його механічні (σ_B >1500 МПа, δ = 10...15%) та спеціальні властивості.

Так, Al підвищує жароміцність і механічні властивості титану, V, Mo, Cr, Mn – жароміцність.

Титан є поліморфним металом і існує у двох алотропічних модифікаціях – α і β. Температура поліморфного перетворення дорівнює 882,5 °С. Нижче цієї температури титан має гексагональну кристалічну гратку, а вище – гратку об'ємноцентрованого куба. Легуючі елементи, які входять до складу промислових титанових сплавів, утворюючи з титаном тверді розчини заміщення, змінюють температуру поліморфного перетворення α і β. Такі елементи, як A1, O, N підвищують температуру перетворення, розширюють область існування а -твердого розчину на діаграмі стану (α-стабілізатори); елементи Mo, V, Nb, Cr, Mn, Fe знижують температуру α і β перетворення (β -стабілізатори). Крім α і β -стабілізаторів, розрізняють також нейтральні зміцнювачі Sn, Zr, Hf, які помітно не впливають на температуру перетворення.

Залежно від структури у рівноважному стані титанові сплави поділяють на а-сплави (однофазні) і β -сплави (двофазні). Так, основними промисловими сплавами титану зі структурою α і β є ВТ5 (4,5...5 % A1; 3,5...4,5 % V), ВТ8 (5,8...6,8 % A1; 2,8...3,8 % Mo). За технологічним призначенням їх поділяють на ливарні і такі, що піддаються деформуванню.

За міцністю титанові сплави поділяють на три групи:

- низької міцності з σ_B = 300-700 МПа (ВТ1);
- середньої – σ_B = 700-1000 МПа (ВТЗ, ВТ4, ВТ5);
- високої міцності з σ_B >1000 МПа (ВТ6, ВТ14, ВТ15) після гартування та старіння.

Титанові сплави можна піддавати всім основним видам термічної обробки, а також хіміко-термічній обробці, змінюючи їхні властивості у потрібному напрямку. Наприклад, механічні властивості сплаву ВТ5 після відпалювання при 750 °С становлять: σ_B = 750-900 МПа, δ = 10...15 %, твердість 240-300 НВ. Сплав ВТ8 після гартування від 900 °С і старіння при 500 °С має міцність σ_B = 1000...1150 МПа, пластичність δ = 3...6%, твердість 310-350 НВ, а сплав ВТ14 відповідно σ_B = 1150-1400 МПа, σ = 6...10 %, твердість 340-370 НВ. Ливарні сплави мають більш низькі механічні властивості порівняно з аналогічними деформованими. Для лиття використовують сплави, що відповідають хімічному складові сплавів ВТ5, ВТ14, маркують їх з доданням літери Л (ВТ5Л, ВТ14Л), або спеціальні ливарні сплави.

Титан та його сплави використовують в авіації та ракетобудуванні, хімічній промисловості, суднобудуванні і кріогенній техніці.

Процес одержання технічного титана складається з: 1) збагачення руди й одержання діоксида титана; 2) одержання чотиртхлористого титана; 3) відновлення титана й одержання титанової губки; 4) переплавляння титанової губки в злитки.

Основними вихідними рудами для виробництва титана є ільменіт $FeO \cdot TiO_2$ (38–61 % TiO_2) і рутил (91–99 % TiO_2). Перед переробкою руди збагачують звичайним методом. Після відновлюючої плавки в електродугових печах з додаванням в шихту матеріалів, які мають вуглець, відділяють основну масу заліза і отримують достатньо чистий діоксид титана.

3.5 Антифрикційні сплави

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

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

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

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

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

Олов'яно-свинцеві бабіти містять не більше 17% олова. М'якою основою у них є твердий розчин олова, сурми та міді у свинці. Бабіт Б16 крихкіший за Б83, тому замінює його у спокійних умовах роботи:

у підшипниках електровозів, паровозів, парових машин, гідротурбін тощо. Найдешевшим з бабітів є бабіт БС6; його застосовують у підшипниках нафтових двигунів, металообробних верстатів, а також для ударно-навантажених підшипників автотракторних двигунів. Ще дешевшими с свинцеві бабіти з кальцієм і натрієм (БКА, БК2). Ці бабіти використовують у підшипниках трамваїв і залізничних вагонів, у гірничодобувних машинах тощо.

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

До антифрикційних сплавів з м'якою основою належать також олов'янисті та олов'янисто-цинково-свинцевисті бронзи. Це, наприклад, бронзи БрО1ОФ1, БрО10Ц2, БрО5Ц5С5, БрО6Ц6С3. Із них виготовляють підшипники ковзання електродвигунів, компресорів, що працюють при значних тисках і середніх швидкостях ковзання.

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

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

Розділ 4. Основні технології ливарного виробництва

4.1 Загальні поняття ливарного виробництва

Основними способами виготовлення металевих заготовок є обробка маталів різанням, обробка тиском і лиття. Деталі складної конфігурації також можна отримувати зварюванням, пайкою і склеюванням, які отримані попередньо литтям і обробкою тиском. А також отримання заготовок і деталей машин та механізмів за допомогою методів порошкової металургії. Лиття – універсальний і один із самих поширених процесів отримання заготовок, або деталей, які максимально наближені по конфігурації і розміром до готової деталі. Ливарним виробництвом називають процес отримання деталей або заготовок шляхом заливки розплавленого металу в форму, порожнини яких відповідають конфігурації і розмірам останньої. Після затвердіння металу форми руйнуються або розкриваються і виймаються вилиті деталі, які називаються виливками. Кінцеві розміри деталей, як правило, отримують після механічної обробки. Литтям отримують різні конфігурації виливок масою від декількох грамів до 300 т, довжиною від декількох см до 20 м, товщиною стінки 0,5...500мм. При литті практично відсутні обмеження по складності конфігурації виливок. В багатьох випадках лиття є єдиним способом виготовлення необхідних деталей. Особливо це відноситься до деталей великих розмірів, маси і складної конфігурації, а також до малопластичних сплавів (чавун), які не піддаються обробці тиском (кування, штампування). Доля деталей, які виготовляються литтям складає в середньому 40...50% Більша частина виливок виготовляється литтям в пісчано – глинисті разові форми. Але в деяких випадках ці виливки не задовольняють вимогам, які до них ставляться (низька чистота поверхні, неможливість отримання тонкої стінки тощо). Тому застосовують спеціальні види лиття: лиття в оболонкові (коркові) форми, лиття за виплавленими моделями, лиття в кокіль, лиття під тиском, відцентрове лиття тощо. Кожен із перерахованих видів лиття має свої недоліки і переваги.

4.2 Ефективність використання металу при литті по зрівнянню з іншими видами обробки металів

Ефективність використання металу при литті порівняно з іншими видами обробки металів визначаються двома коефіцієнтами: коефіцієнтом виходу готових виливок (Кв.в); коефіцієнтам

використання металу (Кв.м). Витрати металу оцінюються по коефіцієнту виходу готових виливок, які вимірюються в відсотках.

Збільшення цього коефіцієнта зменшує витрати металу, формувальних і модельних матеріалів, електроенергії, підвищує продуктивність праці і знижує собівартість виготовлення виливок. Ефективність вибраного методу лиття характеризується коефіцієнтом використання металу.

Коефіцієнт використання металу при литті в разові пісчано – глинисті форми становить 0,75...0,95, при спеціальних видах лиття 0,9...0,95. Спеціальні види лиття мають наступні значення коефіцієнтів виходу готових виливок і коефіцієнтів використання металу: при литті в оболонкові форми Кв.в≈80%, Кв.м=0,9 ; при литті за виплавленими моделями Кв.в≈80%, Кв.м≈0,8; при литті в кокіль Кв.в=75...80%; при литті під тиском Кв.в=90%, Кв.м≈0,99; при відцентровому литті Кв.в=100%, Кв.м=0,8.

Усадка ливарних сплавів та припуск на механічну обробку

Розрізняють лінійну та об'ємну усадку. Під лінійною усадкою розуміють зменшення розмірів виливки порівняно з розмірами форми, яке проходить в процесі затвердіння і охолодження металу. Розміри моделі повинні бути більші розмірів виливки на величину лінійної усадки. На лінійну усадку впливає склад сплаву і температура його заливання. Сірий чавун зменшує усадку із збільшенням вмісту вуглецю і кремнію. Усадку алюмінієвих сплавів зменшує підвищений вміст кремнію. Усадку виливок зменшує зниження температури заливання металу. Збільшення швидкості відводу тепла від залитого в форму сплаву приводить до збільшення усадки виливки. Середнє значення ливарної усадки для сірого чавуну становить 1..1,3%, для сталі – 2...2,5%, для бронзи – 1,4...2,5%, для алюмінієвих сплавів – 0,9...1,2%, для високолегованих сталей – 2,5%, для латуні – 1,3...1,8%, для цинкових сплавів – 0,9...1,2%, для магнієвих сплавів – 1,0...1,6%, для титану та його сплавів – 1,5...2,3%. Об'ємна усадка. Під об'ємною усадкою розуміють зменшення об'єму сплаву при його охолодженні в ливарній формі при формуванні виливки.

Усадка у виливках проявляється у вигляді дефектів виливок (раковин, пористостей, тріщин та короблення).

Припуск на механічну обробку.

Під припуском на механічну обробку розуміють шар металу, який необхідно зняти щоб перейти від виливки до деталі, розміри якої вказані на кресленні. Величина припусків на механічну обробку після

лиття залежить від розмірів і точності виготовлення виливки, чистоти механічної обробки, розміщення частини виливки, яка обробляється у формі, а також від складу сплаву із якого відливається заготовка. Для виливок із сірого чавуна припуски на обробку знаходяться у межах від 2 до 24 мм, для сталевих виливок від 3 до 33 мм на сторону.

4.3 Дефекти виливок

Основною причиною дефектів виливок є ливарна усадка металу. До основних дефектів відносяться усадкові раковини, усадкова пористість, тріщини (холодні і гарячі), короблення, газові раковини і газова пористість.

Усадкові раковини

Під усадковими раковинами розуміють відкриті або закриті порожнини в більш масивних місцях тіла виливки, які затвердівають в останню чергу. Порожнини мають велику шорсткість поверхні з грубокристалічною будовою. Процес затвердіння проходить слідуючим чином. Спочатку біля стінок ливарної форми утворюється кірка твердого металу. Внаслідок того, що усадка розплаву металу при переході із рідкого стану в твердий перевищує усадку кірки, рівень металу в рідкій частині виливки понижується, а на кірці наростає новий твердий шар і рівень рідини знов понижується. Так проходить до тих пір, поки не закінчиться процес затвердіння. Зниження рівня розплаву металу при затвердінні приводить до утворення усадочної раковини. Найбільш інтенсивно усадкові раковини утворюються при виготовленні виливок із чистих металів, сплавів алюмінію, сплавів із вузьким інтервалом кристалізації (низьковуглицеві сталі, безолов’яснісні бронзи), при заливанні форми сильно нагрітим металом і невідповідності хімічного складу металу. На величину, форму і розміщення усадкових раковин впливає ступінь усадки даного металу, розміри виливок, способи лиття, температура металу і швидкість його охолодження в формі.

Усадкова пористість

Під усадковою пористістю розуміють накопичення порожнин у виливці у великій зоні в результаті усадки у масивних місцях виливки, які затвердівають останніми без доступу до них розплавленного металу. Близько температури солідуса кристали зростаються один з другим. Це приводить дороз’єднання вічок, які заключають у собі залишки рідкої фази. Затвердіння невеликого об’єму металу в таких вічках проходить без доступу розплаву металу від сусідніх вічок. В

кожному вічку в результаті усадки утворюється невелика усадкова раковина. Множина таких мікроусадкових раковин утворюють пористість. Ця пористість розміщується по границях зерен металу.

Появу усадкових раковин і пористості можна запобігти, якщо застосовувати спеціальні „додатки" (надставки над масивними стінками виливки) і постійно доливати рідкий метал. Завдяки цьому усадкову раковину і пористість можна перевести в зону додатку і видалити при обрубці. Також запобігти утворенню усадкових раковин і пористості дозволяє установка у ливарну форму холодильників.

Холодильники виготовляють із того ж сплаву, що і виливку і встановлюють з внутрішнього боку масивних частин виливки або всередині порожнини форми. Завдяки цьому їх можна розділити на зовнішні та внутрішні. Внаслідок високої теплопровідності і великої теплоємкості холодильників відвід тепла від масивної частини виливки проходить більш інтенсивно, чим від тонкої. Це сприяє вирівнюванню швидкостей затвердіння масивної і тонкої частини і усунення усадкових раковин і пористості.

Внутрішні холодильники частково розплавляються і зварюються з основним металом при заповненні форми сплавом.

Усадкові раковини і пористість виливок можна виявити простим оглядом обробленої поверхні і при гідравлічному іспиту виливок (під водяним тиском).

Тріщини

Поширеним дефектом виливок є тріщини. Причиною виникнення тріщин є внутрішні напруги, які виникають за рахунок нерівномірного затвердіння товстих і тонких частин виливки і усадки сплаву. Ці напруги тим вищі, чим менша піддатливість форми і стержнів. Якщо величина внутрішніх напруг більша межі міцності ливарного сплаву в даній частині виливки, то в її тілі утворюються тріщини.

Тріщини поділяються на холодні і гарячі.

Холодні тріщини – це наскрізні і ненаскрізні розриви в стінках виливок, невеликої ширини і значної довжини. Вони утворюються при низьких температурах і мають неокисленну поверхню. Виникають вони в області пружних деформацій, коли сплав повністю затвердів. Утворення внутрішніх напруг викликано тим, що тонкі частини виливки охолоджуються і скорочуються швидше чим товсті. Холодні тріщини частіше всього утворюються в тонкостінних виливках складної конфігурації. Тріщини будуть більшими чим вищі пружні властивості сплаву, чим значніше його усадка при понижених

температурах і чим нижче його теплопровідність. Ймовірність утворення холодних тріщин в виливках збільшується при наявності в сплаві шкідливих домішок (фосфору, сірки).

Також холодні тріщини з світлою поверхнею злому можуть з'являтися внаслідок механічних пошкоджень охолоджених виливок при одрубуванні, зачищенні і падінні на землю.

Для запобігання утворення у виливках холодних тріщин необхідно забезпечити рівномірне охолодження виливок по всіх перерізах шляхом використання холодильників, застосовувати сплави для виливок з високою пластичністю і проводити відпал виливок з метою знімання внутрішніх напруг.

Гарячі тріщини – це розриви в стінках виливок, які мають значну ширину і невелику довжину. Вони утворюються при високій температурі (близькій до температури солідуса) в процесі кристалізації і усадки металу при переході із рідкого стану в твердий. Гарячі тріщини проходять по межах кристалів і мають окислену поверхню. Нахил до утворення гарячих тріщин збільшується при наявності неметалевих включень, газів (водень, кисень), сірки та інших домішок. Тріщини можуть виникати в випадку недостатньої піддатливості стержнів і окремих частин форми, ранньої вибивки виливки із форми, неправильної конструкції виливки і підвищеної усадки металу. Висока температура заливки металу сприяє збільшенню зерна металевої структури і збільшенню перепаду температур в окремих частинах виливки, що збільшує ймовірність утворення тріщин.

Для запобігання виникненню гарячих тріщин в виливках необхідно створити умови, які сприяють формуванню мілкозернистої структури, забезпечити одночасне охолодження тонких і товстих частин виливок (застосування холодильників), збільшити піддатливість ливарних форм і по можливості знизити температуру заливки сплаву.

Короблення

Короблення – це зміна розмірів і конфігурації виливки під впливом внутрішніх напруг, які виникають при нерівномірному охолодженні окремих її частин. Короблення збільшується при складній конфігурації виливки, підвищення швидкості охолодження окремих частин виливки і різку усадку.

Для запобігання короблення необхідно добитися меншої різностінності виливки, для охолодження масивних її частин застосовувати холодильники, збільшувати піддатливість форми і створити раціональну конструкцію виливки.

Газові раковини і пористість

Газові раковини і пористість – це порожнини в тілі виливки, утворені повітрям або газами, які виділяються із розплавленого металу при його затвердінні або із матеріалів форми. Газові раковини можуть бути відкриті або закриті (внутрішні). Вони мають різну величину, форму і місцезнаходження в виливці. В рідкому стані метали і сплави активно поглинають значну кількість водню, кисню, азоту та інших газів із оксидів і вологи вихідних шихтових матеріалів при їх плавленні. В рідких металах і сплавах розчинність газів збільшується із підвищенням температури. Газові пухирі утворюються внаслідок того, що розчинені в розплавленому металі гази (водень, азот, кисень, окис вуглецю тощо) при охолодженні сплаву виділяються і намагаються піднятися до верху, але в сплаві , який охолоджується вони всплити не можуть і залишаються в виливці у вигляді раковини. Газові раковини, пористість знижують механічні властивості і герметичність виливок. При заливці розплавленого металу розплав може захоплювати повітря у ливникову систему, засмоктувати його через стінки каналів ливникової системи. Крім того, гази можуть проникати в метал із форми при випаровуванні вологи, яка знаходиться у формувальній суміші. Як правило газові раковини мають чисту і гладку поверхню.

Таким чином, причиною утворення газових раковин є підвищена газоутворююча здатність формувальної суміші недостатня її газопроникливість, погана вентиляція стержнів та форм, заливка форми недостатньо розкисленим металом, підвищена вологість формувальних та стержневих сумішей.

Для зменшення газових раковин і пористості у виливках плавлення металу слід вести під шаром флюсу, у середовищі захисних газів з використанням добре просушених шихтових матеріалів. Перед заливанням розплавленого металу у форму його необхідно дегазувати продуванням інертним газом.

Добавлення в рідкий сплав спеціальних розкислювачів, наприклад, феросиліція, фероалюмінія, сілікокальція сприяє видаленню газів.

Також зменшити число газових раковин і пористості можна за рахунок збільшення числа випорів, правильного підбору температури при заливанні сплаву у форму, і правильного розміщення ливникових каналів.

Пісчані раковини, заливи, недоливи, перекоси і різностінність

До неосновних дефектів виливок можна віднести пісчані раковини, заливи, недоливи, перекоси і різностінність.

Пісчані раковини – це різні по формі порожнини в тілі виливки, частково або повністю заповненні формувальною сумішшю. Причинами утворення пісчаних раковин є руйнування окремих частин форми, змивання формувальної суміші розплавом металу при неправильному його підводі. Пісчані раковини можуть утворюватися від вогнеупорів печей і ківшів в результаті недостатньої їх міцності, а також в результаті недостатньої очистки рідкого сплаву від частинок шлаку при заливанні форми.

Заливи – це тонкі різні по величині і формі виступи на виливці, які не передбачені кресленням і утворюються вони по площині роз'ємну форми при наявності збільшеного зазору між півформами.

Недоливи – це неповні заповнення форми розплавом, що спостерігається при недостатній його рідкотекучості, при скупченні газів, які протидіють заповненню форми при недостатніх розмірах живильників ливникової системи.

При складному контурі в виливках інколи спостерігаються перекоси і різностінність. Причинами цих недоліків можуть бути неправильне збирання опок зміщення стержнів і викривлення форми.

Перекос – це невідповідність конфігурації виливки кресленню із – за зміщення однієї частини виливки відносно іншої. Це відбувається внаслідок неправильного центрування опок при великому зносі стержнів.

Різностінність виникає в результаті неправильної установки або зміщення стержнів при заливанні форми в випадку неміцного їх кріплення у формі. При великій швидкості охолодження зовнішнього шару у чавунних виливках спостерігається відбіл (поява відбіленої кірки). Це пояснюється тим, що у чавуні цементит не розпався як це проходить в виливках в умовах повільного охолодження. При механічній обробці чавунних виливок з відбіленою кіркою виникають трудноші, так як ця кірка має досить високу твердість. Зняти відбіл можна відпалом чавунних виливок.

Якщо необхідно отримати тверду кірку на поверхні, то заливку чавуна виконують в металеву форму – кокіль. Стінки кокіля швидко забирають тепло від поверхні виливки, що запобігає графітизації чавуна. Відбілювання поверхневого шару можна уникнути якщо заливати чавун у підігріті кокилі.

Деякі виявленні дефекти можна виправити. Для цього широко

практикується заварка дефектів лиття (раковин, тріщин та ін) газовою або електродуговою зваркою. Присадочний пруток чи електрод повинен мати той же хімічний склад, що і основний метал. Для того щоб не було тріщин в процесі заварювання чи після її виливку необхідно нагріти до температури 200...250 ^{0}С.

Мілкі тріщини і неглибокі раковини виправляються металізацією (нанесенням шару металу за допомогою спеціальних апаратів).

Також застосовують просочування виливок різними розчинами. Так пористі виливки, які працюють під невеликим тиском просочують водяним розчином хлористого амонію. Він проникає між кристалами металу, утворює оксиди і при цьому закупорює пори виливки.

Пористість чавунних, бронзових і алюмінієвих литих деталей, які працюють під значним тиском, усувається шляхом запресування у пори бакелітового лаку. Просочену виливку сушать при кімнатній температурі біля 50 годин, або в печі при температурі 130 0С.

Плавильні агрегати

Плавлення ливарних металів та сплавів виконують в вагранках, тигельних і електричних печах, в конверторах, в полуменевих тигельних горнах. Для плавлення кольорових сплавів застосовуються дугові і індукційні печі та печі опору.

В вагранках в основному плавлять чавун. Вони прості за конструкцією, високопродуктивні і економічні.

Загальний вигляд вагранки наведений на рис. 6.2. Вагранка - це піч круглого перерізу шахтного типу, яка викладена шамотною цеглою 10 і заключена в металевий кожух 8. Шахта опирається на піддонну плиту 19, яка підпирається стальними колонами 20. Стальні колони встановленні на фундаментній плиті 24. Нижній отвір шахти закрито відкидним дном 21, яке опирається на домкрат 25. На піддону плиту набивається подіна 17 із тощої формувальної суміші. На подіну завантажується кокс 15, верхній рівень якого повинен бути на 500...700 мм вище рівня розміщення фурм 14, через які вентилятором 16 подається повітря (окислювальне дуття). Від вентилятора воно проходить через стальну коробку 12, яка оперізує вагранку по периметру.

Ливарні властивості сплавів

Можливість використовувати сплави для отримання виливок визначається їхніми ливарними властивостями. До добрих ливарних властивостей відноситься висока рідкотекучість, мала усадка при затвердінні і подальшому охолодженні, незначна ліквація і низька

здатність поглинати гази при плавленні і заливанні. Рідкотекучість – це здатність розплаву вільно текти в ливарній формі, заповнюючи порожнини і точно відтворювати її контури.Рідкотекучість залежить від хімічного складу, температури при заливанні, наявності домішок та інших факторів. При достатній рідкотекучості розплавлений метал легко розтікається і добре заповнює самі вузькі місця форми. Деякі метали, такі як мідь в розплавленому стані густі і погано заповнюють форму, тому для фасонного лиття вони мало придатні. Більш високу рідкотекучість мають сплави, які твердіють з утворенням евтектики. Такі сплави як бронза,латунь,сірий чавун,алюмінієві висококремнисті сплави (силуміни) і цинкові сплави мають високу рідкотекучість.

Для визначення рідкотекучості користуються спіральною пробою постійного трапецевидного поперечного перерізу площею 0,56 $см^2$. Метал заливається в ливникову чашу 1, через фільтр 2 і стояк 3 він проходить в металоприймальник 4 і тече по спіральному каналу 5. Відстань між виступами в спіралі дорівнює 50 мм. По довжині, яка отримується в одинакових умовах відкритої спіралі, роблять висновок про рідкотекучість. Чим біьша довжина спіралі, тим більша рідкотекучість сплаву.

Ліквація по густині (питомій вазі) спотерігається при сплавленні металів,які суттєво відрізняються по густині. Наприклад, в сплавах свинецьсурма верхня частина зливку буде насичена сурмою,а нижча – свинцем. Ці частини відрізняються від середнього складу сплаву. Зональна ліквація може бути зменшена перемішуванням сплаву перед його заливанням у форму і наступним його швидким охолодженням.

Дендридна ліквація – це внутрішньокристалічна ліквація, коли склад кристалів неоднорідний. Чим більший температурний інтервал між початком і кінцем кристалізації, тим більше будуть відрізнятися по складу окремі ділянки зерен. В дендридах осі першого порядку насичені більш тугоплавкими компонентами, і в них вміст домішок буває найбільш низьким. Міждендридні проміжки, які кристалізуються в кінці, мають найбільшу кількість легкоплавких компонентів і домішок.

Здатність до поглинання газів. Метали і сплави мають здатність поглинати різні гази – водень, азот, кисень та інші. В розплавленому металі завжди є газ. Підвищення температури рідкого металу призводить до збільшення вмісту газів, при цьому ливарні і механічні властивості погіршуються. Наряду з температурою на розчинність газів впливає хімічний склад сплаву.

При затвердінні і послідовному охолодженні розчинність газів зменшується,і в результаті їх видалення у виливках можуть утворитися газові раковини і пори.

Для зменшення газонасиченості сплавів застосовують плавлення у вакуумі або в середовищі інертних газів, дегазацію вакумуванням в спеціальних камерах.

4.4 Виготовлення виливок із чавунів

Найбільше фасонних виливок виготовляють із чавуна тому, що він порівняно дешевий,має високі ливарні антифрикіційні і антикорозійні властивості, високу міцність.

Виливки із чавунів становлять більше 70 % всіх виливок. Найбільше виливок отримують із сірого чавуна, незначну кількість із легованого і ковкого, і зовсім мізерну частину із високоміцного.

Механічні властивості чавунів у виливках залежать не тільки від вмісту в них різних елементів,але і від ряду інших факторів – швидкості охолодження, товщини стінки виливки тощо.

Сірий чавун. Виливки із сірого чавуна дешевші від виливок із кольорових сплавів. Сірий чавун має хороші ливарні властивості, відносну невисоку температуру плавлення (1100...12000С), хорошу рідкотекучість, малу усадку (біля 1%), низьку ліквацію.

Єдиним недоліком сірого чавуна є його крихкість, але велика множина деталей машин і механізмів працюють без великих ударних навантажень, тому і виготовляються вони із сірого чавуна.

Сірий чавун включає 2,2...3,7% С, 0,2...1,0% Mn, до 0,3% Р, до 0,15%S.

При модифікації сірий чавун з пластинчастим графітом переходить в структуру з мілкими включеннями графіту завихреної форми і застосовується для отримання чавунів марок СЧ25...СЧ45 з перлітною основою. Модифікація виконується невеликими добавками 75% феросиліція, сілікокальція та інших модифікаторів в кількості 0,3...0,6% від маси чавуна. Перегрів чавуна перед модифікацією повинен бути тим вище, чим вища марка чавуна.

Модифіковані сірі чавуни застосовуються для відливки дизельних циліндрів, блоків автомобільних циліндрів тощо.

Легований чавун. В якості легуючих елементів застосовують Ni, Cr, Mo, Mn, Al, Cu, Ti. Ці елементи підвищують механічні властивості, корозійну стійкість, зносостійкість, жароміцність тощо. За найбільшим включенням легуючого елемента леговані чавуни

поділяються на хромисті, нікелеві тощо. Також ці чавуни можна розділити на низьколеговані – до 3% легуючих елементів і високолеговані з особливими фізичними властивостями. Наприклад, кислотостійкі – 26...36% Cr, немагнітні – до 12% Mn, до 2% Cu.

Ковкий чавун. Цей чавун з пластівчастим графітом отримують тривалим відпалом виливок із білого чавуна. Білий чавун включає 2,2...3,2% C, 0,7...1,4% Si, до 1% Mn, до 0,2% P, до 0,2% S. Білий чавун має низькі ливарні властивості: низьку рідкотекучість і значно більшу усадку чим у сірого чавуна (до 2%). Виливки із білого чавуна можуть бути отримані порівняно невеликої товщини. Але білий чавун має високу твердість, крихкість і застосовується для виготовлення виливок з високою зносостійкістю. Ковкий чавун включає 2,3...2,7% C, 0,8...1,2% Si, 0,3...0,5% Mn, 0,05...,0,07% Cr, 0,1...0,2% P і 0,1% S. Щоб запобігти утворенню вільного графіту в процесі лиття, вміст кремнію не повинен перевищувати 1,2%. Підвищена рідкотекучість чавуна досягається при наявності фосфора до 0,2%. Марганець протидіє розпаданню карбідів заліза (Fe3C) при відпалі, тому його вміст не повинен перевищувати 0,5%. Механічні властивості ковкого чавуна залежать головним чином від його металевої основи. Перлітні чавуни КЧ45-7 та інші мають більш високу міцність при пониженій пластичності. Феритні і ковкі чавуни, наприклад КЧ37-12, мають меншу міцність, але більшу пластичність.

З ковкого чавуна отримують виливки з товщиною стінки до 30...40 мм і масою до декількох кілограмів. Виливки із ковкого чавуна застосовують для виготовлення деталей автомобілів, тракторів та інших машин, які приймають на себе в процесі роботи складні напруги і ударні навантаження.

Високоміцний чавун з кулястою формою графіту отримують у витяжній камері занурюванням в рідкий (перегрітий до 16000С) стаканчика з отворами на його бічній твірній. Стаканчик заповнюють модифікатором (стружка магнію з феросиліцієм). Ківш з рідким чавуном закритий масивною кришкою з отвором у який вводять стаканчик за допомогою довгої штанги. Відбувається дуже бурхлива реакція окислення магнію, окисли якого витяжкою видаляють в атмосферу. Після модифікування чавун розливають у ливарні форми. Після кристалізації у структурі чавуна графіт буде кулястої форми. Замість магнію іноді використовують церій без бурхливої реакції. Властивості чавуна визначаються його металевою основою: перлітом, перлітом і феритом, феритом. Тому вони можуть бути значно

покращені термічною обробкою. В деяких марках високоміцного чавуна σв=800...1200 МПа. Із високоміцного чавуна отримують відповідальні деталі машин і механізмів: зубчаті колеса, колінчаті і кулачкові вали, штампи, деталі турбін тощо.

Плавлять чавун у вагранках. Для виробництва модифікованого, високоміцного та інших якісних чавунів використовуються електричні, індукційні і дугові печі.

Для отримання чавуну високої якості широко використовується подвійний процес (дуплекс – процес), при якому чавун плавлять у вагранці, а доводять, рафінують і перегрівають в індукційній печі. Застосовують також комбіновану плавку: дугова піч – індукційна тигельна піч. Індукційна тигельна піч забезпечує отримання точного хімічного складу чавуну, його рафінування і високий перегрів.

Заливання чавуна у форми. Сірий чавун має температуру плавлення 1200...14000С, а при перегріві температура досягає 15000С. Тому суміші і добавки, які використовуються при виготовленні форм повинні мати підвищену термохімічну стійкість. Цей чавун має низьку усадку і добру рідкотекучість, тому при виготовленні простих виливок використовують тільки один живильник. При великих і складних виливках застосовуються ливникові системи з декількома живильниками.

Білий чавун має низьку рідкотекучість, тому перед заливкою його перегрівають до 1450...15000С. При такій високій температурі формувальна суміш повинна мати високу непригарність. Білий чавун має велику усадку, тому суміш повинна бути піддатливою і при виготовленні форм встановлюються великі додатки.

Високоміцний чавун при перегріві має температуру до 15000С, тому формувальні і стержневі суміші повинні мати підвищену термохімічну стійкість. Низька усадка і велика рідкотекучість дозволяють використовувати мінімальну кількість живильників при виготовленні виливок складної конструкції.

4.5 Виробництво виливок із сталі

Близько 60% стальних виливок виготовляють із вуглецевої сталі 15Л...55Л, близько 15% - із легованої і приблизно 20% - із високолегованої, наприклад, сталь 11ОГ13Л. Вуглецева сталь має слідуючий склад, %: 0,1...0,6 C; 0,5...0,8 Mn; 0,13...0,3 Si. Виливки, які отримані із такої сталі мають межу міцності при розтягуванні 40...60 кгс/мм^2, межу текучості 20...30 кгс/мм^2 і відносне видовження 10...28%.

Із сталі марок 15Л і 25Л виговляють виливки автомобільного машинобудування. Сталі марок 35Л і 45Л застосовуються для виготовлення станин, шестерень, черв'яків тощо. Ці сталі мають підвищену міцність і зносостійкість. Коли потрібна висока твердість застосовується сталь марки 55Л.

Леговані сталі, такі як 25ГСЛ, 30ХГСЛ, нержавіючі – 10Х13Л, 10Х18Н9ТЛ застосовують, коли необхідно отримати виливки спеціального призначення (корозієстійкі, зносостійкі, жаростійкі).

Рідкотекучість сталі можна підвищити за рахунок повноти розкислення. Підвищений вміст вуглецю також підвищує рідкотекучість. Сірка і підвищений вміст тугоплавких неметалевих включень приводить до пониження рідкотекучості.

Для запобігання утворення тріщин необхідно створити умови зменшення внутрішніх напруг. Для цього підвищується піддатливість формувальних сумішей. Для вирівнювання швидкостей охолодження товстих і тонких перерізів виливки застосовують холодильники, як внутрішні так і зовнішні. Також запобігти тріщинам можна раціональною конструкцією виливок – розмір гантелей, наявність плавних переходів від товстих до тонких перерізів, ребер жорсткості тощо. Ливникова система повинна забезпечити заповнення форми з урахуванням пониженої рідкотекучості сталі. Довжина каналів ливникової системи повинна бути по можливості меншою. Переріз живильників роблять в 1,5...3 рази більшими чим для чавунного лиття. Ливникову систему і розміщення виливки в формі роблять так, щоб порожнина, яка утворена моделлю, заповнювалася металом спокійно, а затвердіння виливки було направлено знизу вверх.

В деяких високолегованих сталях можлива хімічна взаємодія з матеріалами форми, тому доцільно їх виготовляти із сумішей на основі хромомагнезита та інших матеріалів, які мають більшу хімічну стійкість чим кварцевий пісок.

Для підвищення вогнетривких властивостей формувальних

сумішей до них вводять хромистий кварц, залізняк та інші. Для підвищення міцності вводять рідке скло.

Нержавіючі сталі в розплавленому стані мають значну в'язкість, що створює можливість утворення газових раковин.

4.6 Виробництво виливок із мідних сплавів

Із мідних сплавів найбільш широко застосовуються виливки із бронзи і латуні. Вони мають хорошу зносостійкість, корозієстійкість в атмосфері, технічній і морській воді, і високі антифрикційні властивості.

Застосовуються бронзи олов'янисті і спеціальні. Олов'янисті бронзи включають 2...14% Sn, 4...5% Zn, 4...20% Pb, 1...5% Ni, до 1% P, наприклад БрОЦС 5-5-5, БрОЦС 6-6-3, БрО10, БрОФ10-1 та інші.

В цих бронзах олово підвищує механічні і антифрикційні властивості, корозійну стійкість. Цинк покращує зварювання і пайку, зменшує інтервал кристалізації. Свинець покращує рідкотекучість, обробку різанням, антифрикційні і механічні властивості. Нікель підвищує механічні і антифрикційні властивості. Фосфор підвищує рідкотекучість і зносостійкість.

Із олов'янистих бронз отримують виливки арматури, зубчатих коліс, вкладишів підшипників ковзання, втулок тощо. Тому що олово є дорогим металом, то там де це можливо олов'янисті бронзи замінюють спеціальними, наприклад БрАЖ9-4, БрАЖС7-1,7-1,5, БрАЖМЦ 10-3-1,5 та інші. Назва цих бронз дається по основному легуючому компоненту: алюмінію, кремнію, марганцю тощо. Відповідно бронза буде алюмінієва, кремниста, марганцевиста тощо. Ці бронзи застосовуються для фасонного лиття деталей як шестерні, втулки, сідла клапанів, вкладишів підшипників тощо.

Їх механічні властивості вищі чим олов'янисті і вони мають достатньо високі антифрикційні і корозійні властивості. Найбільш широко використовуються алюмінієві бронзи. Вони добре працюють в солоній морській воді, агресивних середовищах, добре чинять опір удару. З них виготовляють гребні гвинти, важконавантажені шестерні і зубчасті колеса, корпуси насосів. Механічні, технологічні і експлуатаційні властивості алюмінієвих бронз покращуються при легуванні їх Fe, Mn, Ni.

Свинцевиста бронза має досить високу зносостійкість при терті в умовах великих питомих навантажень і швидкостей ковзання. Прикладом свинцевистої бронзи може бути БрС30.

Якщо в склад бронзи входить 5...14% Sn, то такі бронзи називаються високоолов'янистими. Вони мають хороші ливарні властивості. Але з причини високої вартості олова, застосовуються тільки для виливок відповідального призначення. Недоліком цих бронз є можливість утворення мілкої, розсіяної пористості.

Для виготовлення виливок крім бронз застосовують спеціальні латуні, які в залежності від легуючого елемента (Al, Mn, Si, Fe, Pb) поділяються на алюмінієві, кремнисті, свинцевисті, марганцевисті та інші. Наприклад, ЛК803, ЛС59-1 та інші.

Латуні нараховують більш як 15 сплавів, які застосовуються для виготовлення вкладишів підшипників, втулок, шестерень, санітарно – технічної апаратури та інших деталей для приладів і машинобудування.

Легуючі елементи, які входять в склад латуні покращують як механічні так і ливарні властивості сплавів. Ливарна усадка олов'янистих бронз біля 1%, тому виливки можуть бути отримані без додатків, що зменшує ливарні відходи. Шкідливі домішки Bi і Sb значно знижують механічні властивості виливок і збільшують їх пористість.

Латуні мають більш високі ливарні властивості, чим бронзи. Вони мають малу схильність до утворення газової пористості, тому, що добре дегазуються при виплавленні в результаті утворення парів цинка. Тому із латунів легше отримати щільні і герметичні виливки. Більшість латунів мають невелику лінійну усадку – 1,6...1,7%.

У кременистих латунях і алюмінієвих бронз усадка складає 1,5...2,5%, і вони легко окислюються, тому при заливанні повинно бути забезпечено плавне заповнення форми, а також добре живлення виливки об'ємними додатками.

Часто в одній опоці набивають декілька форм, які з'єднанні живильниками з загальним стояком. Вага ливникової системи і додатків інколи складає до 150% від ваги готової виливки.

Латуні мають більш низьку температуру плавлення і кращі ливарні властивості, чим бронзи. Це дозволяє отримувати із них виливки різними способами: в пісчані форми, кокіль, литтям під тиском тощо.

Маркування бронз і латунів слідуюче: бронза БрО3Ц7С5Н1 включає в себе біля 3% олова, 7% цинку, 5% свинцю, 1% нікелю, все останнє – мідь; латунь ЛЦ30А3 включає 30% цинку, 2...3% алюмінію, все останнє – мідь.

Мідні сплави для лиття розплавляють в дугових електропечах, індукційних печах із стальним осердям і без осердя, в полуменевих печах і тигельних печах.

Дугові печі служать для плавлення бронзи, а індукційні – для плавлення латуней. Полуменеві печі застосовують рідше, так як пічні гази окислюють мідні сплави, і в цих печах витрачається багато палива. Але коли за одне плавлення необхідно отримати велику кількість сплаву для заливання великих форм, застосовують полуменеві відбивні печі ємністю до 10 т і більше. Опалюють ці печі мазутом, або газоподібним паливом. Інколи бронзи і латуні виплавляють в закритих графітових тиглях. Таке плавлення забезпечує високу якість розплаву, але цей спосіб є мало- продуктивним і неекономним. В якості шихти при виплавленні бронзи і латунів використовують чисту мідь (99,99%Cu) і легуючі елементи (Al,Mn,Si,Fe,Pb та інші); мідні сплави – лом бронзових і латунієвих виробів, додатки, живильники, стояки та інші відходи ливарного виробництва. Легуючі елементи в першому випадку вводять у вигляді лигатур. Так, при легуванні залізом (Fe) з температурою плавлення $t_{пл}$=15390С використовують лигатуру 90%Cu+10%Fe з $t_{пл}$=9000С. При легуванні алюмінієм (Al) застосовують лигатуру 50%Cu+50%Al з $t_{пл}$=5750С.

Для зихисту металу від окислення плавлення проводять під шаром деревного вугілля або флюса різного складу. Готовий сплав перед розливанням в форми розкисляють фосфористою міддю.

Для формувальних сумішей застосовують мілкозернистий пісок, що запезпечує отримання чистої і гладкої поверхні. В якості протипригарної добавки у фомувальну суміш вводять мазут.

4.7 Виробництво виливок із алюмінієвих сплавів

Алюмінієві ливарні сплави мають хороші технологічні і механічні властивості, які змінюються в залежності від складу сплаву, методу лиття і термічної обробки. Сплави на основі алюмінію мають високу міцність при нормальній температурі, високі ливарні властивості, добре протистоять корозії. Висока рідкотекучість забезпечує виготовлення виливок із тонкою стінкою і складної конфігурації. Сплави мають невисоку температуру плавлення (tпл=550...6500С) і ливарну усадку (1,0...1,25%).

Ливарні алюмінієві сплави поділяються на 5 груп.

Перша група на основі Al – Si (силуміни АЛ2, АЛ4, АЛ9). Вони

включають 6...13% Si, мають високу рідкотекучість, малу усадку, високу пластичність при охолодженні, достатню міцність, не утворюють гарячих тріщин.

Застосовуються ці сплави в усіх галузях народного господарства, особливо в авіаційній і автомобільній.

Друга група на основі Al – Mg (АЛ8, АЛ13). Вони включають 4,5...11,5% Mg, мають високу міцність, корозієстійкість і є найбільш легкими. Їх застосовують для сильно навантажених деталей, але вони погано працюють при підвищених температурах.

Третя група на основі Al-Cu (АЛ7, АЛ12, АЛ19). Вони включають 3...11% Cu, мають хорошу зносостійкість, але понижені ливарні і корозієстійкі властивості і недостатню пластичність. Добре обробляються різанням, тепломіцні.

Четверта група на основі Al – Cu – Si (АЛ3, АЛ3В, АЛ6, АКМ4,АЛ10В та інші). Вони включають 3...6% Si і 1...8% Cu, мають високу рідкотекучість, корозійну стійкість, добре зварюються. Ці сплави застосовуються в промисловості для виготовлення деталей достатньої твердості і міцності, які зберігають постійність розмірів в процесі експлуатації, і мають високу чистоту обробленої поверхні.

П’ята група на основі Al – Si – Zn – Cu (АЛ1, АЛ16В, АЛ17В,Ю АЛ11, АЛ21 та інші). Вони включають 3...5% Si, 4...7% Zn, 2...4% Cu, мають підвищену міцність і жаростійкість. До недоліків слід віднести низьку рідкотекучість і велику усадку. Використовуються сплави цієї групи при виготовленні виливок, які працюють при підвищених температурах і тиску (АЛ1), з підвищеною стабільністю розмірів і для виготовлення зварних конструкцій і деталей. Сплави АЛ11, АЛ21 добре обробляються різанням.

Плавлення алюмінієвих сплавів виконують в тигельних, полуменевих, індукційних і електричних печах. Найбільш частіше застосовується електрична піч опору (рис.6.6.). Розроблена ефективна технологія застосування флюсів, способів дегазації і рафінування для виливки алюмінієвих сплавів в полуменевих печах ємкістю 30т і більше. При невеликих розмірах виливки,плавлення сплавів ведуть в тигельних печах.

Основою для отримання алюмінієвих сплавів є чушковий первинний алюміній. Застосовують також переплавлену стружку, ливники, додатки, живильники тощо. Для легування в основному застосовують алюмінієвокремнисту лигатуру. При плавленні алюмінієві сплави інтенсивно поглинають гази, особливо водень і

легко окислюються. Водень виділяється при затвердінні і охолодженні сплавів в формі, при цьому можливі утворення газових пористостей. Включення Al_2O_3 суттєво знижує механічні властивості сплаву.

Для захисту розплаву його плавлення ведуть під шаром флюсу: 50% NaCl, 35%KCl, 15%Na3AlF6 або 50% NaCl, 50%KCl.

Алюмінієвий сплав продувають хлором або азотом для видалення газів, неметалевих включень. Пухирці хлору або азоту виносять неметалеві включення і водень на поверхню сплаву. Дегазація і рафінування також може використовуватись хлоридами марганцю ($MnCl_2$) і цинку ($ZnCl_2$). При їх введені в розплав утворюється хлористий алюміній $AlCl_2$, він перетворюється у пар і у вигляді пухирців видаляється із металу, виносячи неметалеві включення і водень. Хлорування проводять на протязі 10...15 хв, в ківші і в спеціальних камерах при температурі розплаву 750...7700С. Для змільчення зерна і отримання більш щільної виливки, алюмінієві сплави (силуміни) піддають модифікуванню. В якості модифікаторів застосовують чистий натрій або його солі: 33% NaCl, 67% NaF, або 62,5% NaCl, 25% NaF і 12,5% KCl.

Розплавлені, рафіновані і дегазовані алюмінієві сплави заливають у форми при температурі 720...7500С. При отриманні невеликих деталей застосовують лиття під тиском, лиття в металеві форми (кокіль). Для отримання великих і середніх виливок застосовують лиття в пісчано-глинисті форми, при цьому для отримання рівної поверхні необхідно застосувати мілкозернисті формувальні суміші. Швидке охолодження алюмінієвого сплаву в металевих формах створює умови отримання мілкозернистої структури металу, відповідно підвищення механічних властивостей. Для алюмінієвих сплавів виготовляють ливникову систему, яка розширюється, тим самим забезпечується відокремлення неметалевих частин.

4.8 Виробництво виливок із магнієвих, титанових і цинкових сплавів

Магнієві сплави мають низькі механічні і ливарні властивості, але мають меншу питому вагу і вищу питому міцність, чим алюмінієві сплави. Ці сплави застосовують в авіаційній та приладобудівній галузях. Для підвищення механічних властивостей, магнієві сплави загартовують.

Магнієві сплави можна розділити на три групи.

Перша група на основі Mg – Si (МЛ1). Сплав МЛ1 має низькі

ливарні властивості і використовується для виготовлення виливок простої форми. Цей сплав має добру герметичність і зварюваність.

Друга група на основі Mg – Mn (МЛ2). Цей сплав має приблизно такі ж властивості як МЛ1.

Третя група на основі Mg – Al – Zn (МЛ3, МЛ4, МЛ5 і МЛ6). Ці сплави мають кращі ливарні властивості і їх застосовують в авіаційній, автомобільній і радіотехнічній галузі.

Магнієві сплави при температурі плавлення інтенсивно окислюються і загораються, поглинають водень і азот з яким утворюють нітриди. Тому плавлення цих сплавів необхідно вести під шаром флюсу, а в формувальну суміш добавляють 4...8% фтористих присадок(фтористих солей); в стержневу суміш – 0,25...1% борної кислоти і сірки. При взаємодії з магнієм на поверхні виливок утворюються щільні захисні плівки, а утворені газоподібні речовини утворюють прошарок між виливкою і формою.

Для покращення механічних властивостей магнієві сплави перегрівають в тиглі до температури 850...9000С і витримують 15...20 хв до розчинення тугоплавких сполук заліза, або модифікують. При модифікуванні використовують крейду або хлористе залізо.

Для сплавів, які не включають алюміній покращення властивостей (змільчення зерна) досягається невеликими присадками цирконію. Плавлення сплавів ведуть в стальних тиглях (так як магній не розчиняє залізо) тигельних печах, індукційних тигельних печах і електричних печах опору.

Виливки магнієвих сплавів отримуються при литті під тиском, литті в пісчано-глинисті форми та інші спеціальні види лиття. При литті в пісчаноглинисті форми виготовляють ливникову систему, яка розширюється, тим самим забезпечується відокремлення неметалевих частин. При заливанні у форму магнієвий сплав опилюють порошками сірки для запобігання його загорання.

Титанові сплави легкі і міцні, щільність досягає 4,5 г/см3. Сплави на основі титану застосовують в авіаційній і кораблебудівній галузі.

Титан має високу температуру плавлення (tпл=16700С) і хімічну активність, тому при його плавленні застосовують спеціальні тигельні печі і захисне аргонове середовище.

Цинкові сплави мають низьку температуру плавлення і добрі ливарні властивості. Із них виготовляють невеликі фасонні виливки, використовуючи лиття під тиском. Плавлення цинкових сплавів виконують в тигельних печах.

4.9 Будова ливарної форми. Виготовлення стержнів

Ливарна форма – це система елементів, які утворюють робочу порожнину, при заливанні якої розплавленим металом формується виливка. Форми виготовляють із різних матеріалів: пісчано-глинистих сумішей, металевих сплавів, вогнеупорів. Форми, які виготовлені із пісчано-глинистих сумішей, заливають металом тільки один раз тому, що при видаленні виливок вони руйнуються. Тому вони називаються разовими або тимчасовими. Металеві форми в залежності від того, із якого сплаву вони виготовлені і якими сплавами заливаються, витримують декілька сотен, тисяч і десятки тисяч виливок, і називаються багаторазовими або кокілями. Форми, які виготовляють із вогнетривких матеріалів, цегли і глини, служать для отримання декількох виливок, перед кожним наступним заливанням їх ремонтують, виправляють. Ці форми називаються напівпостійними.

Найбільш поширені в ливарному виробництві разові форми, в яких отримують 75...80% лиття по вазі. Це пояснюється тим, що застосування разових форм не обмежено ні родом сплаву, ні температурою його заливки, ні складністю і розмірами виливок. В індивідуальному виробництві виготовлення виливок в разових формах є найбільш дешевим способом.

Ливарні опоки – це пристрої для утримання формувальної суміші при виготовленні форми. Верхню і нижню опоки орієнтують за допомогою металевих штирів – фіксаторів, які встановлюються в отвори приливів. Опоки, як правило, виготовляють із металу, витримують вони до десяти тисяч виливок.

Модельний комплект складається із моделі виливки, одного або декількох стержневих ящиків і моделей елементів ливникової системи.

Модель служить для отримання форми (зовнішніх її контурів). Внутрішні порожнини і отвори у виливці утворюються стержнями.

Для підводу розплавленого металу в площину ливарної форми, її заповнення і підживлення, використовується ливникова система.

Стержні, для підвищеної міцності і газопроникності і зменшення їх газотворчої здатності піддають сушінню. Режим сушіння вибирають в залежності від складу стержневої суміші і розмірів стержня. Температура сушки залежить від типу зв’язуючого і складає для стержнів, які виготовленні із пісчано-глинистих сумішей, 300...350оС. Стержні із стержневих сумішей з водорозчинними зв’язуючими і зв’язуючими, які затвердівають в результаті окислення і полімеризації, сушать при температурі 150...250°С. Тривалість сушки залежить від розмірів і ваги стержнів і складають 1...10 годин. Стержні сушать в три

етапи. Перший етап – повільний підігрів всього стержня до 100°С для того, щоб запобігти розриву стержня парами води. Другий етап, заключається в швидкому підйомі температури стержня до максимального рівня. При цій температурі проходять необхідні зміни зв'язуючих (окислення, плавлення, полімеризація) і міцність стержня підвищується.

Третій етап сушки – повільне охолодження сухих стержнів до температури 50...70°С, при якій вони виймаються із печі. Зменшення швидкості охолодження стержнів дозволяє запобігти розтріскуванню поверхневих шарів стержня і їх окислення. Після сушки проводять контроль розмірів і якості поверхні стержня. Стержні складної конфігурації виготовляють по частинах, збирають в спеціальних пристроях і потім склеюють. Для склеювання застосовують клеї, які забезпечують рівноміцність з'єднувальних поверхонь і сухих стержнів. Один із пропонуємих складів клею слідуючий: 40...45 вагових частин вогнетривкої глини і 60...65 вагових частин рідкого скла. Для зарівнювальних швів і пошкоджених ділянок стержня застосовують спеціальну пасту слідуючого складу: тальку, напівжирного піску, води і сульфідної барди.

Для покращення поверхні алюмінієвих виливок, стержні рекомендується фарбувати спеціальними фарбами. Сирі стержні обпилюють розчином закріплювача з добавленням крейди, талька, графіта, борної кислоти (для Al – сплавів). Сухі стержні покривають фарбою слідуючого складу: 40...50% полівінілбутирального лаку (2% - вий розчин) і 50...60% пропеченого тальку або обеззалізненого цирконового концентрату.

Сухі стержні після склеювання, зарівнювання швів і пофарбування підсушуються. Щоб запобігти конденсації вологи, стержні можна ставити у форму тільки в охолодженому вигляді.

4.10 Плавлення сплаву і заливання форм

Готують розплав в шамотно – графітових тиглях, які розміщені в електропечі опору чи індукційних.

Добре просушений тигель ставлять в піч і нагрівають. Під час нагрівання тигля готують шихту, яка складається із ливників, додатків, забракованих виливок і свіжого розплаву.

Коли тигель нагрівається до червоного кольору, завантажують шихту, яка розплавляється. Температуру розплаву доводять до 700...730°С.

Заливати форми можна безпосередньо із тигля, в якому рафінують розплав, чи за допомогою металевої ложки, покритої захисною плівкою із окису цинку з рідким склом, яке є зв’язкою. При плавленні, рафінуванні, заливанні форми потрібно дотримуватися правил техніки безпеки: працювати в захисних окулярах, рукавицях.

Вибивання виливки. Після заливання форм, виливки затвердівають і потім охолоджуються в них. Тривалість охолодження в формі залежить від її маси, товщини перерізу, виду сплаву, теплофізичних властивостей формувальних матеріалів тощо. Час охолодження коливається від декількох хвилин до кількох годин.

Розділ 5. Порошкова металургія

Порошкова металургія – це галузь техніки, а не металургії. За своєю сутністю порошкова металургія охоплює сукупність методів виробництва порошків металів, метал оз'єднань та виробів з порошків або їхніх з'єднань (у тому числі і з неметалічними матеріалами – порошками) без розплаву основного компонента (але інші компоненти можуть бути і рідкими). Тобто порошкова металургія не лише виробляє порошок, кінцева ціль її – напівфабрикати та вироби.

Порошкова металургія була відома з сивої давнини. Так, приблизно 5 тис. років потому вже одержували залізо в твердому вигляді без плавлення руди, відновлюючи її деревним вуглецем при горінні вогнищ. Проте після того як люди навчились плавити метал, металовиробнича порошкова металургія була забута і відновилась лише в 1826 р. у Росії завдяки зусиллям П.Г. Соболевського та В.В. Любарського. У тому ж році методом порошкової металургії з природних розсипищ платини ($T_{пл}$ = 1777 °С) одержали вироби, які були продемонстровані на засіданні Санкт-Петербурзької Академії наук. Через три роки аналогічним методом, тобто послідовним чергуванням нагріву та обтиснення, платину одержав Волостан (Англія).

З кінця XIX ст. перед світовою наукою та технікою серйозно постала проблема тугоплавких металів з температурою плавлення вище 3000 °С ($T_{ПЛ}$ w = 3800 °С). Згодом виникла ще й проблема стосовно матеріалів, які б могли обробляти ці метали. В зв'язку з необхідністю вирішення цих проблем і одержав новий імпульс розвитку метод порошкової металургії.

Проте помітний черговий рубіж у розвитку цього напряму можна віднести приблизно до 1950 р., коли в усьому світі методом порошкової металургії виробили близько 30 тис. т порошків і виробів. До 1982 р. виробили вже приблизно 1 млн 200 тис. т матеріалу та 600 тис. т виробів. У 1985 р. в усьому світі виробляли більше 1,5 млн т порошку, з яких тільки частка СШ А становила більше 500 тис. т. У Радянському Союзі до 1990 р. виробництво порошку та виробів досягло 200 тис. т, з яких значна частина була вироблена в Україні. До 2000 р. на пострадянському просторі в розвитку цієї галузі намітився спад і зараз в Україні продукція порошкової металургії становить 20-25 тис. т за рік. У цілому ж у світі приріст у галузі порошкової

металургії продовжує збільшуватись і вже перевищує 15 % за рік, що значно вище за інші галузі промисловості.

Використання виробів порошкової металургії в різноманітних галузях промисловості, науки і техніки, особливо космонавтики та авіації, зумовлено насамперед тим, що порошкова металургія фактично комплексно вирішує потрійну задачу, а саме:

- виробництво спечених матеріалів і виробів з високими й унікальними фізичними та механічними властивостями, котрі не можуть бути одержані іншими методами;
- виробництво деталей і виробів, властивості яких аналогічні тим, що одержані за інших методів, але завдяки методу порошкової металургії виробництво їх більш економічне;
- виробництво спечених матеріалів і виробів з них з тонкодисперсною структурою, формування якої забезпечує різке зростання властивостей матеріалів.

Це переконливо демонструється на прикладі спеченого композита вольфрам – мідь. Процес спікання відбувається при температурі 1000 °С, при якій розплавляється лише мідь. Такий композит може недовгий час працювати при температурі, що перевищує температуру плавлення вольфраму, оскільки в процесі експлуатації мідь випотіває і, випаровуючись, забирає тепло, а вольфрам якийсь час зберігає несучу здатність.

Економічність порошкової металургії пов’язана насамперед з економією металу (коефіцієнт використання металу (КВМ) при литті та прокатці може бути менше за 0,6, а для порошкової металургії він завжди більше 0,9). Крім того, виріб з порошку завжди шпаристий, що також дає економію металу, оскільки вага порошкової конструкції менша за суцільну і має таку саму несучу здатність.

Дисперсність в структурі порошкового матеріалу, коли розмір частинок менше за 0,2 мкм, забезпечує збільшення межі міцності та текучості порівняно з суцільними матеріалами в декілька разів.

На жаль, порошкова металургія має деякі специфічні недоліки, що стримує її розповсюдження та використання. Так, окремі порошки мають високу вартість, деталі малотоннажні, є обмеження в технологічних процесах виготовлення деталей за формами, розмірами тощо.

Основні етапи одержання виробів методом порошкової металургії:

- виробництво порошків;
- формування заготовок;

- нагрів (спікання) заготовок;
- додаткова обробка спечених виробів.

5.1 Основні технології виробництва порошків

При виробництві порошків розрізняють дві групи методів: механічні (що не викликають суттєвих змін за хімічним складом) та фізико-хімічні (які здатні до суттєвих фізико-хімічних перетворень).

До механічних методів відносять: операції переводу твердого матеріалу у порошок (різання, дроблення, розмелення, диспергування ультразвуком) та операції переводу рідкого матеріалу в порошок (розпилення шляхом подрібнення розплавів механічно, відцентровими силами, або енергоносієм; сюди відносять і грануляцію).

До фізико-хімічних відносять: методи відновлення хімічних сполук (технологія залежить від типу відновлювача та перебігу' процесу), електроліз металів (у водних або у сольових розчинах), термічний розклад хімічних сполук (наприклад, термічна дисоціація), між-кристалеву корозію, термодифузне насичення, сублімацію та конденсацію (останню широко використовують при одержанні порошків Zn та Cd).

Проте найчастіше використовують комбіновані методи.

Залежно від призначення продукцію порошкової металургії (матеріали та вироби з них) підрозділяють на:

- антифрикційні;
- фрикційні;
- конструкційні;
- фільтраційні;
- електротехнічні;
- твердосплавні.

Антифрикціині матеріали мають стабільний і малий коефіцієнт тертя (0,04...0,06). Пористість таких матеріалів становить від 15 до 35 %. Пори заповнюються маслом, тефлоном або фторопластом. Частіш за все як основу використовують бронзовий або залізний порошок з добавками графіту та інших матеріалів. Бронзографіт за мікроструктурою являє собою зерна твердого розчину олова в міді з вкрапленнями графіту і пор, заповнених мастилом. Структура залізографіту може бути феритна, перлітна та цементитна. В залізо графітах з міддю (Cu) або свинцем (РЬ) графіту, звичайно, від 1 до 7 %, Cu або РЬ від 5 до 7 %, решту становить залізо. Пори, заповнені машинним маслом, у такому матеріалі займають до 20 % об’єму. Після

просочування маслом у процесі виготовлення виробів проводять, як правило, калібрування, що зменшує поровий канал.

Антифрикційні матеріали використовують для виготовлення підшипникових втулок, вкладишів, які застосовуються в різноманітних галузях промисловості (автомобільній, верстатобудівній, авіаційній тощо). Такі матеріали можуть працювати при швидкостях тертя від 6 до 30 м/с. Підшипники, в матеріалі яких пори насичені фторо-пластом, можуть працювати в кислих і лужних середовищах при температурах до 280 °С. Підшипники газових та парових турбін, які працюють за ще більш високих температур, виготовляють з антифрикційних матеріалів, до складу яких входять порошки хромонікелевих сталей з домішками дисульфіду молібдену.

У фрикційних матеріалах максимальний коефіцієнт тертя стабільний у всьому діапазоні експлуатаційних температур. Фрикційні матеріали з порошків при роботі у маслі мають коефіцієнт тертя від 0,08 до 0,15, а при сухому терті – від 0,3 до 0,7. Пористість таких матеріалів коливається від 10 до 15 %. Основу фрикційних матеріалів становлять складні за хімічним складом композиції міді або заліза з іншими матеріалами. До складу фрикційних матеріалів входять компоненти, що являють собою мастило і запобігають зносу матеріалу (свинець, графіт, різноманітні сульфіди та сірчанокислі солі), та компоненти, які надають матеріалу високих фрикційних властивостей (азбест, кварцовий пісок, різні оксиди та тугоплавкі з'єднання). Матеріали, одержані за допомогою порошкової металургії, можуть працювати при швидкостях тертя до 50 м/с і напруженнях до 450 МПа, тоді як традиційні матеріали працюють лише за напружень до 50-60 МПа.

Фрикційні матеріали застосовують в літако-, автомобіле- та екскаваторобудуванні, у гальмівних вузлах і вузлах зчеплення. Особливі вимоги пред'являють до відповідних деталей в літакобудуванні. У літаках у момент посадки на вузлах, які піддаються тертю, температура досягає 1100 °С, тому там часто використовують спечені фрикційні металокерамічні матеріали. Енергія тертя знижується за рахунок тепловідводу і високої змащуваності, а тертя створюють неметали типу азбесту та кремнезему. Вельми ефективна для цього металокераміка типу МКВ-50, до складу якої входить від 8 до 10 % С (у вигляді графіту), 4 % ВС (карбід бору), 4 % SiO_2 (кремнезему) та інші добавки.

На цей час до 60 % продукції порошкової металургії становлять конструкційні матеріали, основу яких складає, як правило, залізний порошок з добавками графіту, міді та інших компонентів. Пористість таких матеріалів знаходиться в межах 5... 13 %. З них виготовляють кулачки, храповики, шарові вставки, корпуси підшипників, зірочки розподільчих валів, деталі обчислювальної техніки (шестерні, привід принтерів тощо). Особливо активно ці матеріали використовуються в автомобілебудуванні. У США при виготовленні одного серійного автомобіля середнього класу витрачається до 16 кг порошкоподібного матеріалу, з якого роблять гайки, фланці, з'єднання поршневих груп. При виготовленні ненавантажених та малонавантажених деталей застосовують подвійне пресування, а для високонавантажуваних деталей – динамічне.

Фільтруючі матеріали (фільтри) можна виготовляти з будь-яких порошкових матеріалів. Часто використовують порошки нікелю, срібла, титану, бронзи, нержавіючих сталей та інші матеріали. При спіканні таких порошків (з наповнювачем або при вільній засипці) паровий канал не повинен закриватися, а пористість кінцевого продукту має бути не нижча за 25...50 %.

Фільтри з порошкових матеріалів широко використовують в промисловості для фільтрації палива, різних мастил і смол, очистки газів та повітря від пилу, фільтрації розплавлених низькоплавких металів, кислот, лугів та інших продуктів хімічної промисловості. В особливих випадках використовують двошарові фільтри (внутрішня частина яких із мілких частинок порошку, а зовнішня – з більш крупних). Спеціальні фільтри можуть затримувати частинки розміром від 0,5 мкм і працювати в діапазоні температур від надзвичайно низьких (– 273 °С) до вельми високих (700-900 °С).

Переваги порошкових фільтрів порівняно з традиційними (тканинними, повстяними, картонними та іншими) у тому, що вони міцніші і після забруднення їх можна піддавати регенерації. До електротехнічних матеріалів відносять електроконтактні та магнітні. Електроконтактні повинні мати низький контактний та перехідний опір, але високу міцність і твердість, тобто це можуть бути композити типу Cu – W та подібні до них. При замиканні таких контактів і виникненні дуги оксид кадмію або мідь випаровується і робить дугу такою, що проводить, внаслідок чого вона загасає. Для цього слід використовувати металокерамічні контакти типу А10М або А30. Застосовують їх для розривних та ковзаючих контактів, а також у

динамомашинах. Спечені розривні контакти забезпечують до 3 млн вмикань.

Магнітні матеріали вельми чутливі до наявності в них домішок, і в зв'язку з цим дія пористості негативна. Магнітом'які матеріали (з малою коерцитивною силою) готують з чистого залізного порошку або порошків на основі оксиду заліза, вони швидко намагнічуються і розмагнічуються. Магнітотверді матеріали (постійні магніти з високою коерцитивною силою) одержують із сумішей порошків Fe – Ni, Fe – A1 та інших. На цей час створено такі магнітотверді матеріали, 1 г власної ваги яких може утримувати більше 1 кг навантаження. З феритних порошків (оксидні з'єднання типу Fe_2O_3 – MeO) у композиції з 5-15 % ізоляційних матеріалів (фенольні смоли, силікати, каучук та інші) шляхом пресування і спікання одержують також магн ітодіел ектри ки. Твердосплавні інструментальні матеріали, які виготовляють з дисперсних порошків карбідів вольфраму, титану, танталу (WC, TiC, TaC) з добавками порошку кобальту (Co), а також мінералокерамічні матеріали на основі порошку оксиду алюмінію ($A1_2O_3$).

5.2 Формування порошків

Формування порошків – це надання порошковому матеріалу форми, розмірів, щільності і міцності, які необхідні для виконання наступних операцій виготовлених виробів.

Пресовки отримують холодним пресуванням в пресформах, гарячим пресуванням, поздовжнім, поперечним і поперечно – гвинтовим прокатуванням, методами, які застосовуються при формуванні полімерних матеріалів – екструзією (видушування порошку через мундштук з отвором, переріз якого визначає форму виробу), ливарним пресуванням і гідростатичним з ущільненням, коли порошок розміщують в герметичну оболонку(із гуми), яка деформується і ущільнюється при всебічному тиску рідкого середовища на цю оболонку. Тиск пресування знаходиться в межах від 300 до 1000 МПа, тверді сплави пресують під тиском 100…150 МПа тому, що частинки карбідів крихкі і при великому тиску подрібнюються.

При пресуванні змінюється форма частинок порошку із сферичної перетворюється в подібну до багатогранника. Збільшується відносна густина пресовки, зменшується пористість. Збільшується поверхня контакту і щеплення частинок за рахунок їх взаємного тужавлення і

дифузії по чистим поверхням. В місцях де руйнувалась оксидна плівка, і за рахунок електростатичних сил також проходило щеплення.

Ущільнення порошку в різних точках заготовки неоднакове. Найбільша щільність виробу під пресуючим пуансоном, найменша –на дні матриці. Нерівномірність ущільнення спостерігається і по площині, яка перпендикулярна дії сил: в верхній частині виробу краї щільніші, в нижній – центр щільніший.

Застосовуються як роз'ємні так і нероз'ємні матриці. Із роз'ємних матриць готові пресовки видаляються після розбирання останніх. Пластинки твердих сплавів для різальних інструментів отримають у глухих матрицях при односторонньому русі пуансона. Двухстороннє пресування дозволяє зменшити нерівномірність ущільнення, але при спіканні такої пресовки в середній її частині пройде найбільша усадка з утворенням "талії". Тому конструкція пресформи і технологія пресування повинна забезпечити однакову щільність готових пресовок.

Одним із видів формування порошків є ізостатичне пресування. Порошок розміщують в гумову оболонку товщиною 0,1...0,15мм, ущільнюють вібруванням і вакуумують для видалення повітря із пор. Оболонку з порошком розмішують в робочу камеру, в яку нагнітають рідину або газ під великим тиском. Порошок в оболонці рівномірно обтискається з усіх сторін. Зовнішнє тертя порошка відсутнє, так як оболонка переміщується разом з порошком. При цьому тиск пресування набагато менший чим в першому випадку, а щільність пресовки отримується однаковою.

Цей вид пресування поділяється на гідростатичний і газостатичний. В першому випадку обтиснення виконується рідиною (масло, вода, гліцерин), в другому – газом. Гідростатичним пресуванням отримують циліндри, труби, тиглі, вироби складної форми, шари тощо. Маса пресовок може досягати 500кг. Оболонка із маси на основі натурального каучука витримує до 1000 циклів пресування. До недоліків ізостатичного пресування відносяться – низька продуктивність і невисока точність.

Вироби в вигляді стрічок формують прокатуванням порошків та їх сумішей між гладкими валками. Одночасне прокатування двох порошків різних металів або металевого листа з шаром порошку дозволяє отримати багатошаровий прокат. Але товщина прокатування невелика тому, що кут захвату не перевищує 130. Широко

застосовується прокатування в вакуумі або інертному газі порошків із активних металів (титану, танталу, цирконію).

Вироби в вигляді прутків, труб, кутників отримують за допомогою мундштукового пресування. Суть цього методу заключається в тому, що порошок з пластифікатором розміщують в контейнер і видавлюють його пуансоном через отвір в мундштуку. Пластифікатором служить парафін, крохмаль, полівініловий спирт. Підігрітий порошок дає можливість обходитись без пластифікаторів. Алюміній та його сплави пресують при 400...600°С, нікель і сталь при 1050...1250°С, мідь при 800...900°С. Хімічно активні метали титан, цирконій, берилій пресують в захисному середовищі або захисних оболонках із скла, графіту або металевої фольги.

Вироби складної форми отримують шлікерним формуванням. При цьому в пористу форму шлікера заливають однорідну концентровану суспензію порошка в рідині. Кількість порошка складає 40...70%. Твердий шар створюється за рахунок того, що рідина входить в пори форми і частинки осідають на її стінках. Формування шару займає до 60хв в залежності від товщини стінки виробу. Потім виріб сушать при температурі 100...150°С.

5.3 Спікання і обробка спечених виробів

Спікання є спеціальний відпал спресованих заготовок з метою підвищення його механічних властивостей. При формуванні поверхня контакту між частинами порошку складає невелику частину загальної поверхні. При спіканні ця поверхня значно збільшується, при цьому зростає щільність металу і його міцність.

При спіканні проходить відновлення окислів на металевих частинках і утворення міцного металевого контакту. При цьому спостерігаються явища знімання внутрішніх напруг і викривлення в кристалічній решітці, рекристалізація і дифузія.

В результаті спікання маломіцні механічні зв’язки між частинками порошку замінюються більш міцними міжатомними зв’язками.

Температура спікання в першу чергу залежить від величини частинок порошку, які спікаються. Тонкі порошки мають велику внутрішню і зовнішню поверхню тому температура спікання таких порошків нижче чим порошків більші великої фракції того ж складу. Порошки мають внутрішню поверхню тому, що частинки пористі.

Спікання виконується в печах з захисною атмосферою. При цьому температура спікання заготовок, спресованих із порошку одного

металу складає приблизно 75% від температури плавлення цього металу. Для заліза ця температура складає 1100...1200, для міді 800...900, для молібдену 2100...2300°С.

На першій стадії спікання знімається наклеп і залишкові напруги, що супроводжується послабленням фізичного контакту між частинками. Щільність при цьому практично не змінюється.

При температурі приблизно 50% від температури плавлення відновлюються оксиди і видаляються із пресовки газоподібні речовини. Підвищення, або пониження щільності на цій стадії залежить від кількості оксидів і характеру пороутворення, що впливає на видалення газів.

При температурі близькій до 75% від температури плавлення проходить дифузійна рекристалізація з повним розвитком металевих контактів і ущільнення матеріалу.

Спікання двох або багатокомпонентних пресовок виконується при температурі вищій точки плавлення найбільш низькоплавкого компоненту, який вводиться в суміш в якості зв'язки. При спіканні утворюється рідка фаза. Наприклад, температура спікання порошків міді і олова 700...8000, заліза і міді 1100...1200^{0}С.

В залежності від взаємної розчинності компонентів і здатності утворювати хімічні сполуки отриманий після спікання матеріал є однофазним або багатофазним.

Тривалість спікання складає до 3 годин. Доцільно проводити спікання в нейтральному або відновлювальному середовищі, такому як вакуум, водень, азот тощо. При цьому не буде окислення пресовок. Якщо на поверхні пресовок знаходяться оксиди, які не відновлюються воднем, то в шихту вводять вуглець в вигляді сажі, який відновлює при нагріві оксиди титану, магнію, хрому, ніобію, танталу. Температури спікання виробів із порошків на основі заліза складають 1100...1200°С, на основі міді-800..950˚С. І для цих цілей застосовуються електричні печі. Для спікання порошків при температурах 1100˚С в електричних печах застосовуються опори з ніхромовими елементами, при температурі до 1500˚С – з молібденовими елементами, до 2500°С – з вольфрамовими елементами.

Для спікання при більш високих температурах через виріб пропускають електричний струм, або застосовують високочастотний нагрів. Пресування і спікання можна об'єднати в одну операцію (гаряче пресування). При цьому застосовуються більш низькі температури (на 10...30% нижче від температур спікання

холоднопресових заготовок), а тиск складає 5...10% тиску звичайного пресування. Обробка спечених виробів. У деяких випадках виробництва спеціальних видів виробів застосовують просочування спресованного і спеченого каркасу із тугоплавкої речовини легкоплавким сплавом.

Необхідною вимогою просочування є змочування тугоплавкої речовини розчином. Просочування виконують зануренням пористого каркасу в розчин або на пористий каркас кладуть кусочок легкоплавкого сплаву і розплавляють його в захисному середовищі. Мідь просочують свинцем, карбід титана –сталлю, вольфрамові волокна – міддю або міднонікелевими сплавами.

До додаткової обробки спечених виробів відносять: регулювання структури термообробкою, доводки виробу по розміру – калібрування або механічна обробка. Калібрування виконують в спеціальних калібровочних пресформах. Зусилля калібрування складає 10...25% від зусилля пресування. Калібруванням можна досягти 1...2 класу точності при 7...9 класах чистоти поверхні. Тому, що спечені вироби пористі то механічним шляхом їх обробляти важко.

А в процесі роботи спостерігаються вириви і досить важко отримати необхідну чистоту поверхні. Тому виконують механічну обробку на високих швидкостях твердосплавним інструментом з спеціально підібраними кутами різання.

Пористі порошкові матеріали

Пористі порошкові матеріали мають пори, які рівномірно розповсюджені по всьому об’єму пресовки. В залежності від відсотку цих пор в загальному об’єму пресовки останні поділяються на: антифрикційні пористі порошкові матеріали (пористість 15...35%), фрикційні пористі порошкові матеріали (пористість 10...13%), фільтри (пористість 25...50%), пористі і піноматеріали (пористість 95...98%).

Найбільш поширеною групою є антифрикційні пористі матеріали, які використовуються для підшипників ковзання. Основою цих підшипників є пористий матеріал, який заповнений змащувальним матеріалом, що виконує примусовий підвід останнього.

Це особливо необхідно для чистих виробництв фармацевтичної та легкою галузі. Ці підшипники витримують більші навантаження чим литті, а при збільшенні швидкості обертання в них зменшується питомий тиск. В цих підшипниках вал майже не спрацьовується і шум зменшується в 3...4 рази чим в шарикових підшипниках. Спочатку для

пористих підшипників застосовували бронзу, яка в подальшому замінилась залізом, залізо – графітом з добавкою 5...7% міді.

Виготовляють також мідно-графітові, бронзо-графітові підшипники, в яких графіт змішується з маслом і покращує умови змащування підшипника. Введення сірки в склад змащувальної рідини дозволяє підвищити робочу швидкість до 80м/с і підвищити допустиму робочу температуру. Корінні та шатунні підшипники автомобільних двигунів виготовляють слідуючим чином: на стальну стрічку напиляють пористий шар суміші мідь – нікель – графіт і просочують зверху бабітом.

Таким чином вкладиш підшипника буде трьохшарний і він має більш високі антифрикційні властивості і більш довговічний чим стальний з бабітовою заливкою. Для роботи підшипників при температурах 500°С і в вакуумі розроблені пористі матеріали на основі з'єднань карбідів, боридів тугоплавких сполук. В якості твердого мастила застосовуються сульфіди, селеніди і гексагональний тітрид бора.

При спіканні титану, бронзографіту, нержавіючої сталі з фторопластом Ф – 4Д або Ф – 4ДП отримують металопластмасові антифрикційні сталі, які мають високі корозієстійкі і зносостійкі властивості. Ці матеріали працюють вдвоє довше чим антифрикційні матеріали інших типів.

Технологічна схема виготовлення підшипникових втулок складається із пресування і спікання порошків, просичення виробу маслом і калібрування пресуванням. Ці вироби не потребують механічної обробки.

5.4 Фільтри

Фільтри, які отримують із спечених порошків по зрівнянню з фільтрами виготовленими із паперу, фібри, фетра, металевих сіток, фторопластових і нейлонових пористих матеріалів мають більшу міцність, теплостійкість, стабільність форми і можливість очищення стисненим газом, рідиною або хімічною чи термічною очисткою. Особливо ефективні ці фільтри коли необхідна тонка фільтрація. Ці фільтри можуть працювати в інтервалі температур 300...9000°С і бути корозієстійкими і жароміцними. Такі фільтри затримують частинки розміром до 1мкм. Тому їх доцільно використовувати для очищення рідин від твердих частинок, повітря і газів від пилу, а також для регулювання кількості рідини і газів.

Фільтри виготовляють із порошків заліза, сталі, бронзи, титану, нікеля, срібла, латуні. Для металургії і хімічної галузі фільтри виготовляють на основі нікелевих сплавів, вольфраму, молібдена та тугоплавких сполук.

Фільтруючі елементи можуть мати вигляд стаканів, циліндрів, втулок, дисків, плит, труб, стрічок. Розміри їх знаходяться в інтервалі 1,5...1000мм.

Фільтри із спечених матеріалів дають великий економічний ефект, вони можуть працювати тисячі годин і піддаватись регенерації в процесі роботи. Застосовуються фільтри в декілька шарів з різною пористістю і діаметром пор. Перший шар затримує більш великі частинки, другий і наступні – мілкі. Це дає можливість фільтру не забиватись. Установка пористих матеріалів із нержавіючої сталі в холодильниках доменних печей дозволила перейти на випаровувальне охолодження взамін водяного, що привело до значного зменшення витрат води і збільшило строк служби вогнеупорів.

Розділ 6. Неметалеві конструкційні матеріали

6.1. Полімери та пластичні маси

Вирішення багатьох актуальних народногосподарських завдань – підвищення якості, надійності і довговічності виробів, економія металу, боротьба з корозією – усе це безпосередньо пов'язане з використанням полімерів і виробів з них. Основні споживачі таких виробів – машинобудування, літакобудування, суднобудування, атомна промисловість, космічна техніка, сільське господарство, харчова, легка й інша галузі промисловості. Переважне використання полімерів пов'язане з поєднанням цінних властивостей у полімерних виробах (висока механічна міцність, низька щільність, стійкість в агресивних середовищах, еластичність, стійкість до зносу і т. п.) з високою технологічністю процесів їхнього виготовлення, а також з різноманітною і доступною сировинною базою.

6.1.1 Полімери

Полімери – це речовини, макромолекули яких складаються із численних елементарних ланцюжків (мономерів) однакової структури. До природних полімерів належить каучук, целюлоза, азбест, графіт, інші. Однак, переважне використання мають штучні полімери, кількість яких надзвичайно велика.

Найбільш обширну групу штучних полімерів складають органічні полімери: смоли й каучуки, які широко використовуються як герметики, вихідні матеріали гуми тощо. *Неорганічні полімери* – силікатне скло, кераміка, азбест, слюда, графіт. Неорганічні полімери відзначаються високою густиною і теплостійкістю, однак вони досить крихкі, не витримують динамічних навантажень.

Обидва види полімерів можуть перебувати за нормальних умов у трьох фізичних станах: склоподібному, високоеластичному та в'язкотекучому. У склоподібному стані – полімери тверді та аморфні. Для високоелестичного стану характерна можливість зміни форми та розмірів при незначних навантаженнях і відновлення їх після припинення дії сили. В'язкотекучий стан нагадує рідкий стан з дуже високою в'язкістю.

Основним недоліком усіх полімерів є старіння, тобто самовільні необоротні зміни основних технічних характеристик, які відбуваються внаслідок складних фізико-хімічних процесів при експлуатації та зберіганні. Причинами старіння є дія світла, тепла, кисню, озону.

Старіння прискорюється внаслідок багатократних деформацій, порізному впливає волога. Для запобігання старінню в полімерні матеріали вводять стабілізатори, які значно подовжують строки експлуатації. Так, поліетилен (продукт полімеризації) без стабілізаторів стає крихким через 1–1,5 роки при звичайних умовах помірного клімату та через 1–2 місяці при -20°С й відносній вологості 60%. Строк його експлуатації продовжують до 5 років уведенням, як стабілізатора, сажі.

Стосовно нагрівання розрізняють термопластичні та термореактивні полімери. Термопластичні полімери можна багаторазово нагрівати до температури плавлення і охолоджувати без зміни хімічного складу і структури. Приклади таких полімерів – поліетилен, поліпропілен і ін.

Термореактивні полімери при нагріванні спочатку плавляться, а питім тверднуть, втрачаючи здатність плавитися знову. Такі полімери мають у макромолекулах кратні зв'язки або активні (функціональні) групи, що, реагуючи при нагріванні, зв'язують макромолекулі між собою, утворюючи просторову структуру. Цей процес є необоротним. До термореактивних належать деякі фенолоформаль-дегідні полімери.

За методом одержання полімери розділяють на полімеризаційні і а поліконденсаційні, тобто відомі два методу синтезу полімерів, що істотно відрізняються: полімеризація і поліконденсація. До помімеризаційних полімерів відносяться поліетилен, полівінілхлорид, полістирол і ін., до поліконденсаційних – капрон, фенолоформальдегідні смоли й ін.

6.1.2 Методи синтезу полімерів

Метод полімеризації

Реакцією полімеризації називається процес з'єднання багатьох молекул мономера в одну велику молекулу полімера, за рахунок розриву подвійних зв'язків або розкриття циклу. Побічні продукти реакції при цьому відсутні.

Для одержання полімерів необхідних властивостей застосовується також сополімеризація, тобто спільна полімеризація двох і більше різних мономерів.

Процеси полімеризації здійснюються в блоці (або в масі), в розчині, в емульсії і суспензії (краплинна або бісерна полімеризація).

При блоковій полімеризації полімер утворюється в середовищі мономера, і в міру зростання концентрації полімеру в'язкість середовища збільшується, що обумовлює його нерівномірне

нагрівання і неоднорідний склад. Цим методом одержують листові матеріали з полістиролу, поліетилену, поліметилметакрилату, натрійбутадієнового каучуку і т. п.

При полімеризації в емульсії мономер змішується з ініціатором і емульгатором у воді (частки мономера знаходяться в завислому стані), при нагріванні в полімер перетворюються емульсії. Емульсійний спосіб простий, дає полімер більш однорідного складу, ніж блоковий, та застосовується при одержанні полівінілхлориду, полістиролу, деяких марок і різних сополімерів бутадієну, вінілацетату, акрилонітрилу й ін.

Полімеризація в розчині здійснюється із застосуванням речовин, у яких розчиняються мономер і полімер або тільки мономер. У першому випадку одержують розчин полімеру, що застосовують як лак, або виділяють з нього полімер випаровуванням розчинника. В другому випадку полімер випадає у вигляді осаду з розчину і відокремлюється фільтруванням. Одержувані полімери відрізняються однорідністю складу (полівінілацетат, полібутилакрилат і ін.).

Краплинна або суспензійна полімеризація полягає в тому, що мономер рівномірно розподіляється (диспергується) у воді; ініціатори полімеризації, застосовувані при цьому, розчиняються в мономері, але нерозчинні у воді.

Полімеризація відбувається в кожній великій краплі мономера розміром 0,05...0,3 см (на відміну від емульсії, де розмір краплі складає 10^{-4}...10^{-3} см). Полімер утворюється у вигляді твердих часток, що не розчиняються у воді, і відокремлюється фільтруванням.

Метод поліконденсації

Реакцією поліконденсації називається утворення високомолекулярної сполуки внаслідок взаємодії великої кількості молекул двох або кількох різних мономерів з одночасним виділенням побічних низькомолекулярних продуктів реакції (H_20, NH_3, HCI, $C0_2$ та ін.)

Полімери, що утворюються при поліконденсації, мають як лінійну (поліаміди, поліефіри, полікарбонати), так і просторову структуру (амінокислоти, фенолоальдегідні смоли). Здійснюється процес поліконденсації в розплаві, в розчині і на поверхні двох фаз.

Сировина для синтезу полімерів

Для проведення процесів синтезу полімерів необхідні різні мономери, що одержують на основі продуктів переробки деревини і паливних копалин: кам'яного вугілля, нафти, природних і нафтових

супутніх газів.

Різноманіття продукції промисловості органічного синтезу обумовлює необхідність у досить різноманітних сировинних матеріалах. Так, наприклад, асортимент тільки основних видів пластмас налічує багато десятків найменувань. Сировина для виробництва включає більш як 300 різних хімічних продуктів і напівпродуктів.

Сировину для виробництва полімерів можна умовно розділити на такі групи: коксохімічна – бензол, фенол, ксилоли, крезоли, резорцин, фенантрен, ацетанафтен, етилен, нафталін; нафтохімічна, що одержується при переробці нафти, нафтопродуктів і побічних газів нафтовидобутку, – етилен, пропілен, бутилен, ацетилен, бенчол, фенол, ацетон; сировина, одержувана при переробці природного газу, – ацетилен, метанол, аміак, карбамід; мінеральна сировина – хлор, сірчана кислота, оксид кальцію; рослинна сировина– целюлоза, фурфурол і ін.

Нафтохімічна сировина і продукти переробки природних газів складають 90...95 % від загального обсягу сировини усіх видів.

6.2. Пластичні маси

Пластмаси – це штучні матеріали, які одержують на основі природних або синтетичних органічних полімерних речовин уведенням у них наповнювачів (кварцева мука, скловолокно, папір, асбест, інші), пластифікаторів (дибутилфталат, стеарин, олеїнова кислота), стабілізаторів (сажа, вугілля) та пігментів (оксид заліза, оксид свинцю, оксид хрому та інші). Пластмаси при нагріванні розм'ягчаються, стають пластичними так, що дією тиску їм можна надавати задану форму, яка зберігається після охолодження. Властивості пластмас залежать від складу, тобто від виду та кількісного співвідношення складових, що дає змогу в достатньо широких межах варіювати їхніми фізико-технологічними характеристиками. Основний недолік пластмас – невисока теплостійкість, низькі межа пружності та ударна в'язкість, схильність до старіння.

У залежності від складу розрізняють пластмаси **прості** (ненаповнені) і **складні** (наповнені).

Прості пластмаси складаються тільки з полімерів (іноді з добавкою пластифікатора). До них відноситься поліетилен, полівінілхлорид, полістирол, органічне скло.

Складні пластмаси містять, крім полімерів, ряд компонентів в залежності від вимог до властивостей матеріалу. До них відносяться фенопласти, амінопласти і т. п., наприклад, пластикат полівінілхлориду, що містить полівінілхлорид, пластифікатор, наповнювач і інші компоненти.

Основні компоненти складних пластмас: сполучні речовини, наповнювачі, пластифікатори, змащувальні речовини, речовини, що сприяють затвердінню, каталізатори, стабілізатори, барвники та ін.

Сполучна смола забезпечує зчеплення компонентів пластмаси, здатність спочатку при нагріванні формуватись, а потім при охолодженні переходити у твердий стан. Вміст смоли в композиції становить звичайно 40–50 %.

Наповнювачі додають пластмасам цінні експлуатаційні властивості – міцність , термостійкість і ін., а також знижують вартість пластмасових виробів.

Наповнювачі становлять до 60 % композиції. Як наповнювачі звичайно застосовують дешеві органічні і неорганічні матеріали у вигляді волокон, шаруватих матеріалів: деревне борошно, сажу, целюлозу, скловолокно, папір, азбест, графіт і т.п.

Пластифікатори знижують температуру переходу смоли в текучий пластичний стан, полегшуючи тим самим переробку пластмаси у виріб. Як пластифікатори застосовують висококиплячі рідкі, рідше тверді речовини, такі як фталати, алкіл- і арилфосфати й ін.

Речовини, що змащують, вводять у композицію для полегшення виштовхування готових виробів із прес-форми, до них відносяться солі стеаринової кислоти, воски.

Затверджувальні речовини сприяють переходові смоли в неплавкий і нерозчинний стан завдяки зшивці лінійних ланцюгів макромолекул у тривимірну структуру з поперечними зв'язками. Як затверджувачі застосовують поліаміни й інші речовини залежно від вихідної смоли.

За характером вихідного полімера пластмаси поділяють на *термопластичні* (термопласти), які одержують із термопластичних полімерів, і *термореактивні* (реактопласти) – на основі терморективних смол. Термопласти зручні для переробки у вироби, оскільки дають незначну усадку при твердненні (1–2,6%), характеризуються малою крихкістю, достатньо пружні. Термореактивні полімери після тверднення дають значну усадку (6–13%), досить крихкі. Вироби із термопластів можуть піддаватись

повторній переробці, вироби ж із термореактивних пластмас повторній переробці не підлягають.

Для практичного використання у термореактивні полімери вводять підсилювальні наповнювачі. За видом такого наповнювача пластмаси поділяють на порошкові (деревна мука, сульфідна целюлоза, графіт, інші), волокнисті (відходи бавовни та льону – волокніти; скляні волокна – скловокніти; азбест – азбоволокніти ; вугільні та графітові волокна – карбоволокніти); шаруваті (листи відходів паперової промисловості – гетинакс; бавовняні, скляні, азбестові листи – текстоліт, склотекстоліт, азботекстоліт; деревний шпон – деревинношаруваті пластики); крихтоподібні (наповнювачі у вигляді клаптиків тканини, деревного шпону); газонаповненні (наповнювач – повітря або нейтральні гази – пінопласти та поропласти). Загалом промисловість випускає більше 80 видів пластмас. Властивості та застосування деяких, найбільш поширених, розглянемо нижче.

6.2.1 Загальні властивості пластмас

Найважливіші фізико-механічні властивості пластмас – низька щільність, досить високі міцність та електроізоляційна властивість, хімічна стійкість, низька теплопровідність. Крім того, пластмаси можуть бути оптично- і радіопрозорими, пружними або еластични ми. З них легко формуються вироби.

Щільність різних пластмас складає 900...2500 кг/м^3, тобто вони и середньому в 2 рази легші за алюміній, у 5...8 разів легші від сталі, міді, свинцю, бронзи.

Механічні властивості пластмас значною мірою залежать від насиченості в їхньому складі наповнювачів. Найбільш високу міцність Мають пластмаси з волокнистими або шаруватими наповнювачами (азбест, скловолокно, скляна або бавовняна тканина, папір, деревна шпона). Наприклад, скловолокнит має межу міцності при стисненні 130 МПа, при вигині – 100 МПа, при розтяганні – 80 МПа.

Пластмаси не проводять електричний струм, окремі види їх є найкращими діелектриками в сучасній техніці.

На відміну від металів, більшість пластмас не взаємодіють не тільки з водою, а й з різними кислотами, лугами і без антикорозійною покриття використовуються в хімічному машинобудуванні. Фрикційні властивості пластмас змінюються в широких межах. Пластмаси, що характеризуються низьким коефіцієнтом тертя і швидкістю зношування, використовуються для виготовлення підшипників

ковзання, що не вимагають змащення або в яких в якості мастильного матеріалу використовуються вода та водні емульсії. Пластмаси, що мають при терті без мастильного матеріалу високі фрикційні властивості при досить малій швидкості зношування, застосовуються як гальмовий матеріал.

Крім перерахованих фізико-механічних властивостей, пластмаси мають і недоліки, що звужують сферу їхнього застосування. Так, більшість пластмас мають низьку теплостійкість (70...250 °С), хоча деякі пластмаси перебувають у робочому стані при нагріванні до 300...350 °С. Низька теплостійкість значною мірою обмежує застосування пластичних мас, особливо як замінників металів.

При нагріванні пластмас відбувається значне збільшення їхнього об'єму. Коефіцієнт температурного розширення їх складає (25... 120) 10^6–1/°С (сталі – 11.10^6 1/ °С). Це в поєднанні з малою теплопровідністю пластмас обумовлює значні залишкові внутрішні напруження у виробах, появу в них тріщин при різких змінах температури.

Крім того, при використанні пластмас необхідно враховувати їхню здатність до старіння, тобто зниження з часом показників деяких фізико-механічних властивостей.

6.2.2 Технологія одержання виробів із пластмас

Вироби з пластмас найчастіше одержують методами: **гарячого пресування, лиття під тиском, екструзії (видавлювання), видування, обробки різанням.**

Пресування застосовується головним чином для переробки термореактивних пластмас. Дозований прес-матеріал у вигляді порошку, волокнистої маси або попередньо відпресованої таблетки заватажується в нагріту до 130... 190 °С металеву форму і пресується під тиском 20...60 МПа Пресуванням гарячим способом одержують також шаруваті матеріали, що являють собою тканину, папір або деревну шпону, просочені розчином фенолоальдегідної смоли або карбамідної смоли і спресовані в аркуші, трубки або профілі (рис. 6.1).

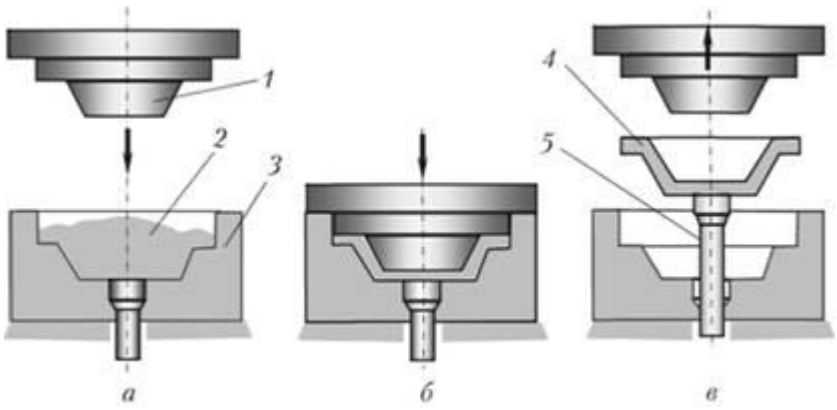


Рис. 6.1 Схеми прямого пресування

А - засипка в прес-форму матеріалу; б- момент пресування; в -момент розприсовки; 1- пуансон; 2- гранульований матеріал; 3 -матриця; 4- готова деталь; 5- виштовхувач

Лиття під тиском найбільш раціональне при використанні як формувального матеріалу термопластичних пластмас. При цьому способі розм'якшена при нагріванні пластмаса видавлюється через ливникові канали в порожнини закритої форми (рис. 6.2).

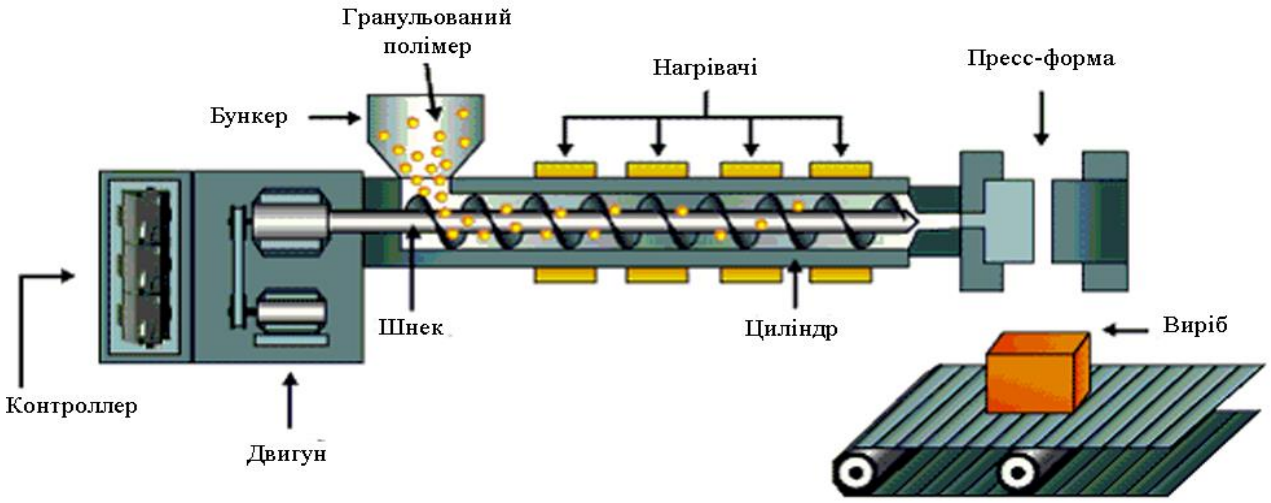


Рис. 6.2 Лиття під тиском

Лиття в холодну форму. Це найпоширеніший спосіб, який застосовують для формування великого асортименту виробів з термопластів у випадку, коли даний процес відбувається без ускладнень. Метод ще називають холодноканальним литтям.

Лиття під тиском при змінній температурі форми. (Рл = 100 200 МПа). У момент заповнення форми, тобто в момент упорскування, форма нагріта до температури, близької до температури розтопу. Після упорскування форма охолоджується з потрібною швидкістю, внаслідок цього значно подовжується цикл лиття. Тому спосіб використовують в крайніх випадках, коли потрібно сформувати виріб тонкостінний, з великою площею поверхні, з полімеру, який характеризується вузьким інтервалом Тр Тд або високою

температурою кристалізації (наприклад, з поліетилентерефталату).

Спосіб інтрузії (спосіб самовільного заповнення форми розтопом). Суть його полягає в тому, що форма заповнюється розтопом при невисокому тиску (до 40 МПа) і при постійному обертанні шнека, який знаходиться в крайньому лівому положенні (в кінці зони дозування). При цьому опір оснащення повинен бути мінімальним, тому перетин каналів ливникової системи роблять максимально великим, або ж порожнина форми заповнюється відразу з центрального ливникового каналу.

Для створення потрібного тиску, який би забезпечив необхідну швидкість течії, використовують шнек зі зворотним конусом. Отже, при цьому способі суміщаються операції пластикації і заповнення форми.

Спосіб використовують для виготовлення товстостінних великогабаритних виробів, які за масою можуть значно перевищувати максимальну дозу, яку здатний накопичити шнек у пластикаційному циліндрі при його відведенні в крайнє праве положення. Цим способом переробляють матеріали з високою і широким інтервалом Тр Тд.

Інжекційне (литтєве) пресування. Метод полягає в двостадійному формуванні виробу з використанням форми з двома ступенями змикання.

На першій стадії здійснюється упорскування потрібної дози розтопу в порожнину форми, яка має збільшений об’єм у порівнянні з об’ємом виробу (1 ступінь змикання). Внаслідок більшої висоти порожнини форми, зімкнутої на 1 ступені, тиск упорскування порівняно невеликий. Друга стадія формування полягає в розтисканні розтопу по порожнині внаслідок кінцевого змикання форми до 2 ступеня змикання за рахунок збільшення тиску у вузлі запирання литтєвої машини.

Такий спосіб дозволяє зменшити тиск лиття на 55 ÷ 70 %. Прес-лиття використовується для виробництва тонкостінних великоформатних виробів, наприклад, грамплатівок. При малій висоті формуючої порожнини внаслідок великого опору течії при звичайному методі лиття потрібно було б створювати тиск лиття 250 300 МПа.

Лиття під тиском багатокомпонентне. До такого методу відноситься лиття, при котрому в одному гнізді форми одержують виріб монолітний, що складається щонайменше з двох окремих частин, з’єднаних між собою, але різних за кольором або типом полімеру.

Метод може бути розділений на дві різновидності:

- відкрите лиття, коли окремі частини виробу є видимі, бо виріб

формується з того самого матеріалу тільки різного кольору;

- таке лиття також називають багатоколірним литтям;
- закрите, при котрому видима є тільки одна частина, а інші є внутрішніми;
- лиття також називають багатополімерним литтям, бо використовують різну сировину.

Багатоколірне лиття. Суть методу полягає в тому, що безпосередньо до форми з окремих пластикаційних циліндрів упорскуються одночасно дози матеріалу з різними кольорами. На першій стадії після замикання форми відбувається підвід пластикаційних вузлів і одночасне упорскування матеріалів, наприклад, червоного (1) і жовтого (2) (рис. 6.3).

Наступні стадії циклу ті ж самі, що і при звичайному литті.

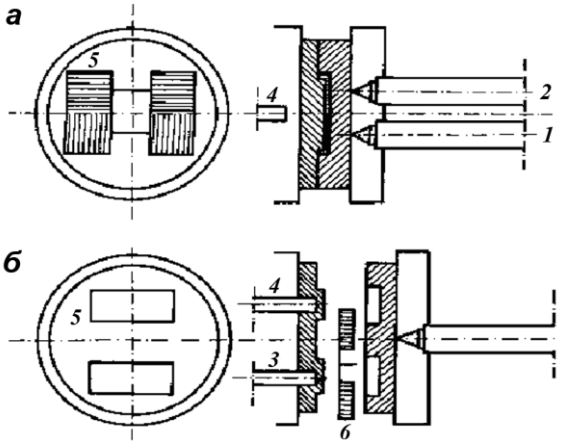


Рис. 6.3 Схема двоколірного лиття з паралельним розміщенням литтєвих циліндрів (паралельне лиття):

а) вигляд зверху після упорскування; б) вигляд збоку після розмикання і виштовхування відливки

Екструзія (видавлювання) є окремим випадком лиття під тиском. Цим способом із пластмас виготовляють труби, прутки, різні профілі, а також наносять ізолюючу оболонку на електропроводи (рис).

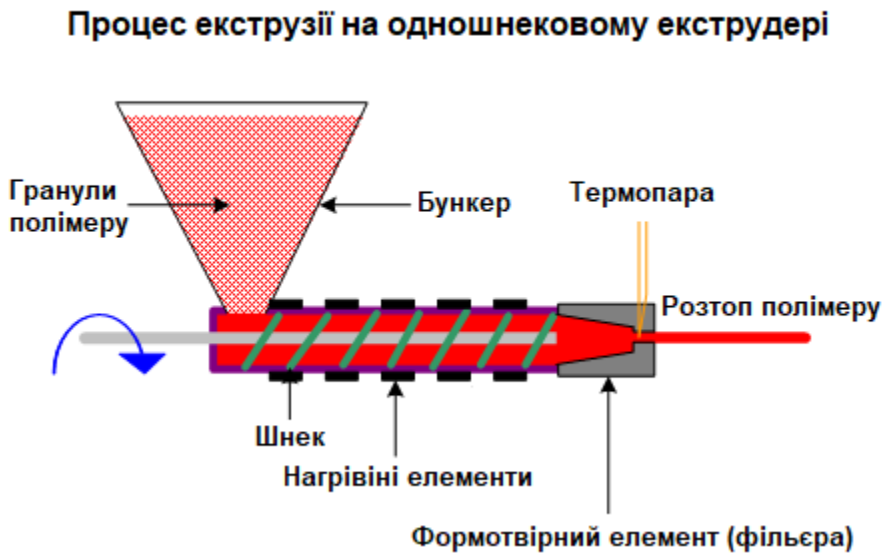


Рис. 6.4 Принцип процесу екструзії на одношнековому екструдері

Видування застосовується для формування порожніх і відкритих виробів з термопластичних матеріалів. Заготовка у вигляді нагрітих листа, трубки або двох листів розміщується між двома половинками роз'ємної металевої форми, що має отвори (сопла) для підведення гарячого повітря, що нагнітається під лист, у трубку або між листами. Розм'якшена заготовка під тиском повітря витягується і заповнює форму. Цим способом одержують вироби з полістиролу, поліакриатів, целулоїду й ацетилцелюлози (рис. 5.4).

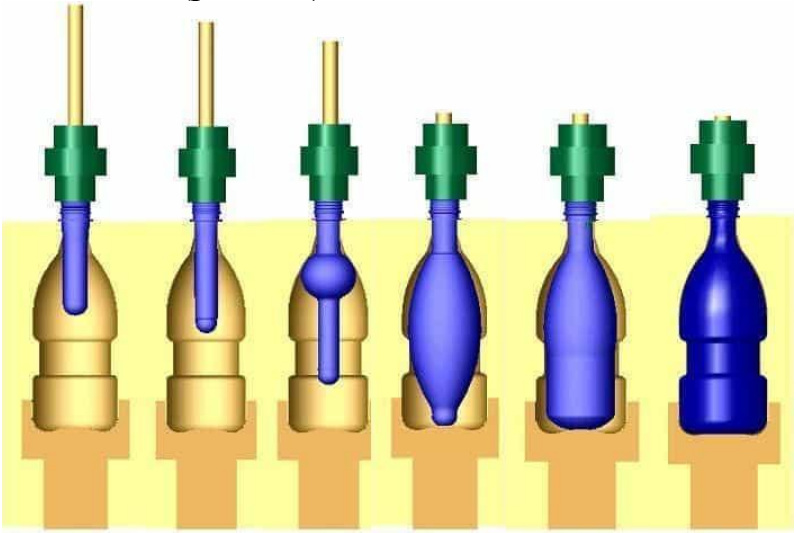


Рис. 6.5 Схема основного процесу виробництва

Обробці різанням піддають вироби, виготовлені пресуванням або ниттям, для видалення деяких дефектів. Крім цього, різанням викопують отвори, різьблення, пази у виробах, що не можуть бути отримані в процесі їхнього пресування або лиття.

6.3 Виробництво полімерних волокон, штучних та синтетичних

Хімічні волокна виробляють з полімерних матеріалів і залежно від вихідного полімеру, що утворює волокно, поділяють на штучні і синтетичні. **Штучні** волокна виготовляють із сировини природного походження – рослинного, тваринного, мінерального. Зі штучних волокон найбільше виробляють віскозних та ацетатних волокон.

Синтетичні волокна роблять з полімерів, що синтезують хімічним шляхом з відповідних мономерів. Із синтетичних волокон найбільше виробляють капрону (поліамідне волокно), лавсану (поліефірне волокно) і нітрону (поліакрилонітрильне волокно).

Технологія одержання хімічних волокон складається з таких стадій:

- підготовка прядильної маси;
- формування волокна;
- обробка волокна.

Прядильну масу готують у вигляді прядильного розчину або розплаву полімеру. Прядильний розчин визначеної концентрації (7-25 %) і в'язкості готують розчиненням полімеру в розчиннику; прядильний розплав одержують нагріванням полімеру, що плавиться без розкладання, до температури плавлення.

Формування волокон проводиться продавлюванням прядильної маси через фільєру-ниткоутворювач, що являє собою металевий ковпачок, у денці якого є безліч дрібних отворів.

Кожен струмок, що виходить з отвору фільєри, твердіє з утворенням найтоншого волокна. Подальший процес формування здійснюють витягуванням елементарних волокон за допомогою пристосувань, що намотують. Сформовані пучки елементарних волокон скручуються в безперервну нитку або ріжуться на короткі відрізки (30–150 мм), утворюючи штапельне волокно, з якого потім прядуть нитки так само, як з бавовни.

Обробка волокна включає видалення домішок ретельним промиванням, відбілювання, фарбування, сушіння і деяку текстильну підготовку (замаслювання, крутіння, перемотування).

З відомих штучних волокон найбільше використовуються віскозні волокна. Основною сировиною для виробництва віскозного волокна служить деревна сульфітна целюлоза, що надходить для переробки у вигляді аркушів розміром 600–800 мм.

Вихідну целюлозу спочатку обробляють 20 % розчином NaOH для очищення від домішок (елемент 1). Як наслідок утворюється нова хімічна сполука – лужна целюлоза (алкалицелюлоза):

$[C_6H_70_2(OH),]л + nNaOH \rightarrow [C_6H_70_2(OH)_2ONa]n + лH_20.$

При цьому домішки переходять у розчин. Набряклі аркуші лужної целюлози віджимають від надлишку NaOH і витримують у полімеризаторі (елемент *2)* для окиснення киснем повітря і зменшення ступіня полімеризації л, потім целюлозу обробляють сірковуглецем (елемент *3)* при 25–30 °С протягом 2-3 годин, внаслідок чого утворюється оранжево-жовтий ксантогенат целюлози.

Цей продукт, на відміну від вихідної і лужної целюлози, добре розчинний у 4-7 % розчині NaOH. Одержуваний вязкий лужний розчин ксантогенату целюлози прядильний розчин. Перед формуванням витримують протягом 16-20 годин (елемент 5). Для очищення і видалення пухирців повітря прядильний розчин у період дозрівання фільтрують і відстоюють у баках під вакуумом іпіемент. Підготовлений прядильний розчин попадає на прядииі.ну машину. Фільєра занурена в осаджувальну ванну, що містить водний розчин реагентів, які коагулюють (сірчана кис-пота, сульфати натрію і цинку) – сірчана кислота нейтралізує невикористаний луг і розкладає ксантогент целюлози з утворенням вопокон з регенерованої целюлози.

Регенерована целюлоза

Віскозні волокна далі піддають витягуванню, укладанню, обробні й пакуванню. На основі віскози промисловість випускає різноманітний асортимент матеріалів – шовкові, штапельні і кордні тканини, штучний каракуль, плівковий целофан.

Синтетичні волокна одержують із синтетичних полімерів – гетероцепних (поліамідів, поліефірів, поліуретанів) і карболанцюгових (поліакрилонітрилу, політетрафторетилену, поліпропілену). Волокно капрон одержують з поліамідної смоли шляхом формування з розплаву. Вихідну смолу одержують термічною полімеризацією циклічного мономера-капролактама:

Капрон та інші поліамідні волокна мають високу міцність на розрив, чудову стійкість до стирання, еластичність, стійкість до дії мікроорганізмів. Капрон використовують для виготовлення високо-якісного корду, парашутів, привідних ременів та інших технічних виробів, а також предметів побутового призначення.

Поліакрилонітрильне волокно (нітрон) одержують полімеризацією акрилонітрилу у водній суспензії в присутності пероксидних сполук:

Акрилонітрильні волокна на вигляд дуже схожі на вовну і застосовуються для виробництва трикотажних виробів, килимів, хутра та ін.

Економічна перевага виробництва хімічних волокон полягає в тому, що воно має практично необмежене джерело дешевої і доступної сировини-продуктів переробки палива – нафти, газу, кам'яного вугілля і деревини. При рівних витратах праці хімічних волокон можна одержати більше, ніж природних. Так, на одержання 1т. бавовни потрібно 1660 люд./г, 1т. натурального шовку – 35000 люд./г, а на 1т. штапельного волокна нітрон – 225 люд./г.

Хімічні волокна використовуються в багатьох галузях народного господарства, однак з них, як правило, не виготовляють тканини для пошиття натільної білизни, тому що синтетичні волокна менш гігієнічні, ніж штучні і натуральні, не всмоктують воду, електризуються. Проте в даний час хімічні волокна перестали бути замінниками природних волокон, вони є новими незамінними матеріалами, без яких неможливий технічний прогрес у багатьох галузях народного господарства.

6.4. Композиційні матеріали

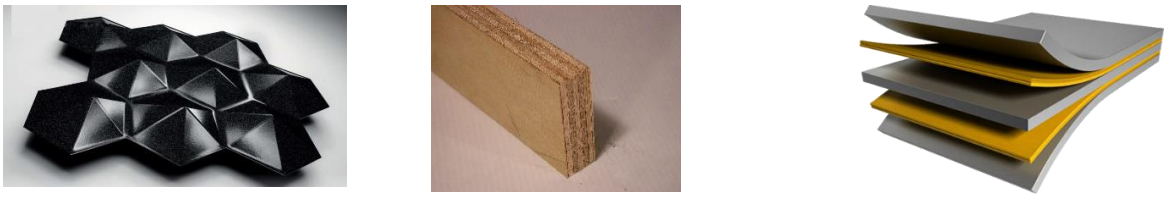
Композитними називаються штучно створювані матеріали, що складаються з двох або більше хімічно різних компонентів, істотно відмінних за властивостями й розділених добре вираженою міжкомпонентною границею. Будь-який композитний матеріал (КМ) складається з безперервної в усьому його об'ємі матриці й зміцнювального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

Матриця**,** як правило, є порівняно пластичним матеріалом, вона надійно з'єднана зі зміцнювальним компонентом, надає готовому виробові потрібну форму й захищає зміцнювальний компонент від можливих пошкоджень. Водночас матриця надає виробові запроектовані міцність і жорсткість.

Матеріал матриці визначає загальну назву КМ, з огляду на що розрізняють композитні матеріали з металевою матрицею або металеві композитні матеріали (МКМ), з полімерною матрицею – полімерні

композитні матеріали (ПКМ) й з керамічною матрицею – керамічні композитні матеріали (ККМ).

Зміцнювальний компонент повинен відзначатись високими міцністю і жорсткістю, малою густиною, доброю хімічною й температурною тривкістю, а також максимально досяжною технологічністю. Для армування композитних матеріалів застосовують порошкові компоненти (рис. 6.6, *а),* волоконні (рис. 1, *б)* й пластинчасті компоненти (рис. 6.6, в). Порошкові зміцнювальні компоненти - це звичайно тверді важкотопкі дрібні частинки карбідів, оксидів, нітридів, що не розчиняються у матриці в усьому інтервалі температур експлуатації КМ. Зі зменшенням їх розмірів і відстаней між ними підвищується міцність композитного матеріалу. До волоконних компонентів належать безперервні та короткі волокна неорганічного й органічного походження, металевий дріт і сітки на їх основі. Волокна в МКМ гальмують поширення тріщини в напрямку, перпендикулярному до них і практично виключають раптове руйнування конструкції. Міцність волокноподібних кристалів залежить від гладкості їх поверхні й площі поперечного перетину. Що гладше волокно, то менше мікродефектів на його поверхні і воно міцніше. Як пластинчастий зміцнювальний компонент використовують, наприклад, тонку плівку карбіду бору, осаджену пошарово на поверхню матриці.



а *б* *в*

Рис. 6.6 Схема будови композитних матеріалів:
а - дисперснозміцнені; б - волоконні; в - шаруваті

Комплекс властивостей композитного матеріалу залежить не лише від властивостей матриці та зміцнювального матеріалу, але й від міцності зв'язку між ними, від об'ємної частки зміцнювального компоненту, розмірів і орієнтації волокон, їх термічної тривкості. Головну роль у зміцненні КМ відіграють армувальні компоненти. Якщо на границі розділу між матеріалами матриці й зміцнювального компоненту утворюються тверді розчини або хімічні сполуки, то надійність з'єднання компонентів висока.

Дисперснозміцнені МКМ. Структурною особливістю дисперснозміцнених металевих композитних матеріалів є спеціально введені в матеріал матриці дуже дрібні важкотопкі частинки карбідів, оксидів, нітридів та ін., що не розчиняються в ній. Ці частинки відзначаються високими твердістю, хімічною тривкістю і модулем пружності та низькою густиною. Що дрібніші зміцнювальні частинки, менші відстані між ними й рівномірне вони розподілені в матеріалі матриці, то краще вони блокують рух дислокацій, підвищуючи міцність і жорсткість МКМ. Отже, дрібні зміцнювальні частинки заважають пластичним деформаціям в матеріалі матриці, а також розвиткові рекристалізаційних процесів під час нагрівання. Зміцнювальні частинки повинні добре з'єднуватись з матеріалом матриці. Розмір цих частинок коливається в межах 0,01...0,1 мкм, відстань між ними - 0,1...1 мкм. Важливою перевагою дисперснозміцнених МКМ перед волоконними є **ізотропність,** тобто однакові їх властивості в усіх напрямках.

Дисперснозміцнені МКМ можна виготовити на основі більшості застосовуваних у техніці металів і їх столів з використанням порошкових технологій. Металева матриця порівняно з іншими матрицями характеризується підвищеними міцністю, жорсткістю, електро- й теплопровідністю та задовільною пластичністю. Матриця є основним несучим елементом в диспеснозміцнених МКМ. У промисловості використовують дисперснозміцнені матеріали на основі алюмінію, берилію, заліза, кобальту, магнію, нікелю, вольфраму та ін.

Дисперснозміцнені МКМ на основі алюмінію. Представником цього найпоширенішого виду МКМ є матеріали типу САП (спечена алюмінієва пудра). Матрицею служить алюміній, зміцнювальним компонентом – частинки оксиду алюмінію Al_2O_3. Алюмінієва пудра з частинками завбільшки 1мкм збагачується оксидом алюмінію під час її мелення в кульових млинах, де концентрація кисню менша, ніж в атмосфері. Виготовлення виробів з порошків Al і Al_2O_3 відбувається шляхом пресування й подальшого спікання.

Матеріали типу САП (САП-1, САП-2, САП-3) містять 6...17 % $A1_20_3$. Зі збільшенням об'ємної концентрації оксиду алюмінію зростають міцність, твердість та жаротривкість і знижується пластичність САП. Навіть під час підвищення температури частинки AI_2O_3 не проявляють схильності до коагуляції й до розчинення в матриці. Тому при температурах експлуатації 300...500°С САП

перевищують за жаротривкістю всі деформівні промислові сплави алюмінію.

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

Дисперснозміцнені МКМ на основі магнію. Дисперснозміцнені металеві композитні матеріали на основі магнію порівняно високоміцні, легкі й достатньо пластичні. Зміцнювальним компонентом служить оксид магнію MgO (оптимальна концентрація 1,0 %), а іноді - оксид берилію BeO. Оксид магнію утворюється під час мелення порошку магнію в контрольованій атмосфері. МКМ Mg - Mg0 не рекомендують застосовувати при температурах понад 400°С з огляду на істотне зниження їх корозійної тривкості. Щоб її підвищити, магнієву матрицю легують 2... 8 % берилію.

МКМ на основі магнію використовують у авіаційній, ракетній і ядерній техніці переважно для виготовлення корпусних деталей.

Дисперснозміцнені МКМ на основі нікелю. Дисперснозміцнені МКМ на основі нікелю і його сплавів відзначаються високою жароміцністю й використовуються для роботи при температурах понад 1000 °С. Матрицею служить нікель, а зміцнювальним компонентом - оксиди торію ThO_2, гафнію HfO_2 або цирконію ZrO_2. Оксиди гафнію і торію дуже стабільні в нікелевій матриці навіть при високих температурах. Недоліком оксиду торію є його підвищена токсичність. З-поміж композитних матеріалів з нікелевою матрицею відомі ВДУ-1 (98 % Ni, 2 % $Th0_2$) і ВДУ-2 (98 % Ni, 2 % HfO_2), а з нікель-хромовою матрицею - TD-ніхром (78 % Ni, 20 % Сг, 2 % ThO_2). Жароміцність матеріалу ВДУ-1, зміцненого оксидом торію, вища від жароміцності ВДУ-2, зміцненого оксидом гафнію. МКМ TD-ніхром високоміцний в інтервалі температур від кімнатної до 800°С, про те при підвищених температурах його жароміцність нижча порівняно з ВДУ-1 і ВДУ-2.

Волоконні МКМ. Для металевої матриці найчастіше використовують алюміній, магній, титан, нікель, кобальт або сплави на їх основі. Армують МКМ високоміцними й високо модульними волокнами з бору, вуглецю, тугоплавких оксидів, карбідів, нітридів, а також волокнамизі сталі, берилію, вольфраму. З огляду на істотну

відмінність властивостей матриці й волокон МКМ з однонапрямленими волокнами анізотропні й найміцніші вздовж волокон. Волокна за об'ємом займають в МКМ від 10 до 75 %, вони добре сприймають осьові напруження. У зв'язку з цим орієнтація волокон повинна збігатись з напрямом найбільших напружень.

Для виготовлення волоконних МКМ використовують рідко фазові (лиття) й твердо фазові (деформування) процеси, порошкові технології тощо.

Волоконні МКМ на основі алюмінію. Для матриці пояснюється їх дешевизною, малою густиною, доброю корозійною стійкістю й здатністю багатьох з цих сплавів до істотного зміцнення термічною обробкою.

Найпоширенішим серед МКМ є бороалюміній ВКА-1. За міцністю при кімнатній температурі він вдвоє перевищує конструкційні сплави алюмінію, а за жорсткістю - у 3,5 рази. Волокна бору, що займають у матеріалі ВКА-1 об'єм від 40 до 50 %, високоміцні і жорсткі при густині (2,50...2,65) 10^3 кг/м^3. Їх недолік - підвищена крихкість і висока хімічна активність. Уже при температурі понад 400°С волокна бору оксидуються, а при температурі понад 500°С вони взаємодіють з алюмінієвою матрицею. Для захисту від хімічної взаємодії на борні волокна наносять тонкі покриття з карбіду кремнію чи карбіду або нітриду бору завтовшки 3...5 мкм. Волокна бору, покриті тонким шаром карбіду кремнію, називають **борсиком.** Густина бороалюмінію становить (2,63...2,65 • 10^3 кг/м^3). З нього виготовляють деталі, що застосовуються в авіації.

У МКМ алюміній - вуглецеві волокна поєднуються низька густина матриці та арматури з високою міцністю й жорсткістю волокон, внаслідок чого композит характеризується значними питомими міцністю й жорсткістю. Окрім того, вуглецеві волокна добре проводять тепло й електричний струм. Міцність вуглецевих волокон становить 1500...3500 МПа і більше при густині (1,6... 1,8) 10^3 кг/м^3. Їх недоліками є висока хімічна активність, крихкість і погана змочуваність розплавами основних конструкційних металів. Під час нагрівання волокон до температури понад 450°С вони взаємодіють з киснем атмосфери, хоча в нейтральній атмосфері витримують температуру до 2200°С. Щоб захистити вуглецеві волокна від хімічної взаємодії з киснем й матеріалом матриці, їх покривають боридами титану, нітридами титану й цирконію, карбідом кремнію, карбідом

титану, хромом, молібденом і вольфрамом. Водночас нанесені покриття покращують змочуваність волокон матеріалом матриці.

Вуглецеві волокна отримують із синтетичних органічних волокон, термічно розкладаючи їх в інертному середовищі.

МКМ алюміній - вуглецеві волокна формують рідкофазовими методами зокрема литтям під тиском. Ці матеріали успішно застосовують в авіації для виготовлення паливних баків сучасних винищувачів. МКМ алюміній - вуглецеві волокна дешевші й легші, ніж МКМ алюміній - борні волокна

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

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

МКМ алюмінієва матриця - металевий дріт відзначаються підвищеними міцністю, модулем пружності та втомною міцністю. Металевий дріт використовують у вигляді волокон і сітки.

Перспективним зміцнювальним компонентом є берилієвий дріт з високими питомими міцністю й жорсткістю.

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

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

Магнієві МКМ, армовані волокнами бору, мають стабільні механічні властивості в інтервалі температур 20...400 °С. Матриця й волокна хімічно не взаємодіють.

В МКМ на основі магнію, армованих волокнами вуглецю, немає взаємодії між магнієм і вуглецем. При об'ємній частці волокон 42 % міцність такого композитного матеріалу становить 450 МПа.

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

МКМ на основі магнію, армовані сталевим дротом, відзначаються високою міцністю.

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

Волоконні МКМ на основі титану. Композитні матеріали на основі титану та його сплавів зміцнюють волокнами зі сплавів берилію, з вольфраму, молібдену, бору, карбіду кремнію та оксиду атюмінію. Їх перевагою над МКМ з алюмінієвою й магнієвою матрицями є вищі температури оксидації та корозійна тривкість. До недоліків МКМ з титановою матрицею зараховують порівняно високі густину, вартість і технологічні труднощі, пов'язані з виготовленням виробів.

Найважливіші в техніці МКМ на основі сплаву титану з алюмінієм і ванадієм (90 % Ті, 6 % А1, 4 % V), армовані волокнами бору, берилію, карбіду кремнію. Оскільки сплави титану навіть без армування відзначаються підвищеною питомою міцністю, головна мета армування збільшення модуля пружності й підвищення температурного інтервалу експлуатації МКМ до 700...800 °С. Щоб захистити волокна бору від взаємодії з титаном, їх покривають карбідом кремнію.

Титано-берилієві МКМ відзначаються добрими пластичністю и технологічністю. Берилій не взаємодіє з матрицею до температури 700°С.

Високу жорсткість мають МКМ титан - бор, які витримують температуру до 540°С.

Армування титанової матриці дротом з молібдену підвищує міцність МКМ вдвоє порівняно з міцністю матриці.

Технології виготовлення МКМ на титановій основі вимагають нагрівання їх складових до високих температур, внаслідок чого матриця з одного боку підвищує свою хімічну активність до зміцнювального компонента та довкілля, а з іншого - високі температури спричиняються до знеміцнення арматури. Тому вибираючи тип зміцнювального волокна, слід враховувати технологію й температурний чинник.

МКМ на основі титану призначені головним чином для виготовлення лопаток вентилятора газотурбінних двигунів.

ПКМ з порошкоподібним зміцнювачем. Полімерна матриця порівняно з металевою має меншу густину; вищу корозійну тривкість, кращі технологічні, тепло- й електроізоляційні властивості, а в окремих випадках міцніша й жорсткіша Недоліком більшості полімерних композитних матеріалів є порівняно невисока міцність зв'язку між матрицею та зміцнювальним компонентом, втрата

основних властивостей під час підвищення температури до 100...200°С й схильність до старіння в кліматичних умовах.

Матрицею є різні полімери: феноло-формальдегідні, епоксидні, поліефірні та деякі інші термореактивні смоли й такі термопласти як поліетилен, поліпропилен, полістирол, поліаміди тощо. Порошкоподібними зміцнювальними компонентами, або наповнювачами служать тонкодисперсні частинки сажі, оксиду кремнію, деревинної муки, крейди, тальку, графіту, металів. Розмір частинок наповнювача, як правило, не перевищує 40 мкм. Порошкоподібний зміцнювач підвищує міцність, твердість і жорсткість, зменшує усадку, а в окремих випадках надає виробам з ПКМ специфічні властивості, зокрема задані тепло- й електропровідність.

Деревинна мука, що складається в основному з целюлози й лігніну, шдвищує міцність і електроізоляційну здатність ПКМ.

Крейда (СаСОз) - один з найважливіших зміцнювачів для поліетилену й полівінілхлориду.

Графіт - практично чистий вуглець. Він підвищує міцність, твердість, тепло- й електропровідність та антифрикційні властивості ПКМ.

Порошки металів (заліза, міді, алюмінію, бронзи) при достатньо великій концентрації підвищують тепло- й електропровідність ПКМ.

Волоконні ПКМ. Матрицею служать: епоксидні, феноло-формальдегідні, поліефірні та інші смоли. Зміцнювальним компонентом волоконних полімерних композиційних матеріалів є скловолокна, органічні волокна, вуглецеві волокна, борні волокна та металевий дріт.

Скловолокна мають високу міцність 3000...5000 МПа), задовільну теплотривкість (350...550 °С), добру корозійну тривкість, низьку тепло- й електрбпровіднійь. Густина скляних волокон (2,4...2,6) 10^3 кг/м^3. Їх виготовляють шляхом протягання або витискання розтопленої скломаси через фільєри - пристрої з отворами спеціальної форми.

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

ПКМ об'єднують у групи за назвою армувального волокна. Наприклад, полімерні композитні матеріали зі скляними волокнами називають склокалакнітами, з органічними волокнами - органоюлокнітами, з вуглецевими волокнами - вуглеволокнітами, з борними - бороволокпітами тощо.

Найпоширенішими з них є скловолокніти. Вони підвищено міцні й дешеві. Не дивлячись на порівняно низький модуль пружності скляних волокон, скловолокніти за питомою жорсткістю перевершують леговані сталі та сплави алюмінію й титану. Скловолокніти використовують у суднобудуванні, транспортному машинобудуванні, для виготовлення місткостей і труб.

Органопластики - це ПКМ, що складаються з полімерної матриці й синтетичних волокон. Порівняно зі скловолокнітами вони мають вищі ударну в'язкість, питому міцність і жорсткість. Водночас органоволокніти істотно перевищують вартість скловолокнітів. Більшість органоюлокнітів витримує температуру до 100... 150 °С, а окремі з них - до 200...300 °С. Органоволокніти застосовують як електроізоляційні й конструкційні матеріали в електротехніці, в автомобіле - й літакобудуванні.

Вуглеволокніти - композити з полімерної (наприклад, епоксидно-фенольної матриці) й високоміцних вуглецевих волокон. Вони відзначаються високими ударною в'язкістю, питомими міцністю і жорсткістю. Застосовуються в авіаційній та космічній техніці, в автомобілебудуванні, для виготовлення спортивного інвентаря.

Бороволокніти - це ПКМ з полімерної матриці у вигляді епоксидної, поліефірної, феноло-формальдегідної та інших смол і волокон бору. Бороволокніти характеризуються підвищеними міцністю, жорсткістю, твердістю, тепло- й електропровідністю. Вони витримують температуру в межах від 100 до 300 °С. Вироби з бороволокнітів знайшли застосування в авіації й космічній техніці (панелі, лопатки гвинтів).

Волоконні ККМ. Особливістю волоконних керамічних композитних матеріалів є їх високі теплова й корозійна тривкість і водночас підвищена крихкість. Матрицею в ККМ служать нітрид й карбід кремнію, оксиди алюмінію й цирконію. Як зміцнювальний компонент використовують волокна з вуглецю, з карбіду кремнію або з оксиду алюмінію. Для виготовлення ККМ можна використати порошкові, а також інші технології.

ККМ на основі нітриду кремнію 8I3M4, армований волокнами з карбіду кремнію (40 % об'ємних) відзначається підвищеними теплотривкістю й густиною. Щоб запобігти оксидації границь зерен нітриду кремнію, стадію гарячого пресування виконують в атмосфері азоту. Цей матеріал є перспективним для виготовлення деталей двигунів підвищеної економічності.

ККМ карбід кремнію (матриця) - вуглецеві покриті волокна характеризується високими міцністю, жорсткістю й теплотривкістю (до 1000°С).

ККМ на основі оксиду кремнію SiO_2, армовані волокнами з графіту, з SiC або з AI_2O_3 знаходять широке застосування у космонавтиці для виготовлення теплозахисних елементів.

6.4.1 Основи створення полімерних композиційних матеріалів

Як вже вказувалося вище, полімерні композиційні матеріали складаються із неперервної матриці, в якій більш-менш рівномірно розподілені дискретні чи неперервні мікрооб'єми наповнювача.

Класифікація полімерних композиційних матеріалів

За геометричною формою наповнювача полімерні композиційні матеріали поділяють на дві групи: із зернистим наповнювачем і із волокнистим наповнювачем.

Зернисті наповнювачі мають близькі розміри довжини (l) і діаметру (d): ($l/d \approx 1$). У волокнистих наповнювачів їх довжина значно переважає діаметр: $l/d >> 1$.

Схема структури полімерних композиційних матеріалів подана на рис. 6.7.

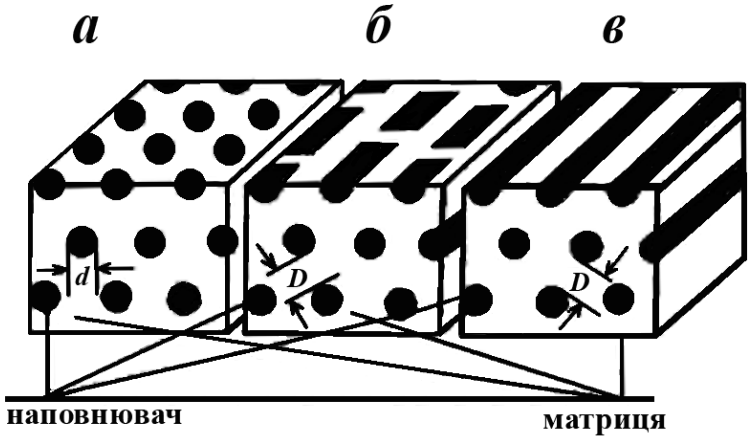


Рис. 6.7 Схема структури полімерних композиційних матеріалів:

а) зернистий наповнювач; б) дискретний волокнистий наповнювач; в) неперервний волокнистий наповнювач

6.4.2 Склопластики

Склопластики – полімерні композиційні матеріали, армуючим наповнювачем яких є скляні волокна. Полімерними зв'язними склопластиків можуть бути реакто- і термопласти.

Властивості склопластиків залежать: від природи армувального наповнювача і полімеру; від співвідношення компонентів і геометричних розмірів наповнювача; від фізико-хімічних процесів на межі розподілу фаз тощо.

Скляні волокна мають ряд цінних властивостей: високу міцність при розтягу (3000 ÷ 4500 МПа); високу тепло- і вогнестійкість: вони не горять і не підтримують горіння, а висока температура плавлення (950 ÷ 1260 ºС) дозволяє використовувати їх в області високих температур; підвищену хімтривкість і вологостійкість (водопоглинання 0,2 % при 65 % вологості); високі термічні (низький коефіцієнт лінійного розширення і високий коефіцієнт теплопровідності) і електричні властивості.

Властивості скляних волокон залежать: від хімічної природи компонентів, способу і технологічних параметрів одержання, від діаметру елементарного волокна.

Вихідними матеріалами для одержання скловолокна є глинозем, кремнезем, окис кальцію, окис магнію, борний ангідрид та спеціальні додатки (магнійалюмосилікатне) скло.

Найбільшого поширення здобули волокна з таких видів скла:

А-скло – високолужне (вапняно - натрієве) скло;

С-скло – хімічно стійке (натрійборосилікатне) скло;

Е-скло – електроізоляційне (алюмоборосилікатне) скло;

S-скло – високоміцне (магнійалюмосилікатне) скло.

Властивості скляних волокон вказаних марок подані в таблиці 6.8.

Таблиця 6.8

Властивості	**Марка скла**			
	А	С	Е	S
Густина, кг/м^3	2500	2490	2540	2480
Міцність при розтягу, МПа	3033	3033	3448	4585
Відносне видовження при розриві, %	–	4,8	4,8	5,7
Модуль пружності при розтягу, МПа 10^{-3}	50,0	69,0	72,4	85,5
Коефіцієнт лінійного термічного розширення, 10^6, $К^{-1}$	8,6	7,2	5,0	5,6
Температура розм'якшення, ºС	727	749	841	–

Високоміцні, високомодульні скловолокна одержують з алюмоборосилікатного і магнійалюмосилікатного скла. Процес одержання скловолокон може бути одно- або двостадійним. При одностадійному процесі подрібнену суміш компонентів подають у піч. Розтоплена маса поступає в обладнання для розтопного формування.

Основні стадії одержання скловолокон за двостадійним процесом: розмелення і змішування компонентів; топлення, одержання напівфабрикату (скляні кульки діаметром близько 20 мм, або короткі стержні); засипання напівфабрикату в плавильні форми (човники), плавлення при температурі 1200 ÷ 1400 ºС; витягування чи видування неперервних ниток; наоліювання чи апретування; намотування волокон на бобіну.

Із скломаси витягують чи видувають через філь'єри, що знаходяться в дні стоплювальних форм, неперервні елементарні волокна, які утворюють комплексні нитки.

Комплексні нитки мають 51, 102 чи 204 елементарних волокон. Вони проходять через ванну із замаслювачем чи апретом, і після відтиснення надлишків рідини їх намотують на бобіну.

Замаслювач (шліхта) запобігає злипанню комплексних ниток (джгутів), надає їм гнучкості і запобігає стиранню при подальшій переробці. Замаслювач вміщує мастильні речовини (мінеральні оливи, жирні кислоти), зв'язні (полівініловий спирт, декстрину, парафін, полівінілацетат тощо), поверхнево-активні речовини (аміноспирти, цетилтриметиламонійбромід тощо). Таким чином, скляні тканини, нитки і скляні мати мають на своїй поверхні значну кількість замаслювача.

В присутності замаслювача зменшується здатність зв'язного до змочування і знижується його адгезія до скляних волокон, що погіршує властивості склопластиків.

Тому перед використанням скловолокнистих наповнювачів необхідно провести усунення замаслювача з поверхні скляних волокон за допомогою органічних розчинників (наприклад, бензину), або ж термічною обробкою при температурі 200 ÷ 450 ºС.

Обробка скляних волокон апретами підвищує адгезію до них полімерної матриці. Тип апрету залежить від складу скловолокна і зв'язного. Як апрети найчастіше використовуються кремнійорганічні сполуки (метил-, етилхлор- і етоксисилани і ін.) та металорганічні сполуки.

Міцність скляних волокон залежить від їх діаметру, збільшуючись із зменшенням останнього. Текстильній обробці найкраще підлягають скляні волокна діаметром 4 ÷ 7 мкм.

При виробництві скловолокнистого анізотропного матеріалу типу СВАМ використовується елементарне скловолокно діаметром 15 ÷ 30 мкм. При зростанні діаметру скляних волокон від 10 до 100 мкм міцність при розтяту орієнтованого епоксифенольного склопластику зменшується від 1700 МПа до 900 МПа.

Елементарне скляне волокно використовується як армувальний наповнювач при виготовленні СВАМу. У виробництві інших типів склопластиків використовують скловолокнисті наповнювачі у вигляді: 1) комплексних ниток (неперервних чи штапельних), а також джгутів, 2) скляних тканин і 3) матів.

Як полімерні матриці склопластиків використовуються переважно термореактивні зв'язні (поліестерні, феноло-формальдегідні, кремнійорганічні і ін.) Раніше вже вказувалось, що зв'язні просочують наповнювач і після затвердження склеюють між собою окремі волокна (шари наповнювача), забезпечуючи співдію їх в композиті. Для виконання цієї функції зв'язні повинні задовольняти таким вимогам: мати високу когезійну міцність; забезпечувати гарну змочуючу здатність і адгезію до скляного наповнювача; мати незначну усадку, що не викликає утворення в зв'язному мікротріщин; швидко затверджуватися (по можливості без виділення летких продуктів); тривалий час не змінювати в'язкість, щоб забезпечити просочування скляного наповнювача до гелеутворення (тобто зберігати тривалу життєздатність).

Крім того, зв'язне повинно відповідати вимогам, що висуваються до готових виробів, як-то: мати високу штивність, теплостійкість, хімічну стійкість, високі електроізоляційні властивості, довговічність при експлуатації в різних умовах тощо.

Останнім часом як полімерне зв'язне використовують термопласти (поліпропілен, поліаміди і ін.)

6.4.3 Поліестерні смоли

Для одержання склопластиків у світі широке застосування знайшли поліестерні смоли.

Так, в США більше 80 % склопластиків виготовляють на основі поліестерних смол.

У вітчизняній промисловості для виготовлення армованих

пластиків використовують ненасичені поліестерні смоли різноманітного призначення: ПН-1 – смола загального призначення, яка містить стирол; ПН-11 – смола загального призначення, яка не містить леткого мономеру; ПН-3 – смола підвищеної теплостійкості; ПН-1С, ПН-3С і ПН-6 – смоли підвищеної вогнестійкості, що містять стирол; ПН-62 і ПН-63 – смоли, що не містять леткого мономеру і мають в затвердженому стані підвищені теплостійкість і вогнетривкість; ПН-10 – смола з підвищеною стійкістю до дії води і кислот; ПН-2 і ПНМ-8 – смоли, що застосовують як зв'язні для виготовлення світлопроникаючих виробів.

Переваги поліестерних смол: дешевизна; затвердження при низькій (кімнатній) температурі.

Недоліки поліестерних зв'язних: підвищена горючість; низька теплостійкість (120 ºС); процес затвердження поліестерних смол супроводжується виділенням великої кількості тепла, збільшенням густини і зменшенням об'єму смоли, тому усадка поліестерних смол досягає 7 ÷ 11 % (іноді 15 %); 4) низька життєздатність (близько 1,5 години); низька адгезія до скляних волокон.

6.4.4 Вуглепластики

Пластики, які армовані вуглецевими волокнами, мають високу теплостійкість і низьку температуру крихкості (широкий робочий температурний інтервал). Серед усіх армованих пластиків вуглепластики мають найбільшу жорсткість і теплостійкість. У порівнянні із склопластиками вуглепластики мають більшу питому жорсткість, втомлювальну міцність, тривалу міцність. Тому використання вуглепластиків на основі високоміцних високомодульних вуглецевих волокон найбільш ефективно тоді, коли необхідно знизити вагу виробу і забезпечити йому необхідну міцність і штивність. Високі механічні властивості вигідно виділяють вуглепластики серед конструкційних матеріалів. Особливо високі механічні властивості мають однонаправлені вуглепластики/

Висока стійкість вуглецевих волокон до дії більшості хімічних реагентів (крім окиснювачів) дозволяє використовувати вуглепластики при виготовленні апаратури для хімічної промисловості.

Вуглепластики мають низький коефіцієнт термічного розширення при високій тепло- і електропровідності, їм притаманна висока зносостійкість і низький коефіцієнт тертя, що дозволяє

використовувати їх для виготовлення підшипників ковзання. Підшипники з вуглепластиків мають малу вагу, працюють безшумно, мають демпфуючу здатність, можуть працювати без змащування. Тому їх перспективно використовувати у вузлах тертя машин і механізмів.

Зараз до 70 % вуглепластиків застосовується в літакобудуванні, ракетній і космічній техніці. Незважаючи на високу вартість вуглепластиків, їх використання в цих галузях економічно вигідно, так як прибуток від зниження маси комерційного літака складає 150 $/кг, гелікоптера – 300 $/кг, ракети – 10 000 $/кг, складного космічного апарату – 50 000 $/кг.

Споживання цих прогресивних матеріалів зростає також в автомобілебудуванні, так як зменшення маси автомобілів дозволяє знизити потужність двигуна і його вартість, а також скоротити витрати палива.

Вуглепластики також широко використовуються для виробництва спортінвентарю і товарів для відпочинку. Розширюється об'єм їх споживання і в суднобудуванні.

Застосування вуглецевих волокон збільшує на 14 % витрати на будівництво суден. Але ці витрати окуповуються менше, ніж за 2 роки за рахунок зниження маси корпусу судна, скорочення витрат пального, підвищення швидкості і вантажопідйомності судна. Зростають об'єми використання вуглепластиків в медицині, робототехніці, будівництві.

Домінуюче положення з виробництва цього матеріалу (за кількістю і якістю) займає Японія. Таким чином, вуглецеві волокна вигідно відрізняються серед волокон спеціального призначення комплексом своїх фізико-механічних властивостей, але гальмом для їх широкого використання залишається висока вартість. Серед армуючих наповнювачів частка вуглецевих волокон складає 1 %, а частка у вартості цих матеріалів – 25 %.

6.4.5 Технологія виготовлення виробів з армованих пластиків

Армовані пластики належать до композиційних матеріалів, які відзначаються підвищеною міцністю, теплостійкістю і нижчою, ніж метали густиною, що обумовлює використання їх як конструкційних, високоекономічних матеріалів. Композиційним матеріалам у зв'язку з цим приділяється велика увага, передбачається випереджаючі темпи розвитку їх виробництва і впровадження в народне господарство.

Армовані пластики складаються з неперервного (безмежно довгого

у порівнянні з діаметром) волокнистого наповнювача (арматури), яка зв'язана полімерним зв'язним (матрицею). Арматура надає міцності і штивності матеріалам, а зв'язне – монолітності і забезпечує рівномірність розподілу навантаження між волокнами.

Меншого поширення набули вуглецеві волокна з полівінілхлориду, полівінілового спирту, феноло-формальдегідних смол і лігніну. Як волокнистий наповнювач найчастіше використовують скловолокно. Останнім часом все ширше почали використовувати вуглецеві і борні волокна. Пластики на основі вуглецевих і борних волокон відзначаються підвищеною міцністю і термотривкістю.

Окрім того, широко використовуються волокна органічного походження – волокна з ароматичних поліамідів ("Kevlar"), поліестерні волокна, льняні, конопляні волокна тощо.

Назва пластика походить, в основному, від назви волокна (склопластики, вуглецеві пластики тощо).

Як зв'язне використовують епоксидні, епоксифенольні, епоксиестерні, поліестерні, феноло–формальдегідні і кремнійорганічні реактивні смоли. До складу композиції зв'язного входить затверджувач – аміни, ангідриди, мономери тощо. Вміст зв'язного в пластику знаходиться в межах 33 ÷ 45 % мас.

На сучасному етапі розвитку науки і техніки набувають значення армовані пластики на основі термопластичних матриць, зокрема модифікованого ко–полімеру етилену з пропіленом, ко–полімерів метакрилової кислоти, гетероциклічних полімерів (наприклад полііміди). Але ці композити одержують на основі короткого, дискретного (обробленого) волокна.

Введення навіть дробленого скловолокна в термопласти в 2 ÷ 2,5 рази збільшує міцність на розтяг полімеру, в 2 ÷ 3 рази знижує коефіцієнт теплового розширення і в 4 ÷ 10 раз зменшує усадку при формуванні виробу. Слід зауважити, що при переробці наповнених скловолокном термопластів спостерігається великий знос обладнання.

Нині великого значення набувають композиційні матеріали на основі матриць із термотривких гетероциклічних полімерів – полісульфонів і поліарилатів, поліімідів тощо.

Такі композити характеризуються поряд з високою міцністю підвищеною теплостійкістю.

6.5 *Скло та склокристалеві матеріали*

Скло має високу міцність на стискування (600 – 1200 МПа), низьку міцність на розтягування (30 – 90 МПа) та дуже високу крихкість. При

різкому і сильному нагріванні чи охолодженні в склі можуть виникати тріщини. При нагріванні скло розм'ягчується і при температурі близько 1000 °С починає плавитись. Більшість мінеральних кислот, за винятком плавикової, не руйнують скло.

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

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

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

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

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

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

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

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

кольоровими керамічними фарбами, називають ***стемалітом***. З нього виготовляють багатошарові панелі, перегородки тощо.

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

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

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

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

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

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

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

Ситал – кристалічне скло спеціального складу, отримане внаслідок керованої кристалізації. До складу ситалів входять оксиди літію, кремнію, магнію, кальцію, а також каталізатори кристалізації: солі золота, срібла та міді. Розмір кристалів не перевищує 1 мкм. Кристали ситалу зцементовані склоподібною масою. За структурою ситали займають проміжне положення між звичайним склом і керамікою. Ситали мають високу твердість, міцність, термічну і хімічну стійкість.

Неорганічне скло – це затверділий розчин, що є складним розплавом кислотних і основних оксидів високої в'язкості. Склоподібний стан є різновидом аморфного стану речовини. При переході з розплавленого рідкого стану в твердий аморфний в процесі швид кого охолоджування і наростання в'язкості структура наче "заморожується". У зв'язку з цим неорганічне скло характеризується невпорядкованістю і неоднорідністю внутрішньої будови. До складу неорганічного скла входять склоутворюючі оксиди кремнію, бору, фосфору, германію, миш'яку. Крім того, до складу скла вводять оксиди алюмінію, заліза, свинцю, титану, берилію, які надають склу потрібних технічних характеристик. У зв'язку з цим промислове скло є складною багатокомпонентною системою. За призначенням все скло поділяють на: технічне (оптичне, світлотехнічне, хіміко-лабораторне, приладове, трубне); будівельне (віконне, вітринне, армоване, склоблоки); побутове (склотара, посуд, побутові дзеркала). Скло випускається промисловістю у вигляді готових виробів, заготовок або окремих деталей.

При нагріванні скло плавиться в певному температурному інтервалі, який залежить від хімічного складу скла. Температура, нижче якої скло стає крихким, називається температурою силування (tc). Для промислового силікатного скла температура склування /c = = 425...600 °C, температура розм'якшення (/p) знаходиться в межах 600...800 °C. В інтервалі температур між tc і /p скло знаходиться у високов'язкому пластичному стані. При температурах розм'якшення 1000...1100 °C проводяться всі технологічні процеси переробки скломаси у вироби. Найважливішими специфічними властивостями скла є його оптичні властивості, а саме: • прозорість; • віддзеркалення; • розсіювання; • поглинання; • преломлення світла. Звичайне незабарвлене скло пропускає до 90 %, віддзеркалює приблизно 8 % і поглинає близько 1 % видимого і частково інфрачервоного світла; ультрафіолетові промені поглинає майже повністю. Кварцове скло є прозорим для ультрафіолетових променів. Коефіцієнт заломлення скла становить 1,47...1,96; коефіцієнт розсіювання (дисперсії) – 20...71. Скло з великим вмістом оксиду свинцю поглинає рентгенівські промені.

Термостійкість скла характеризує його довговічність за умов різких змін температури. Вона визначається різницею температур, яку скло може витримувати без руйнування при його різкому охолодженні у воді (0 °C). Для більшості видів скла термостійкість коливається від 90

до 170 °С. а для кварцового скла вона становить В00...1000 °С. Хімічна стійкість скла залежить від компонентів, що входять до його складу: оксиди Si02, Z r02, Ti02, A120 3, CaO, MgO, ZnO забезпечують високу хімічну стійкість, а оксиди 1л20з, Na20 3, К20 і РЬО навпаки, сприяють хімічній корозії скла. Механічна міцність і термостійкість скла можуть бути підвищені шляхом гартування. Гартування полягає в нагріві скла до температури вище /с і подальшому швидкому і рівномірному охолодженні в потоці повітря або в маслі. При цьому опір статичним навантаженням збільшується в 3...6 разів, ударна в'язкість – у 5...7 разів. При гартуванні підвищується також термостійкість скла.

Використання технічного скла. В транспортних засобах використовують переважно триплекси, термопан і загартоване скло. Силікатні триплекси – це два листи загартованого скла (завтовшки 2...З мм), склеєні прозорою, еластичною полімерною плівкою. При руйнуванні триплексу негострі уламки, що утворилися, утримуються на полімерній плівці. Триплекси бувають плоскими і гнутими.

Термопан – це тришарове скло, що складається із двох шарів скла і повітряного проміжку між ними. Цей повітряний прошарок забезпечує теплоізоляцію. Оптичне скло використовують в оптичних приладах та інструментах. Воно буває двох видів: з малим коефіцієнтом преломлення (крони), і з високим вмістом оксиду свинцю і великими значеннями коефіцієнта переломлення (флінти). Важкі флінти не пропускають рентгенівські та у-промені. Світлорозсіююче скло містить фтор. Для скління кабін і приміщень, де знаходяться пульти управління мартенівських і електричних дугових печей, прокатних станів і підіймальних кранів в ливарних цехах, використовується скло, що містить оксиди заліза і ванадію, які поглинають близько 70 % інфрачервоного випромінювання в інтервалі довжин хвиль 0,7...З мкм. Кварцове скло завдяки високій термічній і хімічній стійкості застосовують дня тиглів, чаш, труб, наконечників, лабораторного посуду.

Скловата є різновидом скловолокнистих матеріалів. Застосування її обмежене крихкістю; матеріали АСИМ, АТМ-З складаються зі скловолокна, розташованого між двома шарами склотканини або склосітки. Використовують ці матеріали в інтервалі температур від -6 0 до 450...600 °С. Скловату застосовують дія теплозвукоізоляції кабін літаків, кузовів автомашин, залізничних вагонів, тепловозів, електровозів, корпусів суден, у холодильній техніці для ізоляції трубопроводів, автоклавів тощо.

Розділ 7. Деревні матеріали

7.1 Деревина як конструкційний матеріал

До неметалевих матеріалів належать великі класи матеріалів: пластичні маси, деревні матеріали, клеї, фарби, полімери, скло, інші, котрі використовуються як замінники металів або як самостійні матеріали. Застосування неметалевих матеріалів забезпечує значну економічну ефективність, оскільки поряд з властивостями, за якими вони не поступаються металам, а й перевищують їх: механічна міцність, легкість, термічна й хімічна стійкість, високі електроізоляційні властивості, неметалеві матеріали – особливо технологічні та дешеві.

Деревина – цінний конструкційний матеріал, що наділений достатньо високими механічними властивостями, незначною густиною, добрим опором ударним та вібраційним навантаженням, незначним коефіцієнтом теплового лінійного розширення, хімічною стійкістю до багатьох кислот, солей, газів, мастил. Деталі з деревини швидко та надійно з'єднуються як з допомогою великої кількості клеїв, так і механічно (болти, шурупи, цвяхи). Хоча деревина має і ряд недоліків, які обмежують її використання: гігроскопічність, схильність до грибкових уражень, вогнестійка, анізотропія механічних властивостей.

Деревина є дуже цінним будівельним матеріалом, який використовують у житловому й промисловому будівництві, на залізничному транспорті, в суднобудуванні, в сільському господарстві, для виробництва предметів широкого вжитку тощо. За універсальністю застосування з деревиною не може порівнятися жоден інший матеріал.

За допомогою хімічної технології з дерева одержують деревний спирт, скипидар, оцет, смоли, кислоти, ліки вітаміни, штучний шовк, папір – загалом близько двадцяти тисяч різноманітних виробів і речовин.

Перевагами деревини, порівняно з іншими матеріалами, є порівняно проста й легка обробка, добра формоутворюваність, невелика вартість, відносна міцність і легкість, низька теплопровідність, гарний зовнішній вигляд обробленої поверхні.

Недоліками деревини є схильність до загнивання, займистість, гігроскопічність, розбухання, усихання тощо, проте за допомогою спеціальної обробки, натурального і штучного сушіння, просочування антисептиками їм можна запобігти.

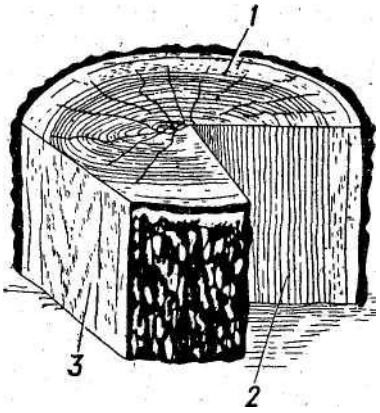


Рис. 7.1 Основні розрізи стовбура.

7.2 Макроскопічна та мікроскопічна будова деревини

Дерево, що росте, складається з трьох основних частин: кореневої системи, стовбура і крони. Стовбур, як проміжна частина між корінням і кроною і є найціннішою частиною дерева і містить основну масу деревини (від 50 до 90% об'єму всього дерева).

Складові частини і будову стовбура вивчають по розрізах уздовж, упоперек і під кутом до його осі. На рис. 7.1 подано основні розрізи стовбура: торцевий 1, що проходить перпендикулярно до осі стовбура, радіальний 2, що проходить вздовж осі в радіальному напрямку, і тангентальний 3, що проходить також уздовж осі стовбура, але на деякій відстані від центра його поперечного перерізу.

Стовбур складається з кори 1, камбію 2, деревини 3 і серцевини 6, (рис. 7.2).



Рис.7.2 Поперечний переріз

Основну масу стовбура становить деревина, яка щороку нарощується у вигляді концентричних кілець внаслідок життєдіяльності камбію. Річний шар деревини неоднорідний: внутрішня частина порівняно пориста і світла, а зовнішня – щільніша (міцніша) і темніша. Між шириною річних шарів і якістю деревини існує певний зв'язок. У хвойних порід чим вужчі річні шари, тим

деревина міцніша. Загалом деревину цих порід вважають якісною, якщо на 1 см налічується від 3 до 25 річних шарів. У листяних порід, навпаки, чим ширші річні шари, тим деревина щільніша, твердіша і міцніша.

У деяких порід внутрішня частина деревини 5 має темніше забарвлення; цю частину називають ядром, а периферичну, світлішу 4 – заболонню. Ядрова частина порівняно із заболонню більш тверда, міцна і стійка до загнивання. Породи дерев, у яких розрізняють ядро і заболонь, називають ядровими (дуб, кедр, сосна).

Серцевиною 6 називається темна центральна частина стовбура, що проходить по всій його довжині. Вона складається з порівняно великих тонкостінних клітин, має крихку будову, легко викришується і швидко загниває.

Серцевинні промені – це дрібні радіальні канали, по яких рухаються волога, повітря і поживні речовини в тілі дерева від середини стовбура до його зовнішніх шарів. У різних перерізах стовбура серцевинні промені мають різний вигляд: у торцевому перерізі– блискучі рисочки і смужки 1, тангентальному 2 і в радіальному 3 перерізах – плямочки, цяточки і рисочки.

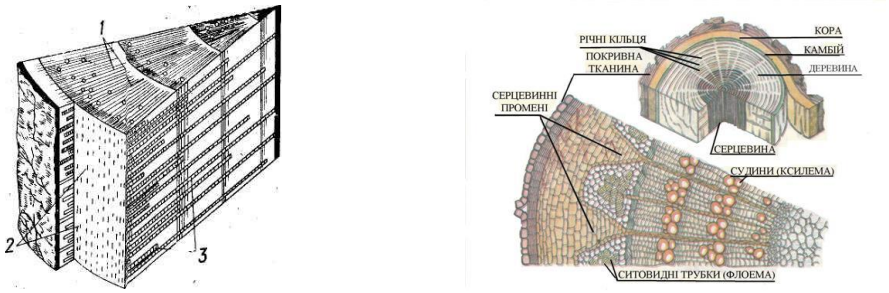


Рис. 7.3 Вигляд серцевинних променів

У дерев листяних порід волога від коріння до крони надходить по капілярних судинах. Ці судини можна бачити навіть неозброєним оком у вигляді дрібних отворів на торцевому зрізі дуба, волоського горіха, ясена та ін. В деревах хвойних порід таких судин немає, і сік рухається вгору по порожнистих клітинах деревини за рахунок просочування вологи крізь пори у стінках клітин. Ці клітини називаються ірахеїдами; вони становлять 93-95% усього об'єму деревини. У деревині більшості хвойних порід (за винятком смереки, тиса, ялівцю) є смоляні ходи – дрібні канали, вистелені всередині смолоутворюючими клітинами. Вертикальні і горизонтальні смоляні ходи, сполучаючись між собою, утворюють єдину розгалужену систему.

7.3 Основні властивості деревини

7.3.1 Фізичні властивості

Властивості деревини, для визначення яких не треба руйнувати досліджуваний зразок або змінювати його хімічний склад, називаються, фізичними. До фізичних властивостей належать: колір, блиск, запах, текстура, щільність; тепло-, звуко- та електропровідність, гігроскопічність, водопоглинання, розбухання, усушування, жолоблення, розтріскування.

Колір деревини залежить від породи дерева і клімату, в якому воно росло. Кожна порода має характерне забарвлення деревини. У помірних поясах деревина порівняно блідого кольору, в тропіках вона яскрава. Деревина деяких порід має природний блиск. Добрий блиск мають у радіальному розрізі дуб, клен, бук, біла акація.

Запах деревини визначається вмістом у ній смолистих, ефірних і дубильних речовин. Цю властивість треба враховувати, виготовляючи тару для харчових продуктів та інших виробів, для яких запах тари має, значення.

Текстурою називається природний рисунок на обробленій поверхні деревини, який утворюється внаслідок перерізання волокон, річних шарів, серцевинних променів та ін. Щоб виготовити текстурний матеріал і облицювальну фанеру, застосовують спеціальні способи зрізання деревини.

Щільністю називається відношення маси деревини до її об'єму (кг/м^3). Розрізняють абсолютну й відносну щільність деревини. Абсолютна щільність визначається масою деревини в природному стані на одиницю об'єму. Відносна щільність характеризується рівномірністю будови деревини. Деревина, що має високу відносну щільність (яблуня, груша, горіх, самшит), внаслідок обробки дає рівну, гарну поверхню, яка добре полірується і лакується.

Теплопровідність. Порівняно з іншими матеріалами деревина має дуже низьку теплопровідність і тому використовується для рукояток різних нагрівальних приладів і навіть як теплоізоляційний матеріал.

Електропровідність. Дерево є поганим провідником електричного струму і тому суху деревину нерідко застосовують як ізоляційний матеріал.

Гігроскопічність - властивість деревини поглинати вологу з повітря. Водопоглинення – властивість деревини вбирати воду при безпосередньому контакті з нею. Інтенсивність водопоглинення залежить від породи дерева, виду деревини, ступеня її вологості і положення відносно поверхні води. Тверда й щільна деревина поглинає вологу менше і повільніше, ніж м'яка і легка, ядрова – менше, ніж заболонна, суха – більше, ніж волога, з бічних поверхонь – менше,

ніж з торців. Внаслідок поглинання вологи і насичування нею стінок клітин і міжклітинних проміжків збільшуються розміри і маса зразка. Ця властивість називається *розбуханням* деревини. Коли її висушують, маса і розміри зменшуються. Ця властивість називається *усиханням* деревини.

Сильно усихають граб, бук, модрина, береза, груша, акація. Менше усихають сосна, ялина, кедр, дуб, в'яз, волоський горіх, осика, клен. До дерев, що мало усихають, належать яловець, вільха, тополя, каштан, тис.

При повільному висиханні деревини волога випаровується рівномірне і матеріал не розтріскується.

7.3.2 Механічні властивості деревини

До основних механічних властивостей деревини належать: міцність, твердість, пружність, пластичність, крихкість, в'язкість, розколюваність і гвоздимість.

Міцністю називається властивість матеріалу чинити опір руйнівній дії зовнішніх сил. Залежно від характеру дії сили поділяються на розтягувальні, стискальні, згинальні, сколюючі, перерізуючі і скручувальні.

Характерною особливістю деревини є чітко виявлена анізотропія – відмінність механічних та інших властивостей матеріалу в різних напрямах. Опір розтягування вздовж волокон для деревини сосни при 15% вологості становить, в середньому, близько 110–115 МН/м^2 (1100–М 50 кгс/см^2), а впоперек – у 30-50 раз менше. Опірність деревини розривові впоперек волокон у радіальному, напрямі в півтора рази більша, ніж у тангентальному. Дерев'яні деталі найчастіше зазнають стискання. При цьому найвищу міцність має деревина вздовж волокон. Наприклад, деревина сосни витримує до 44 МН/м^2 (440 кгс/см^2), а деревина модрини і дуба – 52МН/м^2 (520 кгс/см^2).

У сучасній практиці дуже рідко застосовуються дерев'яні деталі, що зазнають дії скручувальних сил, бо опірність деревини невелика. Проте серед основних порід найкраще такі зусилля витримує береза.

Твердістю називається властивість матеріалу чинити опір проникненню в нього інших тіл. Твердість деревини визначають удавлюванням в неї стальної загартованої кульки з площею поперечного перерізу 1 см^2.

Пружністю називається властивість матеріалу відновлювати свою форму і об'єм після припинення дії зовнішніх сил. Деревина – досить

пружний матеріал, що нерідко застосовується для виготовлення деталей, у яких пружність – необхідна умова. Такими є рукоятки різних інструментів, рушничні ложа, шпали тощо.

Пластичність – властивість матеріалу під впливом сил змінювати свою форму без ознак руйнування і зберігати цю форму після припинення дії сил. Пластичність деревини підвищується з підвищенням вологості і при нагріванні. З цією метою в деяких виробництвах перед гнуттям деталей застосовують пропарювання і проварювання заготовок.

Крихкість – властивість матеріалу руйнуватися під дією зовнішніх сил без помітних слідів пластичної деформації. Прикладом дуже крихких матеріалів можуть бути скло, загартована сталь, чавун. Будова деревини волокниста, тому цей матеріал має порівняно невелику крихкість.

Розколюваність – властивість деревини розчленовуватися вздовж волокон. Розколюваність залежить від ступеня зчеплення волокон. Встановлено, що пружна деревина розколюється краще, а в'язка – гірше. Коли підвищується вологість (але тільки до певної межі), розколюваність деревини поліпшується. Наявність сучків та інших вад погіршує розколюваність деревини. Добру розколюваність мають усі хвойні породи, бук, каштан, осика, липа, а в радіальному напрямі – дуб.

Гвоздимість – властивість деревини тримати в собі цвяхи, нагелі, шурупи, скоби та ін. Забитий у деревину цвях ніби розсуває волокна, які, намагаючись випростатись, тиснуть на бічні поверхні цвяха і за рахунок тертя створюють зусилля, що не дають йому випасти. Опір деревини забиванню і витяганню цвяхів залежить від щільності, вологості, особливостей будови і напряму забивання цвяха. Цвяхи, забиті в торець деревини, тримаються значно слабіше, ніж забиті перпендикулярно до волокон у радіальному або тангентальному напрямах. Цвяхи квадратного або багатогранного перерізу тримаються в деревині краще, ніж круглі.

7.4 Деревні породи, що застосовуються у виробництві

Породи дерев поділяються на хвойні і листяні. Хвойні дерева становлять переважну частину лісових багатств нашої країни. Найпоширенішими хвойними породами в Україні є сосна і ялина. Деревина *сосни* завдяки її фізичним, механічним і технічним властивостям широко застосовується в будівництві та меблевій промисловості.

Ялина менш поширена і займає після сосни друге місце. Своїми якостями поступається перед сосною; з неї виготовляють маловажливі вироби.

До листяних порід, що застосовуються в столярно-будівельному і меблевому виробництві, належать дуб, бук, береза, вільха, осика, липа, тополя.

Деревина *дуба* відзначається великою міцністю, твердістю і стійкістю проти загнивання, має гарну текстуру і колір. Застосовують її для важливих деталей споруд, у меблевому виробництві тощо. Найкращий промисловий вік дуба – 80-100 років.

Деревина *бука* має білий колір з жовтувато-червоним відтінком, високу міцність, гарну текстуру, добре піддається гнуттю та обробці. Застосовується в меблевому виробництві, в машино- і приладобудуванні, у виробництві паркету, шевських колодок, креслярського приладдя та ін. Кращий промисловий вік – 100-150 років.

Береза має білу з блідо-рожевим відтінком деревину, досить однорідну і міцну, яка добре піддається обробці та оздобленню під цінні породи. Істотна вада берези – швидке загнивання у вологому середовищі. Застосовується для виготовлення фанери, токарних виробів, спортивного приладдя.

У *вільхи* деревина біла (вона швидко червоніє на повітрі), м'яка й легка, стійка проти вологи. З неї виробляють тару, фанеру тощо.

7.5 Вади деревини

Вадами вважають недоліки окремих ділянок деревини, які знижують її якість і обмежують використання.

Вади деревини, що виникають у процесі заготівлі, транспортування, сортування, штабелювання та механічної обробки, називають дефектами.

Вади і дефекти деревини поділяють на такі групи: сучки, тріщини, вади форми і будови стовбура, хімічні забарвлення, грибні ураження, пошкодження комахами, сторонні включення та різні деформації.

Сучки – це частини гілок (їх основи) у стовбурі. Розрізняють сім різновидів сучків (рис. 4):

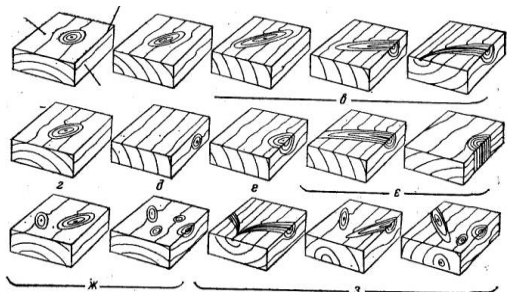
а)за ступенем заростання – відкриті, що виходять на бічну поверхню круглого сортименту, і зарощені, які не виходять на його бічну поверхню;

б) за формою розрізу на поверхні сортименту – круглі, овальні, довгасті;

в) за положенням у сортименті – пластеві, що виходять напласть сортименту;

г) за взаємним розташуванням – розкидані; групові; розгалужені;

д) за ступенем зростання – зрощені; частково зрощені; незрощені; випадаючі;



а – круглий; б – овальний; в – довгий; г – пластевий; д – кромковий; е – ребровий; є – зшивний; ж – групові; з – розгалужені

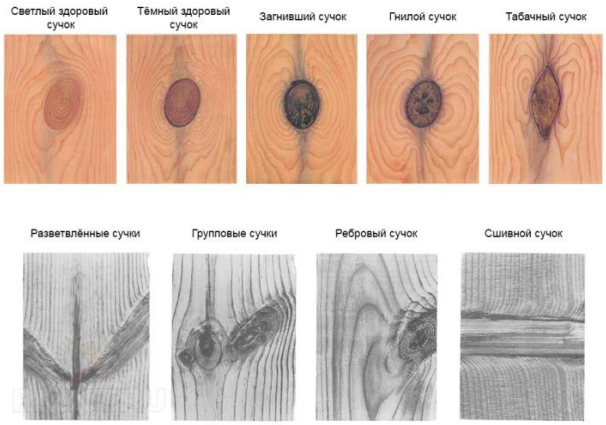


Рис. 7.4 Основні різновиди сучків

При використанні деревини сучки здебільшого є основною сортовизначальною вадою майже в усіх сортиментах і деталях з деревини.

Тріщини (рис. 7.5) – це розриви деревини уздовж волокон їх розрізняють за такими ознаками:

а) за типами – метикові, радіально спрямовані тріщини в ядрі або стиглій деревині, що відходять від серцевини і мають значну протяжність по довжині сортименту;

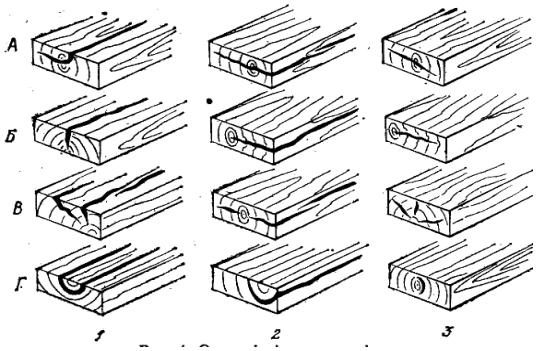


Рис. 7.5 Основні різновиди тріщин:
1 – пластові; 2 – кромкові; 3 – торцеві; А – метикові; Б – морозовинні; В – тріщини всихання; Г – відлупні

б) за положенням у сортименті – пластеві; кромкові; торцеві; в) за глибиною – неглибокі; глибокі; наскрізні;

Тріщини, особливо наскрізні, порушують цілість лісоматеріалів і знижують механічну міцність їх.

Вади форми стовбура включають до себе недоліки, зумовлені особливостями формування стовбура в період росту дерева: *збіг, окоренкуватість, напливи, кривизна.*

Збіг – це поступове зменшення товщини круглих лісоматеріалів або ширини необрізних пиломатеріалів по всій довжині їх, що перевищує величину нормального збігу, який дорівнює 1 см на 1 м довжини сортименту. Збіг збільшує кількість відходів під час обробки.

Окоренкуватість – це різке збільшення діаметра окоренкової частини круглих лісоматеріалів або ширини необрізної пилопродукції, коли діаметр (ширина) окоренкового торця неменш ніж в 1,2 раза перевищує діаметр (ширину) сортименту, виміряний на відстані 1 м від цього торця тощо.

Зрубане і очищене від сучків дерево називається *хлистом*. Окремі види лісового матеріалу, що мають однакові геометричні ознаки, називаються *сортиментами*. Оброблення хлиста на стандартні сортименти круглих лісоматеріалів називається *розкряжуванням*. Розкряжований хлист дає колоди і кряжі. *Колодою* прийнято називати довгі (понад 4 м) відрізки хлиста. *Кряжем* називають короткі товсті відрізки хлиста, що мають довжину меншу, ніж 4 м. Кряжі поділяють на фанерні, паркетні, бондарні, лижні та ін.

7.6 Пиломатеріали

Пиломатеріали виготовляють поздовжнім розпилюванням колод. Вони поділяються за формою і розмірами поперечного перерізу на пластини, четвертини, дошки, бруски, бруси двокантні, бруси чотирикантні, обапіл (рис. 7.6).

Пластини – а й *четвертини* – б дістають при поздовжньому розпилюванні колод відповідно на дві і на чотири частини.

Дошки – в утворюються при поздовжньому розпилюванні колод уздовж кількох паралельних між собою площин. *Дошкою* вважається сортимент, у якого ширина більш як у 2 рази перевищує товщину.

Бруски – г дістають при поздовжньому розпилюванні дощок по широкому боку. Бруски відрізняються від дощок тим, що їх ширина не перевищує подвійної товщини (а товщина може бути не більшою, ніж 100 мм).

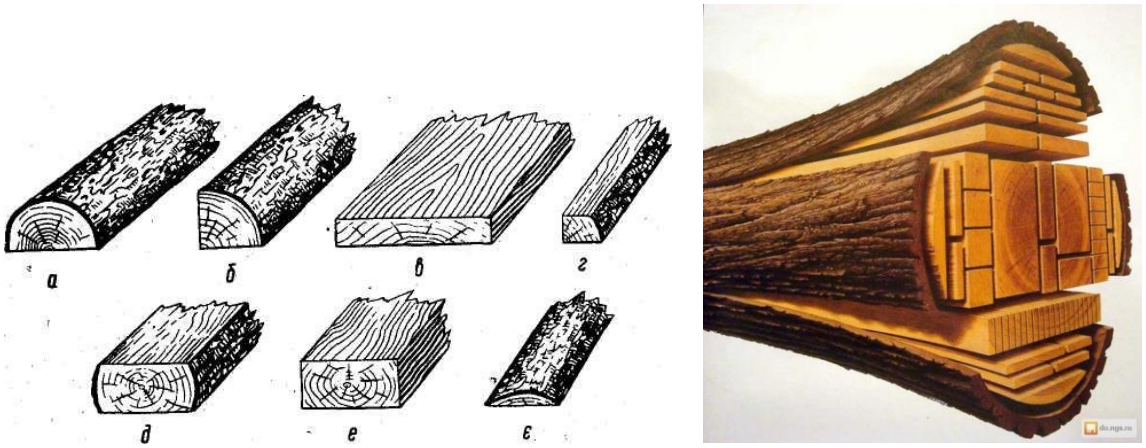


Рис. 7.6 Пиломатеріали

Бруси теж дістають при поздовжньому розпилюванні колод, але їх товщина і ширина більші за 100 мм. Бруси, обпиляні з двох протилежних сторін, називаються *двокантними* – д, а обпиляні з усіх боків – *чотирикантними* – є.

Обаполи – є – відходи пиломатеріалів. В обапола один бік плоский, а другий напівкруглий, бо це природна поверхня колоди.

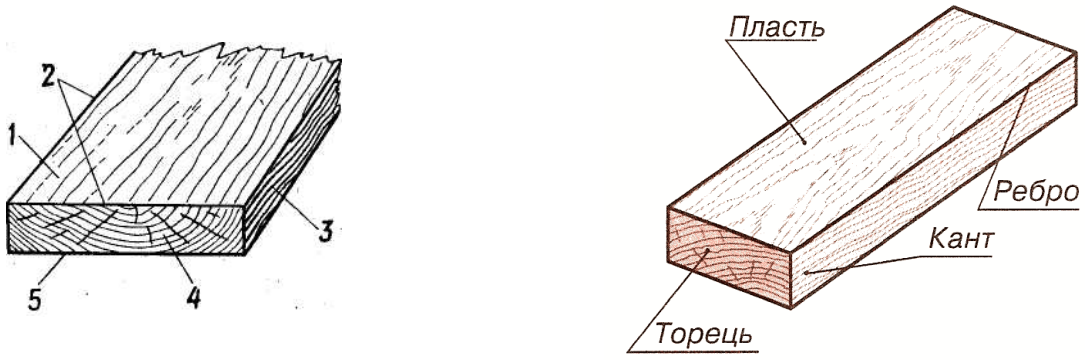


Рис. 7.7 Елементи дошки

1-права сторона; 2 ребра; 3-кромка; 4-торець; 5-ліва сторона

Найбільше практичне значення серед перелічених сортиментів пиломатеріалів мають дошки, бруски і бруси. Площина дошки (бруса), звернена в бік заболоні, називається лівою або зовнішньою (рис. 7.7), а звернена в бік серцевини – правою, або внутрішньою.



Рис. 7.8 Типи дошок

а-необрізна; б-чистообрізна; в-з тупим об зелом; г-з гострим об зелом

Поздовжні вузькі боки дошки називаються кантами (кромками), а лінія пересічення пласта і канта – ребром.

Залежно від дальшої обробки дошки поділяються на обрізні і необрізні. Обрізними вважаються дошки, в яких канти обрізані по всій довжині або на протязі не менше половини довжини з обох боків. Необрізні – такі, в яких канти зовсім необрізані або обрізані на протязі менше половини довжини (Рис. 7.8).

7.7 Листові деревні матеріали

До листових деревних матеріалів відносять шпон (струганий і лущений), фанеру, деревностружкові і деревноволокнисті плити.

Струганий шпон дістають механічною обробкою на фанерострогальних верстатах брусків і колодок майже з усіх листяних порід, оброблених термічно для підвищення пластичності деревини. Залежно від способу розкроювання шпон називається радіальним, напіврадіальним, тангентальним, тангентально-торцевим. Товщина струганого шпону встановлена 0,6-0,8 мм.

Лущений шпон – результат утворення тонкої поперечної стружки на лущильному верстаті – використовують для виготовлення клеєної фанери та облицювання виробів із деревини. Для виробництва шпону використовують деревину берези, вільхи, бука, дуба, ясена, липи, сосни, модрини, кедра.

Товщина шпону 0,55; 0,75; 0,95; 1,15; 1,5 мм.

Клеєну фанеру виготовляють склеюванням трьох і більше листів лущеного шпону так, щоб напрям волокон у них був взаємно

перпендикулярним. Зовнішні шари фанери називаються лицьовими, а внутрішні – основою.

Товщина листів фанери від 1,5 до 3 мм з градацією через 0,5 мм і від 3 до 12 мм з градацією через 1 мм і далі 15, 18 і 19 мм.

Фанера має велику кількість марок, наприклад: ФСВ – підвищеної водостійкості, з'єднана фенолформальде-гідними клеями; ФК ФБА – середньої водостійкості, з'єднана карбамідними або альбутино-казеїновими клеями; ФБ – обмеженої водостійкості, з'єднана білковими клеями.

Деревностружкові плити виготовляють пресуванням зі зв'язуючою речовиною подрібненої деревини, добутої з відходів лісопиляння та деревообробки. Цей матеріал широко використовують у виробництві меблів, будівництві, при виготовленні різних деталей.

За гідростійкістю розрізняють плити водостійкі – на формальдегідних і сечовино- та меламіноформальдегідних смолах – і середньої водостійкості – на сечовиноформальдегідних смолах. Основні характеристики плит (ГОСТ 10632-77): товщина від 10 до 50 мм (найпоширеніші 16 і 19 мм).

Деревноволокнисті плити – листовий матеріал із відходів лісозаготівель, лісопиляння і деревообробки, подрібнених на спеціальному устаткуванні до заданих фракцій. Деревноволокнисті плити виготовляють мокрим, сухим і напівсухим способами. Незалежно від способу виробництва деревину подрібнюють. Подрібнену масу пропарюють і під тиском розділяють на волокна. Цей листовий матеріал є замінником клеєної фанери, має високі звуко-і теплоізоляційні властивості. Використовується в будівництві для міжповерхових перекриттів, оздоблення стін, а також у виробництві меблів.

8. ТЕКСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

8.1 Матеріали природнього походження

Текстильні волокна за походженням і способом виробництва поділяють на природні (натуральні) і хімічні.

До **природних** належать волокна рослинного і тваринного походження. Найважливішими з них є бавовна, льон, вовна, натуральний шовк.

Бавовна – один з основних видів сировини текстильної промисловості. Мікроструктуру бавовняного волокна показано на Рис. 8.1.

Рис. 8.1



Бавовна

Середньоволокниста бавовна дає волокно завдовжки 25...34 мм, завтовшки 0,015...0,025 мм. З волокна цієї бавовни виробляють основну масу пряжі, яку використовують для виготовлення тканин та інших виробів.

Тонковолокниста бавовна дає довге (35...40 мм) тонке волокно, яке застосовують для виробництва найбільш високоякісної пряжі. З такої пряжі виготовляють тонкі тканини (батист, маркізет), а також швейні нитки, мереживо.

Бавовняне волокно міцне, вологість зрілого волокна 8%. Нагрівання волокна до 150 °С не впливає на нього негативно. При температурі вищій ніж 200 °С відбувається деструкція волокна. На дотик волокна м'які, теплуваті. До дії лугів стійкі, кислоти, навпаки, руйнують бавовняне волокно.

Природне забарвлення біле або кремове, у деяких випадках воно може бути зеленуватим. Запалене волокно горить яскраво-жовтим полум'ям із світлими іскрами, залишаючи сірий попіл і поширюючи запах спаленого паперу. Якщо полум'я погасити, то волокно інтенсивно тліє і виділяє дим.

Бавовну широко застосовують у виробництві тканин (костюмних, сорочечних, білизняних), трикотажних виробів, швейних, вишивальних ниток, оздоблювальних, прикладних матеріалів тощо.

Льон є другим після бавовни основним видом рослинних волокон (рис. 7.2), які застосовують у текстильній промисловості для

виготовлення багатьох виробів і тканин: скатерок, серветок, білизни, чоловічих і жіночих сорочок, рушників, костюмно-платтяних тканин, а також тканин технічного призначення.



Рис. 8.2 Льон

Поширеними видами льону є *льон-довгунець*, *льон-кучерявець*. Крім цих сортів є проміжний різновид льону – *льон-межеумок*. Довжина технічного льняного волокна коливається в межах 400...700 мм, а елементарного – 20...30 мм.

Товщина лляного волокна приблизно така, як і бавовняного – 0,015...0,025 мм.

Видовження лляних волокон при розривах 1,5... 2,5 %

Колір льняного волокна світлий або темно-сірий з натуральним блиском.

Льон характеризується високою гігроскопічністю. Лляні волокна витримують таку саму температуру, як і бавовняні, мають високу стійкість до лугів і руйнуються від кислот, але стійкіші до дії сонячних променів.

Горить лляне волокно, як і бавовняне.

Вовна – це волосяний покрив, зістрижений або вичесаний із тварин, який переробляють на пряжу чи повсть.

За вмістом волокон розрізняють однорідну (тонку, напівтонку, напівтовсту, товсту) і неоднорідну (напівтовсту, товсту) вовну.

Вовна вважається однорідною, якщо вона має однакову товщину і звитість по довжині. Вона може містити (рис. 8.3) деяку кількість пуху, перехідного волосу, ості та мертвого волосу.

Тонка вовна складається з тонких (від 14 до 25 мм) волокон пуху завдовжки 30...80 мм. її використовують для виготовлення високоякісних тканин, трикотажних виробів. Напівтонка вовна характеризується товщиною від 25 до 34 мм і довжиною 40...150 мм, складається з товстого пуху або перехідного волосу. Використовується для виготовлення найтонших костюмних, платтяних тканин і трикотажних виробів.

Товста вовна характеризується товщиною від 40 до 67 мм і довжиною 18...25 мм. Складається з пуху, перехідного волосу, ості,

мертвого волосу. Ця вовна має низьку якість, використовується в основному для виготовлення товстосуконних тканин.

Вовна може бути білого, сірого, рудого, чорного кольору. Горить, скручуючись у темну кульку і виділяючи запах спаленого пір'я.

Звитість вовни характеризується висотою і кількістю збитків на визначену довжину волокна. Залежно від форми збитків розрізняють вовну високої, нормальної і пологої звитості. Вовна з високою звитістю надає пряжі пухнастості, добре піддається звалюванню, застосовується для виробництва суконних тканин. Навпаки, волокна пологої звитості дають непухнасту пряжу для гребінних тканин. Для тонкої вовни характерна нормальна звитість.

Міцність вовняного волокна залежить від його товщини. Порівняно з волокнами рослинного походження міцність вовняних волокон менша.

Вовняне волокно характеризується також великим еластичним видовженням, яке дає змогу вовняному волокну після зняття деформації набирати початкову форму.

Пружне видовження компенсує недостатню міцність вовняного волокна та збільшує зносостійкість вовняних тканин.

Валкоздатністю вовни називається її властивість звалюватися в подібну до повсті масу з переплетених та зчеплених лускою волокон. Найбільшу валкоздатність має звита, м'яка, пружна вовна.

Блиск вовни залежить від форми та розміру лусочок.

Гігроскопічність вовни вища, ніж в інших волокон, бо вона поступово всмоктує вологу і ще повільніше віддає її в середовище.

Обробка водою з температурою 110...115 °С знижує міцність вовни на 5... 15 %.

Вовняне волокно характеризується особливою стійкістю до сонячних променів: воно знижує свою міцність на 50 % тільки після 1120 год освічування його сонячними променями, тобто до дії сонячних променів-вовняне волокно більш стійке, ніж бавовняне, льняне та всі інші волокна.

Неорганічні (мінеральні) кислоти в невеликих концентраціях на вовняне волокно згубно не діють. Луги їдкі навіть у невеликих концентраціях руйнують його.

Натуральний шовк – це тонкі нитки, які виготовляють із коконів, закручених гусеницями шовкопряда – шовковичними черв'яками. Найбільше поширені тутовий та дубовий шовкопряди.

Коконна нитка складається з двох шовковин (рис. 8.4). Довжина

коконної нитки дуже велика – до 1000 м і більше. Товщина коконної нитки в середньому становить 20...30 мкм, тобто у півтора рази більша, ніж бавовняного волокна.

Коконна нитка міцна, але у мокрому стані шовк-сирець, який складається з кількох коконних ниток, втрачає 5... 10 % своєї міцності.

Видовження шовку під час розриву становить майже 20 %, а у вологому стані збільшується на 15...20 % Шовк характеризується хорошою пружністю.

Тонка і гладенька шовкова нитка легко сковзає і осипається, що є негативною властивістю для виготовлення швейних виробів.

Шовк гігроскопічний. Нормальний вміст вологи в шовковій нитці 11%.

Однак шовк, як і вовна, може всмоктувати з повітря до 30 % вологи. Вологий шовк швидко сохне, хоч і має високу гігроскопічність.

Шовк характеризується високою стійкістю до дії мікроорганізмів.

Нагрівання робить шовк жорстким та крихким, внаслідок чого порушується його міцність та інші цінні якості.

До дії сонячного світла шовкові волокна чутливіші, ніж бавовняні та вовняні.

Шовк горить, як і вовна.

Кислоти і луги згубно впливають на шовкові волокна. Слабкі розчини кислот прискорюють процес фарбування шовку.

8.2 Матеріали хімічного походження

Хімічні волокна поділяють на штучні та синтетичні. Випускають їх у вигляді неперервних ниток, джгутів, штапельного волокна.



Рис.8.3

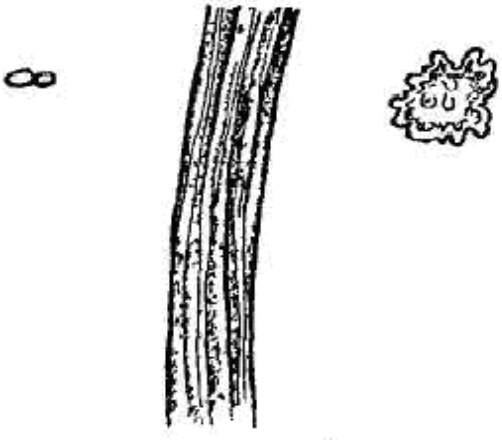


Рис.8.4



Рис.8.5

Штучні волокна одержують з деревної целюлози, варячи ялинові тріски в розчині бісульфіту кальцію.

Характерною особливістю будови *віскозних волокон* є його ребристість по довжині та різана форма в поперечному перерізі (рис.5).

Незважаючи на ребристу форму, віскозні волокна гладенькі, з сильним блиском, в тканинах дуже слизькі, розсовуються, на зрізах осипаються. Горить віскозне волокно, як і бавовна. Застосовується для виготовлення різних платтяних, підкладкових тканин, штапельного волокна.

Довжина віскозних волокон може бути будь-якою. Товщина елементарних волокон становить від 25 до 60 мкм. Нитки з тонких волокон цінніші, ніж з грубих.

Міцність віскозного волокна вдвічі менша, ніж волокна натурального шовку. Міцність текстильної нитки 160…220 мН/текс. У мокрому стані міцність віскозного волокна зменшується на 50…60 %.

Видовження в момент розриву становить 18…24 %.

Блиск волокон яскравий, скляний.

Гігроскопічність віскозних волокон в нормальних умовах 11 %.

Нагрівання до 120ºС волокно переносить без зміни своїх властивостей, легко загоряється при 180ºС.

Віскозні волокна не стійкі до дії кислот, і, навпаки, стійкі до дії лугу.

Ацетатне волокно одержують з деревної целюлози. Волокна гладенькі, в тканинах слизькі, нитки зміщуються, на зрізах осипаються.

Ацетатні волокна тонші від віскозних і блиск у них приємніший, нагадує блиск натурального шовку. Горить жовтим полум’ям, виділяючи кислуватий запах і утворюючи кульку темного кольору, яка після охолодження легко роздавлюється пальцями. Якщо полум’я погасити, то волокно повільно тліє і виділяє димок.

Ацетатне волокно має по довжині більшу ребристість, ніж віскозне.

Міцність менша, ніж у віскозних, і становить 100…140 мН/текс. Видовження в момент розриву 18…20 %.

Пружність вища, ніж у віскозного, внаслідок чого швейні вироби із ацетатного шовку менше мнуться.

Гігроскопічність менша і становить 6…7 %.

При нагріванні вище ніж 170ºС ацетатне волокно руйнується.

Синтетичні волокна – капрон, лавсан, нітрон, хлорин.

Сировиною для *капрону* є фенол, бензол, толуол, які добувають із кам'яного вугілля чи нафти. Капронове волокно має гладеньку поверхню з круглим поперечним перерізом (рис. 8.7), зовні нагадує штучне волокно, але якщо його підпалити, то воно спочатку плавиться, а потім горить слабким блакитнувато-жовтим полум'ям з виділенням білого диму і запаху сургучу. Після виведення волокон із полум'я горіння припиняється, а на кінці застигає темна тверда кулька.

Міцність капрону перевищує міцність усіх штучних та більшості натуральних волокон. Видовження в момент розриву 20…25 %.

Гігроскопічність низька, що впливає на властивості тканин. В нормальних умовах вологість волокон становить 1…5 %.

Нагрівання до температури 170ºС деформує капронове волокно.

З капрону виробляють легкі тканини і трикотаж, добірне мереживо, стрічки, тасьму, штучний каракуль тощо. Капронове волокно використовують у суміші з бавовною і вовною для виготовлення платтяних, костюмних та пальтових тканин.

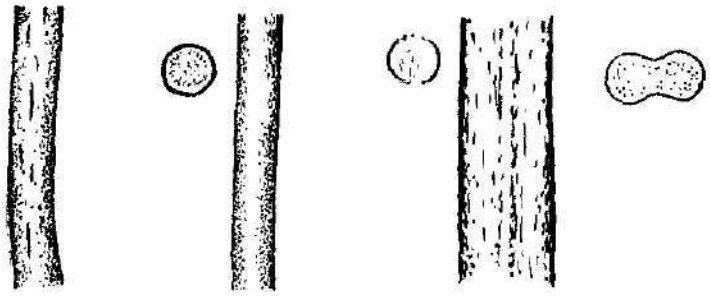


Рис. 8.6 Рис. 8.7 Рис. 8.8

Міцність капрону перевищує міцність усіх штучних та більшості натуральних волокон. Видовження в момент розриву 20...25 %.

Гігроскопічність низька, що впливає на властивості тканин. В нормальних умовах вологість волокон становить 1...5 %.

Нагрівання до температури 170º деформує капронове волокно.

З капрону виробляють легкі тканини і трикотаж, добірне мереживо, стрічки, тасьму, штучний каракуль тощо. Капронове волокно використовують у суміші з бавовною і вовною для виготовлення платтяних, костюмних та пальтових тканин.

Сировиною для виготовлення лавсану с диметиловий ефір терефтальової кислоти та етиленглюколь. Лавсанове волокно буває блискучим або матовим, суровим або забарвленим у масі. Має гладеньку поверхню з круглим поперечним перерізом (рис. 7.6). Горіть

слабким жовтим полум'ям, виділяючи чорну кіптяву. Після згасання полум'я залишається тверда чорна кулька.

Міцність лавсанових волокон нижча, ніж капронових. Видовження в момент розриву 20...25 %. Гнучкість волокон велика, внаслідок цього вироби з них зберігають свою форму і не зминаються. Гігроскопічність лавсану низька, Нагрівання переносить краще, ніж поліамідні волокна. Деформація волокна настає при температурі 240°С.

Застосовують для виготовлення виробів народного споживання і для технічний потреб.

Штапельні волокна використовують в чистому вигляді та в суміші з вовною, бавовною, льоном і різними хімічними волокнами. З пряжі з лавсаном виготовляють різні тканини, неткані матеріали, трикотаж, штучне хутро.

Синтетичне волокно *нітрон* за зовнішнім виглядом важко відрізнити від високоякісної вовни, а комплексні нитки нагадують натуральний шовк. Поверхня ниток гладенька з гантелеподібним поперечним перерізом (рис. 8.8). Нітронове волокно горить інтенсивно, спалахами, виділяючи чорну кіптяву. Після згоряння залишається темна кулька неправильної форми, яка легко роздавлюється пальцями.

Міцність у вологому стані майже не змінюється, видовження 18...22%, пружність висока, гігроскопічність низька, при нормальних умовах волокно нітрону містить 1% вологи. Нагрівання переносить погано: при температурі 200...230°С волокно деформується. До дії сонячних променів волокна нітрону стійкіші, ніж поліамідні.

Нітронове волокно використовують у чистому вигляді для виготовлення високооб'ємної пряжі, з якої виготовляють вовноподібні тканини (для спідниць, костюмів), а також трикотажні вироби, які нагадують вироби з ангорового волокна. Широко застосовують нітрон у суміші з вовною для виготовлення платтяних, пальтових тканин, а також верхнього трикотажу. Крім того, нітрон використовують для виготовлення спецодягу, штучного хутра, килимів, ковдр, гардин, брезенту та інших технічних виробів.

Хлорин (рис. 8.9) – це волокно, яке відрізняється від усіх хімічних волокон тим, що не має блиску, легко електризується. У полум'ї волокно не горить, а збігається, обвуглюється, виділяючи запах хлору,

Міцність низька, видовження 20...24 %. Гігроскопічність низька

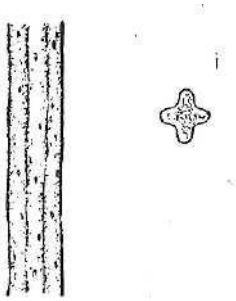


Рис. 8.9

(0,1%). Волокно переносить нагрівання до 70°С, а при температурі 90°С плавиться,

З хлорину в суміші з вовною виготовляють вироби верхнього трикотажу, пальтові та платтяні тканини, килими. Використовують також для виготовлення тканин, з яких шиють спецодяг для рибалок, лісників, робітників нафтопереробної промисловості, а також фільтрувальних тканин типу байки та сукна.

Розділ 9. Опоряджувальні матеріали

Столярно-меблеві вироби покривають лакофарбовими матеріалами. Лакофарбова плівка оберігає виріб від атмосферних впливів, випадкового зволоження, від механічних пошкоджень, а також надає виробу привабливого вигляду і робить його гігієнічним. Тому лакофарбова плівка має бути міцною, гладенькою, світло-, тепло- і вологостійкою та міцно зчіплюватися з оброблюваною поверхнею.

Облицювання може бути прозорим й непрозорим. Прозоре - облицювання речовинами, що не закривають натурального кольору й текстури деревини.

Залежно від призначення лакофарбові матеріали випускають для підготовки до оздоблювання та безпосередньо для покриттів.

Підготовка поверхні деревини включає такі операції: для прозорого оздоблення - знесмолювання, відбілювання, поверхневе фарбування, ґрунтування, порозаповнення, сушіння та шліфування; для непрозорого оздоблення - знесмолювання, ґрунтування, шпатлювання, сушіння та шліфування.

Для прозорого оздоблення захисно-декоративні покриття включають: нанесення лаків, проміжні сушіння й шліфування; для непрозорого оздоблення - шпатлювання, фарбування, сушіння і шліфування. Лакофарбові покриття облагороджують для прозорого оздоблення -шліфуванням, розрівнюванням, поліруванням, глянсуванням, матуванням; для непрозорого оздоблення - шліфуванням, поліруванням, глянсуванням.

За призначенням лакофарбові матеріали поділяють на три основні групи:

матеріали для підготовки поверхні деревини до оздоблення (грунтівки, шпатлівки, порозаповнювачі);

матеріали, що утворюють основний лакофарбовий шар (лаки, фарби, емалі);

матеріали для облагороджування лакофарбових покриттів (політури, розрівнюючі рідини, полірувальні пасти).

Лакофарбові матеріали являють собою композиції, які складаються з ряду вихідних речовин-компонентів, що виконують різну роль в утворюючому лакофарбовому покритті. Ці компоненти поділяються на плівкоутворюючі речовини і зв'язуючі (природні та синтетичні смоли, клеї, висихаючі масла, віск та інші, котрі внаслідок фізико-хімічних процесів утворюють тверду плівку, що добре зчіплюється з

поверхнею виробу) і сикативи (компоненти, що прискорюють строк висихання покриттів).

9.1 Матеріали для прозорого оздоблення

9.1.1 Барвники

Для прозорого оздоблення столярних виробів, особливо меблів, часто доводиться змінювати натуральний колір деревини або надавати їй певного тону за допомогою барвників. Барвники - суміші забарвлених органічних речовин, які розчиняються у воді, спирті та інших органічних розчинниках і утворюють прозорі розчини, що змінюють колір деревини без затемнення природної текстури. Фарбування відбувається внаслідок проникнення розчину барвника на більшу чи меншу глибину дерев'яної деталі, яку фарбують. Забарвленням посилюють природний колір деревини, імітують малоцінні породи під цінні й підфарбовують лаком.

Барвники за походженням поділяють на природні та синтетичні.

Природні барвники характеризуються високою світлостійкістю. Найчастіше використовують відвари тирси і стружок деревини темних кольорів, зеленого лушпиння грецького горіха, лушпиння цибулі, кори вільхи, верби, яблуні тощо. До природних належать також гумінові барвники, які добувають із торф'яних ґрунтів і бурого вугілля, в них містяться гумінові кислоти. Гумінові барвники мають вигляд блискучих темно-коричневих кристалів, їх водні розчини відомі під назвою *горіхової морилки, бейцу.* Гумінові барвники фарбують деревину в коричневий колір різних відтінків залежно від насиченості розчинів (10-40 %). Щоб відтінок був темний, розчин наносять кілька разів. Гумінові барвники добре розчиняються у воді, мають високу світлостійкість, а також добре змішуються з синтетичними барвниками.

Синтетичні барвники, які називаються аніліновими, - це складні органічні речовини, які одержують з кам'яновугільної смоли. Ці барвники за принципом дії на деревину можна поділити на прямі, що забарвлюють безпосередньо деревне волокно; кислотні, що забарвлюють лігнін деревини при наявності кислот; основні, що забарвлюють деревину, яка містить дубильні речовини; сірчисті. *Прямі барвники* випускають різноманітної гами кольорів, але вони мають малу світлостійкість і тьмяні тони. *Кислотні* - солі органічних кислот (натрію, калію, кальцію), глибоко забарвлюють деревину в яскраві тони, мають добру світлостійкість. Промисловість випускає

такі кислотні барвники для фарбування деревини: жовтий; темно-червоний; коричневий; темно-коричневий; червонувато-коричневий № 1, 2, 3 і 4; світло-коричневий № 5,6, 7, 16, 17; темно-коричневий № 8,9, 15; жовтувато-коричневий № 10; горіхово-коричневий № 11, 12, 13, 14; оранжево-коричневий № 122; червоний № 124.

Основні барвники застосовуються для глибокого забарвлення деревини, багатої на дубильні речовини або завчасно обробленої розчином хромпіку. Ці барвники дають чисті й яскраві кольори, текстуру не закривають, але вони малосвітлостійкі.

Сірчисті барвники дістають, сплавляючи синтетичні барвники з сіркою. Вони світлостійкі й дешеві, кольори дають тьмяні. Ці барвники застосовують для фарбування хвойних порід без знесмолювання деревини.

Найпоширенішими є водні розчини барвників. Загальний недолік усіх водорозчинних барвників - на фарбованій ними поверхні піднімається ворс.

Для приготування водних розчинів барвників використовують м'яку воду. Жорстку воду пом'якшують кип'ятінням, уведенням 1... 1,5 % кальцинованої соди, аміачної води. Розчиняють барвник спочатку в невеликій кількості гарячої води, а потім кількість води доводять до потрібної. Якщо барвник розчиняється повільно, то розчин підігрівають, не доводячи до кипіння. Допускається застосовувати розчини на основі двох або трьох барвників. Концентрація барвників у водному розчині 1.. .5 %.

Синтетичні барвники надходять на виробництво упакованими в паперові або поліетиленові пакети (у малих дозах) чи в металеві коробки. Гумінові барвники тримають у пакетах і в мішках. Зберігають барвники в сухому приміщенні. Розчин готують на місці їх застосування.

9.1.2. Протрави

Протравами називають водні розчини кислот і солей металів. Це різні хімікати, які легко розчиняються у воді і які, діючи на деревину або один на одного, утворюють у деревних волокнах кольорові солі, що забарвлюють деревину або надають їй певного тону. У процесі реакції солей з дубильними речовинами відбувається забарвлення деревини. Дуб, каштан, червоне дерево та інші породи, багаті дубильними речовинами, після нанесення протрав одержують міцне світлостійке забарвлення.

Як протрави найчастіше використовують такі кислоти й солі.

Азотна кислота - безбарвна або жовтувата рідина з гострим запахом, дуже отруйна, її застосовують у чистому вигляді для гравірування й випалювання. У розчинах її використовують для фарбування деревини.

Сірчана кислота - маслянista отруйна рідина, її застосовують при випалюванні у суміші з азотною кислотою.

Оцтова кислота - безбарвна або жовтувата рідина з кислим запахом. Використовують для приготування водних розчинів барвників.

Залізний купорос - кристали світло-зеленого кольору з білим нальотом та іржею. Використовують для фарбування деревини в чорні й сірі кольори.

Мідний купорос - сині кристали, які добре розчиняються у гарячій воді. Застосовують для фарбування в чорний і коричневий кольори.

Нашатирний спирт - рідина з різким запахом. Забарвлює деревину, в якій є дубильні речовини, в жовто-коричневий колір.

Двохромовокислий калій (хромпік) - кристали жовто-оранжевого кольору. Добре розчиняється у воді. Використовується для фарбування в коричневі тони.

Двохромовокислий натрій - кристали червоного кольору, що розчиняються у воді. Забарвлює деревину в коричневі й жовті кольори.

Марганцевокислий калій - дрібні блискучі кристали темно-малинового кольору. Забарвлює деревину в коричневий колір.

Залежно від бажаного кольору і тону готують розчин протрав концентрації від 0,5 до 5 %. Протрави розчиняють у гарячій воді у фаянсовому або скляному посуді (у металевому посуді склад і властивості протрав змінюються). Розчини протрав зберігають у холодному й темному місці у посуді, що щільно закупорюється. За невеликим винятком усі протрави отруйні, тому слід поводитися з ними дуже обережно.

9.1.3 Розчинники, розріджувачі й пластифікатори

Розчинники - рідини, які розчиняють тверді плівкоутворюючі речовини і роблять суміші текучими, що дає змогу наносити їх на оброблювальні поверхні тонким шаром щіткою, тампоном або розпилювачем.

Розчинники можуть самостійно розчиняти плівкоутворювач або використовуватися тільки для розрідження готових розчинів. Рідини,

що самостійно не розчиняють плівкоутворювач, називають, на відміну від розчинників, розріджувачами. Це назва умовна, тому що одні й ті самі рідини можуть бути розріджувачами для одних і розчинниками для інших плівкоутворювачів. Розчинники і розріджувачі - це леткі рідини. Після нанесення розчину на оброблювану поверхню розчинник випаровується, а плівкоутворююча речовина знову переходить до твердого стану у вигляді тонкої лакофарбної плівки.

Більшість розчинників вогне- й вибухонебезпечні, внаслідок чого з ними слід поводитися обережно. Значна частина розчинників (розріджувачів) отруйна і впливає на організм людини під час вдихання їх парів і попадання на шкіру. Тому в приміщеннях, де застосовують матеріали, що містять органічні розчинники, має бути хороша припливно-витяжна вентиляція.

Найчастіше застосовують такі розчинники й розріджувачі.

Скипидар - найбільш поширений розчинник і розріджувач згущених олій та олійних фарб. Це рідина жовтуватого кольору із сильним запахом. Добувають його перегонкою живиці у процесі виробництва каніфолі. Скипидар розчиняє олії, масла, воски, деякі смоли. Застосовують його для виготовлення оліф, лаків і фарб, воскових мастик. Він прискорює висихання плівок олійних облицювальних розчинів.

Ацетон - прозора жовтувата летка рідина з сильним запахом. Добувають ацетон сухою перегонкою деревини, а також бродінням крохмалю під впливом бактерій та сухої перегонки оцтовокислих солей. Ацетон добре змішується з водою, спиртами, ефірами. Він дуже активний розчинник нітроцелюлози, природних і синтетичних смол, олій і масел.

Дихлоретан - безбарвна рідина із запахом хлороформу. Дихлоретан добре розчиняє поліхлорвінілові та інші синтетичні смоли, жири, віск. Швидко випаровується, отруйний. Застосовують його в перхлорвінілових, олійних, гліфталевих лаках і в нітролаках.

Бензол - безбарвна прозора ароматична летка рідина. Добувають його сухою перегонкою кам'яного вугілля. Бензол - добрий розчинник олій, масел, воску і деяких смол. У воді бензол не розчиняється. Застосовують його переважно в нітролаках як розріджувач.

Толуол - безбарвна рідина, продукт сухої перегонки кам'яного вугілля, менш отруйний, ніж бензол. Він добрий розчинник олій і смол. У нітролаках застосовується як розріджувач.

Бензин-розчинник - прозора безбарвна рідина. Добувають його у процесі перегонки нафти. Застосовують як розчинник і розріджувач масел, олій та олійних розчинів.

Тетралін - безбарвна летка й неотруйна рідина; добре розчиняє смоли, тваринні жири й згущені олії. Його добувають обробкою нафталіну.

Декалін -також продукт обробки нафталіну. Розчиняє смоли, олії, а також віск.

Етиловий спирт дістають від бродіння крохмалистих і цукристих рослинних речовин (картоплі, зерна), а також від гідролізу деревини. Етиловий спирт добре розчиняє всі природні смоли й ряд синтетичних. У нітролаках етиловий спирт застосовують як розріджувач.

Метиловий спирт - продукт сухої перегонки деревини. Він у будь-яких співвідношеннях змішується з водою, із іншими спиртами та ефірами. Метиловий спирт розчиняє більшість смол і згущених олій; у суміші з ацетоном розчиняє нітроцелюлозу. Дуже отруйний.

Бутиловий спирт - безбарвна прозора рідина з гострим запахом спирту й сивушного масла, продукт бродіння крохмалю під впливом особливих бактерій. Бутиловий спирт добре розчиняє олії і багато синтетичних смол. Він поліпшує блиск лакової плівки.

Ефіри добувають у процесі взаємодії спиртів і кислот, їх поділяють на прості й складні. З простих ефірів для обробки столярних виробів застосовують етиловий ефір і спиртогліколі (метил-, етил- і бутилгліколі).

Етиловий ефір (сірчаний) добувають з етилового спирту під дією міцної сірчаної кислоти. Це дуже летка прозора рідина з характерним запахом. Етиловий ефір добре розчиняє смоли, жири, а в суміші зі спиртом - нітроцелюлозу.

Метилгліколь - прозора рідина із слабким запахом, розчиняє нітроцелюлозу.

Етилгліколь - така сама рідина, розчиняє смоли.

Бутилгліколь - рідина, подібна до етилгліколю, розчиняє смоли, олії, нітроцелюлозу.

Усі ці спиртогліколі добре змішуються з іншими розчинниками, розріджувачами і з водою. Вони повільно випаровуються і майже нешкідливі, тому їх застосовують у нітролаках, які наносять вручну щіткою або тампоном.

Складні ефіри дістають від взаємодії оцтової кислоти й різних спиртів, їх називають ацетатами.

Етилацетат - світла прозора рідина із слабким запахом оцту, за леткістю подібна до бензину. Етилацетат добре розчиняє нітроцелюлозу, широко застосовується як розчинник у нітролаках.

Амілацетат - безбарвна прозора рідина, помітно летка, з різким запахом грушевої есенції. Амілацетат також добре розчиняє целюлозу.

Бутилацетат - безбарвна рідина із запахом бутилового спирту. Його використовують як розчинник у нітролаках. Він не змішується з водою, тому запобігає побілінню нітролакових плівок під час потрапляння на них води.

Метилацетат - безбарвна рідина із слабким запахом метилового спирту. Він добре розчиняє нітроцелюлозу, тому його часто використовують замість ацетону.

Деякі лаки й синтетичні смоли перед застосуванням потрібно довести до робочої в'язкості, додаючи до них розчинник або розріджувач. Для цього промисловість випускає готові розчинники № 645, 646, 647 та 648 і розріджувачі Р-4, РКБ, РДВ.

Розчинники № 645, № 646 їй № 647 призначаються для розведення до робочої в'язкості нітролаків, нітроемалей, нітрошпатлівок.

Розчинник № 648 - це суміш дуже активних розчинників. Призначений для розрівнювання (розганяння) нітролакової плівки або видалення з неї слідів шліфування.

Розріджувач Р-4 - це суміш двох-трьох розчинників (ацетону, бутилацетату або етилацетату із толуолом, сольвентом) у різних поєднаннях. Застосовують у перхлорвінілових лакофарбових матеріалах.

Розріджувач РКБ- це розріджувач лаків із сечовино-формальдегідних смол. Він являє собою суміш бутилового спирту й ксилолу.

Розріджувач РДВ призначений для нітролаків, нітрофарб і нітрошпатлівок.

Майже всі розчинники вогненебезпечні, а деякі й вибухонебезпечні, тобто їх пара в суміші з повітрям від вогню вибухає. Більшість розчинників шкідливо діє на організм людини. Вдихання їх пари спричиняє запаморочення, нудоту, задишку та інші ознаки отруєння. Потрапляючи на тіло, розчинники спричиняють опіки. Тому потрібно точно додержуватися правил техніки безпеки і протипожежної охорони під час зберігання розчинників і роботи з ними.

9.1.4 Лаки й політури

Лак являє собою розчин плівкоутворюючих речовин в органічних розчинниках або у воді, які після висихання утворюють тверду прозору однорідну плівку. Залежно від характеру плівкоутво-рення вони поділяються *на лаки, які утворюють плівки тільки внаслідок звітрювання розчинників* (наприклад, спиртові, нітроцелюлозні), і *лаки, котрі утворюють плівки внаслідок хімічних реакцій полімеризації та поліконденсації,* після чого переходять у нерозчинний стан (наприклад, олійні, поліефірні, сечовино-формальдегідні).

Лакові плівки захищають вироби від зовнішніх впливів, надають їм гарного зовнішнього вигляду, водонепроникності тощо. На поверхні елементів має утворюватися рівномірний за товщиною, кольором і блиском лаковий шар, який має хорошу адгезію з деревиною або з нижніми шарами ґрунтовок і порозаповнювачів.

Називати лаки прийнято відповідно до розчинників (наприклад, спиртові), або плівкоутворюючих речовин (наприклад, олійні, нітроцелюлозні, поліефірні, поліуретанові, перхлорвінілові тощо).

Спиртові лаки - це розчини смол у летких речовинах. Основний розчинник для цієї групи лаків - етиловий спирт. Плівки спиртових лаків утворюються внаслідок випаровування розчинника і можуть бути знову розчинені в ньому. Спиртові лаки бувають забарвленими.

Лак шелаковий утворює блискучі тверді плівки, які добре шліфуються й поліруються, але недостатньо водостійкі. Червоний шелаковий лак містить барвник. Мутний лак виготовляють з невідбіленого шелаку, в якому міститься шелаковий віск. Застосовують його для лакування деревини великосудинних порід, оскільки нерозчинний віск добре заповнює судини. Шелаковий лак іноді готують на місці виробництва столярних виробів. Потрібну кількість шелаку подрібнюють, засипають у скляний посуд і заливають відповідною кількістю етилового спирту. Шелак розчиняється протягом трьох-чотирьох діб. Коли увесь шелак розчиниться, лак фільтрують через марлю.

Каніфольний лак - це розчин каніфолі в спирті. Плівка каніфольного лаку недостатньо теплостійка, досить крихка. Каніфольний лак застосовують переважно для покриття іграшок і дрібних кустарних виробів.

Нерідко змішують каніфольний і шелаковий лаки. Чим більше шелаку, тим кращий лак.

Абієтиновий лак - розчин абієтинової смоли в спирті. Цей лак

утворює досить водо- і світлостійку плівку темного кольору.

Берестяний лак утворює блискучу плівку, що добре полірується.

Спиртові лаки наносять щіткою або тампоном, при цьому утворюється дуже тонка і прозора плівка з хорошим блиском, але недостатньо водо- й морозостійка. Необхідність багаторазового нанесення спиртових лаків і невисока міцність плівки - основна причина їх обмеженого застосування, їх використовують переважно для обробки кустарних і любительських виробів з деревини.

Нітроцелюлозні лаки - це лаки, виготовлені на основі нітроцелюлози (колоксиліну) і суміші різних розчинників з додаванням природних або синтетичних смол, пластифікаторів і розріджувачів. У кольорових нітролаках, крім того, є ще й барвники.

У нітролаках склад плівкоутворюючих речовини від маси лаку такий: колоксилін (нітроцелюлоза) - 4.. .20 %, смола - 5.. .8 %, пластифікатори - 1... 12 %, загалом - 10...40 % залежно від властивостей і призначення нітролаку. Призначення смоли в нітролаках - збільшити товщину лакової плівки, посилити її блиск і атмосферостійкість, збільшити адгезію з деревиною, грунтами й порозаповнювачами. У нітролаках частіше використовують ефір каніфолі й гліфталеві полімери. Гліфталь бере участь в утворенні плівки й одночасно є пластифікатором. Крім того, він збільшує світло- й атмосферостійкість нітролакової плівки. Пластифікаторами для нітролаків є олія, дібутилфталат, трикрезилфосфат.

Для розчинення плівкоутворюючих речовин у нітролаках застосовують розчинники і розріджувачі. Розчинниками є ацетон, метиловий спирт, ацетати; розріджувачами - бензол, толуол, етиловий і бутиловий спирти.

Покриття, утворені нітролаками, швидко висихають внаслідок випаровування розчинників, утворюють досить тверді, стійкі й еластичні плівки, здатні поліруватися. Випаровування розчинників відбувається при температурі 18...20 °С і значно прискорюється під час камерного сушіння при температурі 35...50 °С.

Нітролаки поділяють так: прозорі - холодного й гарячого нанесення; матові; кислотного тужавлення - прозорі та матові. Прозорі *нітролаки холодного нанесення* НЦ-218, НЦ-221, НЦ-222, НЦ-224, НЦ-228, НЦ-243. Лак НЦ-218 можна наносити на поверхню деревини тампоном. Усі лаки без винятку наносять розпиленням, а лаки НЦ-218, НЦ-222, НЦ-224, крім зазначених способів, - наливанням. До робочої в'язкості ці лаки доводять розчинником № 646, за винятком лаку НЦ-

233, для якого застосовують розчинник РМЛ-315. До *нітролаків гарячого нанесення* належить лак НЦ-223. Температура нагрівання лаку - 70 °С.

Прозорі нітролаки утворюють на поверхні деревини блискучі покриття, що зберігають природний блиск і текстуру деревини.

Нітролаки холодного нанесення мають нижчий процент плівкоутворювання (17...25%), ніж гарячого нанесення (33...35%). Тому для одержання лакової плівки однієї й тієї ж товщини потрібно наносити більшу кількість шарів нітролаку холодного нанесення, ніж гарячого. Нітролаки холодного нанесення розріджують до робочої в'язкості розчинниками й розріджувачами.

Різновид нітроцелюлозних лаків - *матові,* завдяки ним на поверхні є матові шовковисті покриття, які частково вуалюють колір і текстуру деревини. Матові покриття утворюються восковими речовинами або дрібнозернистими наповнювачами, що містяться в лаці. Матові властивості лакам надає стеарт цинку, введений до складу в кількості 5... 10% від плівкоутворюючих речовин, який розчиняється в ароматичних вуглеводнях внаслідок підігрівання й випадає з розчину після охолодження. Матові лаки наносять на поверхню, вкриту прозорим нітролаком, або безпосередньо на деревину без попереднього її лакування.

Матовий нітролак НЦ-49 - сіро-жовтого кольору, тьмяний, наноситься розпиленням і наливанням; до робочої в'язкості його доводять розчинниками № 646 і № 648, час висихання - 10... 15 хв.

Нітролак *терпено-колоксиліновий* матовий ТКМ-25/26 і НЦ-243 світло-жовтого кольору, час висихання першого 10...15 хв, другого -не більше 60 хв. Наносять їх розпилюванням і наливанням, до робочої в'язкості доводять розчинниками № 646 і № 648.

До складу *нітролаків кислотного тужавлення* додатково вводять карбомідні смоли. Вони підвищують морозо-, водо- і хімічну стійкість нітролакових покриттів, а також сприяють підвищенню міцності покриттів при різкому коливанні температури. Промисловість випускає два лаки цього типу: прозорий НЦ-241 і матовий НЦ-241М. Висихання першого - 1,5, другого - 1 год. Розріджують їх розчинниками № 464 та РМЛ.

Лаки з синтетичних смол (полімерів). Раніше для обробки столярних виробів застосовували лаки з природних смол. У 1930-х роках було розроблено нітролаки, які швидко набули широкого застосування, особливо для обробки меблів. У масовому виробництві

меблів нітролаки невдовзі повністю замінили лаки з природних смол. В останні роки з'явилися лаки з полімерів (синтетичних смол). Застосування лаків з полімерів має велике економічне й виробничо-технічне значення.

Якщо природні смоли дефіцитні, то сировинна база для виробництва полімерів необмежена. Лаки з природних смол звичайно невеликої концентрації і для виробництва їх потрібно багато дорогих розчинників (спиртів). Лаки з полімерів мають звичайно високу концентрацію.

Щоб утворити необхідну плівку на поверхні виробу, лаки з природних смол через низьку їх концентрацію доводиться наносити в 3,5 і більше шарів, висушуючи і шліфуючи кожний шар. Це подовжує обробку й підвищує її трудомісткість. Лаками ж з полімерів, як більш концентрованими, покривають виріб два рази, а деякими лаками - один раз.

Плівки багатьох лаків з полімерів відзначаються великою міцністю, надійним зчепленням з деревиною або шаром ґрунту, хорошим блиском.

Коли деревину покривають лаками з полімерів, то плівка утворюється або внаслідок випаровування розчинників і розріджувачів, якщо лак приготовлено розчиненням полімеризаційного термопластичного полімеру, або внаслідок продовження хімічної реакції в нанесеному шарі лаку. Розчинниками в лаках з полімерів є бутиловий спирт, толуол, ацетон, дихлоретан, стирол та ін.

Застосовують такі лаки з полімерів.

Перхлорвініловий лак готують на основі перхлорвінілових смол. Він має невелику (до 20 %) концентрацію, утворює атмосферо- і хімічно стійкі покриття. Цим лаком можна покривати вироби, призначені для використання в закритих приміщеннях і на відкритому повітрі. Тривалість висихання при кімнатній температурі 2...3 год.

Гліфталевий лак складається з гліфталевого полімеру й розчинників: етилового спирту, ацетону і бензолу (толуолу). Твердне плівка під час випаровування розчинника і її окиснення. Плівка тверда, водостійка, блискуча. Гліфталевий лак застосовують для обробки виробів, які експлуатуються в приміщеннях і на відкритому повітрі. Єдиний недолік гліфталевого лаку - тривале висихання.

Пентафталевий лак за своїм складом і властивостями близький до гліфталевого, але вигідно відрізняється від нього тим, що утворює

твердіші, блискучіші й стійкіші до води плівки, а також швидше сохне.

Поліефірні лаки поділяють на дві групи: з вмістом парафіну й безпарафінові. Перевага матеріалів з вмістом парафіну перед безпарафіновими в тому, що вони містять до 95 % плівкоутворюючих речовин, висихають при температурі 20...23°С.

Лаки з вмістом парафіну мають і недоліки, їх можна наносити тільки на горизонтальні поверхні. При нанесенні на вертикальні поверхні вони стікають, утворюючи товсті шари, що не висихають. Парафін при температурі 18...23°С спливає на поверхню лакового шару і утворює тонку плівку, яка ізолює його від впливу кисню і перешкоджає випаровуванню стиролу.

Поліефірний лак ПЕ-246 з вмістом парафіну наносять поливанням, він добре шліфується і полірується. Але за міцністю й декоративними якостями безпарафінові лаки поступаються перед лаками, що містять парафін.

Безпарафінові лаки-це розчини двох ненасичених поліефірних смол з добавлянням колоксиліну й алкідної смоли. Колоксилін у цьому випадку виконує роль плівкоутворюючої домішки, а алкідна смола підвищує адгезію (зчеплення) лаку з деревиною. Ці лаки тверднуть внаслідок реакції сополімеризації ненасичених поліефірних смол і частково через випаровування розчинників, уведених до складу лаку для розведення колоксиліну й алкідної смоли.

Відсутність парафіну спрощує технологію нанесення лаків, тому що відпадає потреба зішліфовувати парафіновий шар і дотримуватися суворого температурного режиму під час нанесення лаків.

Промисловість випускає кілька марок безпарафінових поліефірних лаків.

Поліефірмалеінатний лак ПЕ-220 - гарячого сушіння. Наносять його двома шарами з інтервалом 20.. .30 хв. Витримують перед шліфуванням 24 год. Лак наносять розпиленням за допомогою лаконаливних машин. Після нанесення лак сушать при підвищеній температурі в сушарках.

Поліефірмалеінатний лак ПЕ-247 чорний - повітряного сушіння, наносять двома шарами з інтервалом у 20...3О хв. Тривалість висихання 12 год при температурі 20...25 °С. Витримують перед шліфуванням 2 год. Наносять його лаконаливними машинами.

Поліефірні лаки ПЕ-232, ПЕ-250, ПЕ-250М (матовий), ПЕ-250М (напівматовий) призначаються для прикрашання виробів з деревини, що експлуатуються всередині приміщення, з наступним поліруванням

(лаки ПЕ-232 і ПЕ-250) і без полірування (лаки ПЕ-250М). Наносять лаки двома шарами з інтервалом в 30 хв при температурі 20°С.

Поліуретанові лаки утворюють тверду еластичну плівку, яка має в кілька разів більший опір стиранню, ніж нітролакова. Вони атмосферостійкі і мають діелектричні властивості. Ці лаки наносять на поверхню поливанням і пневматичним розпиленням.

Епоксидні лаки - це розчин епоксидного полімеру з невеликою кількістю феноло-формальдегідного полімеру й отверджувача. Лаки містять мало розчинника, плівка твердне переважно внаслідок хімічного процесу в шарі нанесеного лаку. Лакові плівки дуже тверді, атмосферо- і водостійкі, їм властива добра адгезія з деревиною.

Серед лаків з синтетичних смол нового покоління, що надходять на ринок України з різних країн, є:

алкідний лак на уретановій основі, що виробляє фінська фірма "Тікуріла". Лак буває глянсовий і напівглянсовий. Застосовується для лакування дерев'яних поверхонь (човни, вікна, двері, паркет тощо) всередині приміщень і на відкритому повітрі;

лак "Поли-Р" на основі поліуретану, виробник "ВТК Поли-Р" (Російська Федерація). Застосовується для захисно-декоративної обробки дерев'яних поверхонь стін, підлог, а також для лакування меблів. Створює однорідну прозору плівку з відмінним блиском. Покриття стійке проти дії мастил, різних речовин побутової хімії тощо;

лак МЧ-26 паркетний (Загорський лакофарбовий завод, Російська Федерація) застосовується для покриття паркетних підлог та інших дерев'яних поверхонь всередині приміщень. Цей лак являє собою розчин карбамідоформальдегідної смоли в сольвенті й бутиловому спирті з домішкою кислотного отверджувача. Лак змішується з отверджува-чем безпосередньо перед застосуванням. Наноситься на поверхню щіткою у два-три шари. Строк висихання при температурі 20 °С не більше 3 год.

Олійні лаки - це розчини природних смол або полімерів у висихаючих оліях з домішкою розріджувачів. Полімери в олійних лаках збільшують твердість і блиск утворюваних лакових плівок, поліпшують їх зчеплення з оброблюваною поверхнею. Плівки олійних лаків відзначаються блиском, міцністю, водо- й атмосферостійкістю, причому ці властивості значною мірою залежать від співвідношення олії й полімеру. Для виготовлення олійних лаків використовують згущену олію й природні або синтетичні смоли. Щоб надати лаковій

плівці матовості, до олійного лаку додають 2.. .3 % воску, парафіну або церезину.

Якщо *лаки* містять у 2...5 разів більше олії, ніж смоли, то вони називаються *жирними.* Прісні лаки містять від 0,5 до 1,25 частини олії на 1 частину полімеру.

Жирні лаки більш еластичні й утворюють плівки високої водо- і атмосферостійкості, тому їх використовують для покриття виробів, що експлуатуються на відкритому повітрі.

Прісні лаки, порівняно- з жирними, висихають швидше, дають плівки менш атмосферостійкі й еластичні, але з хорошим блиском і дуже тверді. Прісними лаками покривають вироби, що використовуються в приміщеннях.

Олійні лаки промисловість випускає готовими до роботи. Розріджувати їх можна в незначних межах скипидаром або бензином-розчинником.

Політури - розчини твердих полірувальних смол слабкої концентрації, колоксиліну та пластифікаторів у суміші летких органічних розчинників. Політури служать для утворення рівного, дзеркально-блискучого прозорого покриття, яке виявляє й поглиблює природну текстуру деревини.

Є два основних види полірування: полірування політурами по деревині (столярне полірування); полірування політурами по шелаковому або нітролаковому покриттю.

Розрізняють спиртові політури й нітрополітури. Спиртові політури, що містять у розчині шелак, називають *шелаковими.* Шелакові політури часто готують на місці використання, розчиняючи шелак у етиловому спирті, потім устоюючи і фільтруючи розчин.

Хімічна промисловість випускає такі спиртошелакові політури: № 13 (світло-коричневого кольору), № 14 (темно-коричневого кольору), № 15 (червоно-малинового кольору), № 16 (чорно-синього кольору). Ці політури застосовують для полірування шелакових, нітроцелюлозних і олійних плівок.

Випускаються також *ідитольна спиртова політура* – розчин у спирті синтетичної ідитольної смоли, а також *берестяна політура* на основі берестяної смоли. Ідитольна політура утворює несвітло-стійкі покриття, червоніючи під дією сонячних променів. Берестяна політура за якістю наближається до шелакової.

Нітрополітури утворюють стійкіші покриття, ніж спиртові, їх застосовують для полірування нітролакових покриттів після

розрівнювання або шліфування. Нітрополітури бувають *нітрошелакові* та *нітроцелюлозні. Нітрошелакова політура* - це розчин колоксиліну, формальдегідної смоли, шелаку і пластифікаторів у суміші летких органічних розчинників. Застосовують її для остаточного полірування нітролакових плівок. У нітроцелюлозній політурі шелак відсутній.

Нітрополітури зберігаються в герметичній тарі. Ці матеріали вогненебезпечні, їх пара шкідлива для людини.

9.2 Матеріали для непрозорого оздоблення

9.2.1. Олії й оліфи

Столярні вироби покривають оліями, які добувають з насіння рослин. У промисловості використовують три типи олії: висихаючі, напіввисихаючі та невисихаючі.

Висихаючі олії здатні окислюватися й полімеризуватися. Завдяки цьому тонкий шар олії перетворюється на тверду тепло- і водостійку плівку, яка не розчиняється у воді й спирті й добре блищить. На цьому ґрунтується використання олій як плівкоутворюючих речовин. До висихаючих олій належать: лляна, конопляна, перилова, тунгова.

Лляна олія, яку виробляють з насіння льону, коричнювато-жовта. На повітрі при температурі вищій за О °С і при сонячному світлі вона висихає протягом 5.. .6 діб і при цьому перетворюється у тверду плівку.

Конопляну олію добувають з насіння конопель. За технічними якостями вона близька до лляної, але має темніший колір із зеленуватим відтінком і довше сохне.

Периловy олію добувають з насіння однорічної рослини - перили, що росте на півдні України. Ця олія в техніці обробки столярних виробів рівноцінна лляній.

Тунгова олія, яку виробляють з насіння тунгового дерева, має колір від світло- до темно-жовтого і неприємний різкий запах. Ця олія отруйна. Порівняно з лляною олією швидше висихає й утворює твердішу водостійку плівку, яка добре блищить.

Напіввисихаючі олії висихають значно повільніше від лляної. Утворені ними плівки під впливом тепла розм'якшуються, навіть плавляться і досить легко розчиняються в різних розчинниках. До напівви-сихаючих олій належать соняшникова та соєва.

Соняшникова олія світлостійка, з часом вона темніє, але менше від лляної.

Соєва олія (бобова) має колір від світло-жовтуватого до жовтувато-коричневого.

Невисихаючі олії можуть висихати тільки під впливом сикативів, причому плівки виходять липкими. До таких олій належать бавовняна, рицинова, а також мінеральне масло.

Бавовняну олію добувають з насіння бавовнику, її обробляють розчином лугу, щоб стала світло-жовтою.

Рицинову олію добувають з насіння рицини. Вона світло-жовтого кольору, дуже в'язка. Використовується як пластифікатор, а також у полірувальних пастах і мастилах.

Мінеральні масла (трансформаторне, вазелінове та ін.) плівки не утворюють, їх застосовують для полірувальних робіт.

Натуральні рослинні олії висихають повільно. Щоб прискорити висихання, їх переробляють на оліфи.

Оліфи виготовляють з олій або нагріваючи олію з окисами металів (сикативами) до 280 °С, або розчиняючи в олії сикативи при температурі 120... 150 °С, або оксидуючи олії, тобто продуваючи через них повітря, нагріте до 150 °С. Під час виготовлення оліфи вода, яка міститься в олії, випаровується, внаслідок чого утворюється багато піни й відбувається певною мірою полімеризація олії, а під час оксидації, крім того, й окиснення її. Від цього олія стає в'язкішою (згущеною) і набуває здатності значно швидше висихати. Сикативи, які добавляють до олії (до 3 % її маси), прискорюють процес висихання.

Оліфи добувають також під час переробки продуктів нафти, сланців та інших видів сировини неросли нного й нетваринного походження. Такі оліфи, на відміну від оліф з рослинних олій, називаються синтетичними.

Розділяють оліфи натуральні, згущені, синтетичні чисті й синтетичні модифіковані.

Натуральна однорідна оліфа на 95 % складається з термічне обробленої олії - лляної, конопляної, соняшникової або соєвої.

Натуральні однорідно-змішані оліфи виготовляють із суміші рослинних олій. Промисловість випускає лляно-соняшникову, лляно-бавовняну (лляної олії 80 %, соняшникової або бавовняної 20 %); тунгово-соняшникову, тунгово-бавовняну; лляно-тунгово-соняшникову, лляно-тунгово-бавовняну оліфи (лляної олії 50 %, соняшникової або бавовняної 35 %, тунгової 15 %). Всі ці оліфи мають ще одну назву -комбіновані.

Промисловість випускає різного складу *згущені однорідні* й *однорідно-змішані* оліфи полімеризовані, оксидовані й оксиполімеризо-вані. Звичайний їх склад: та чи інша рослинна олія - 50...85 %, розчинник- 15...50 %. Згущена однорідна оліфа лляна полімеризована називається *ШС,* лляна і лляно-соняшникова оксидовані - *"Оксоль", "Оксоль-суміш"*.

Синтетичні оліфи промисловість випускає такі:

сланцеву - дизельну й генераторну, що складається із сланцевого масла (40...45 %) і розчинника (60...65 %); сланцеве масло добувають з горючих сланців;

сольову нафтенатну (нафтеноль), що складається з алюмінієво-кальцієвих солей нафтенових кислот (50 %) і розчинника (50 %);

сольову оксикарбонову (карбоноль), що складається з алюмі-

нієво-кальцієвих солей оксикарбонатних кислот (55 %) і розчинника (45 %).

Синтетична модифікована оліфа - лляно-ефірооксикарбо-нова (лаколь) - суміш ефірокислот (ЗО %), олії лляної (20 %) і розчинника (50 %).

Гліфталеву оліфу виготовляють з напіввисихаючої олії, гліцерину, фталевого ангідриду, сикативу і бензину-розчинника. Гліцерин і фталевий ангідрид утворюють гліфталевий полімер. Цю оліфу промисловість випускає готовою, за технічними властивостями вона не поступається перед натуральною лляною.

Для розріджування оліф використовують скипидар, сольвент, бензин-розчинник та ін.

9.2.2 Ґрунтовки і шпаклівки

Малярні ґрунтовки - ґрунтувальні суміші, що наносяться на поверхню під непрозорі лакофарбові покриття. Вони можуть мати у своєму складі компоненти, котрі закривають текстуру деревини. Ґрунтовки складаються з пігментів, наповнювачів (або без них), плівкоутворюючих речовин і розчинників. Плівкоутворюючими речовинами є клеї, оліфи, смоли, лаки. Застосовують малярні ґрунтовки під олійні фарби й емалі.

Шпаклівки - густі, в'язкі маси, що складаються з суміші пігментів з наповнювачами у зв'язуючій речовині, призначені для заповнення нерівностей і загладжування поверхні, яка фарбуватиметься.

Шпаклівки для деревини мають бути однорідними за складом і містити високодисперсні наповнювачі, мати добру адгезію як з

деревиною, так і з наступними шарами лакофарбового покриття, легко наноситься шпателем на поверхню, утворюючи рівне покриття, яке не розтріскуватиметься і не матиме значної усадки, буде водостійким, швидко висихатиме й легко шліфуватиметься.

Шпаклівки поділяють на *густі,* призначені для заповнення місцевих заглиблень, тріщин, западин (місцеве шпаклювання), і *рідкі,* що застосовуються для суцільного вирівнювання нерівностей на всій поверхні (суцільне шпаклювання).

За основним складом плівкоутворюючих речовин шпаклівки поділяються на *олійні, клейові, лакові, нітроцелюлозні, поліефірнітщо.* Як наповнювачі в шпаклівках застосовують відмулену крейду, важкий шпат, каолін, барит тощо.

Олійні шпаклівки водостійкі, але повільно сохнуть. Застосовують їх під олійні фарби й емалі. Готують їх на місці використання змішуванням подрібненої крейди з клеєвим розчином і оліфою.

Лакові, клейові й нітроцелюлозні шпаклівки містять велику кількість летких розчинників і дають значну усадку після висихання.

Тому для одержання гарної поверхні такі шпаклівки потрібно наносити кілька разів. Шпаклівки наносять на поверхню шпателем або фарборозпилювачем.

Шпаклівки випускають-таких марок: ПФ-002 - червоно-коричнева і КФ-003 - червона; ХВ-002 - зелена, ХВ (хлорвінілова) - сіра; НЦ-007 - червоно-коричнева; НЦ-008 - захисна, НЦ-0038 - біла, сіра; МС-006 - алкідно-стирольна рожева; ПЕ-0025 - поліефірна сіра тощо.

9.3 Фарби

Фарби - суспензії пігменту (суміші пігментів) з наповнювачами в оліфі, емульсії, латексі, які утворюють після висихання непрозору плівку. Залежно від виду плівкоутворюючих речовин фарби поділяються на клейові, олійні, емульсійні, емалеві тощо.

Клейові фарби - суміші пігментів у водних розчинах білкових клеїв: казеїнових і глютинових. Клейові фарби готують на місці використання. Вони не дають стійких покриттів на деревині, тому не знайшли широкого застосування. Кращими з клеєвих фарб є фарби на основі казеїну.

Олійні фарби - це суміш пігментів, затертих на фарботерних машинах, з висихаючими оліями, з оліфами або їх замінниками (іноді з додаванням наповнювачів), а також сикативами і розчинниками. Промисловість випускає олійні фарби у вигляді *густотертих паст,*

які перед використанням розбавляють оліфою або її замінником до робочої в'язкості, а також *рідкотертими,* готовими до використання без додаткового розрідження.

Олійні фарби утворюють стійкі, міцні водо- й атмосферостійкі покриття високої адгезії, що висихають практично за добу. Вони широко застосовуються для покриття столярно-будівельних виробів: дверних полотен, віконних рам, елементів столярних перегородок, панелей, а також білодеревних меблів, виготовлених з деревини хвойних і м'яких листяних порід, меблів, призначених для використання на відкритому повітрі, шкільних, лікарняних і кухонних меблів.

До *групи олійних густотертих фарб* загального призначення належать білила свинцеві, цинкові й літопонні, зелень свинцева й цинкова, сурик залізний, мумія, вохра тощо. Ступінь перетирання пігментів позначається номерами. Чим менший номер, тим тонший помел і краща покривність фарби.

До робочої в'язкості густотерті олійні фарби розріджують оліфою. Потрібна для цього кількість оліфи залежить від виду й м'якості перетирання пігменту і коливається від 0,25 до 0,4 кг на 1 кг густотертої фарби.

Фарби МА-15 після розрідження оліфою до малярної консистенції призначаються для фарбування металевих і дерев'яних виробів, які експлуатуються всередині приміщень, а фарби МА-025 - всередині приміщень і в атмосферних умовах. Фарби виготовляють 17 кольорів: червоного, темно-червоного, кремового, темно-жовтого, зеленого, фісташкового, жовто-зеленого, блакитного, синього, темно-синього, світло-бежевого, бежевого, коричневого, червоно-коричневого тощо. Час висихання фарб 24 год при температурі 20 °С.

Фарби перед використанням розріджують натуральними, оксидованими і комбінованими оліфами у кількості 2О...ЗО % від маси густотертої фарби.

Після розведення оліфою фарби при потребі розріджують бензином-розчинником (не більше 5 % від маси фарби).

Фарби наносять на поверхню щіткою, валиком або фарборозпилювачем на попередньо очищену поверхню одним або двома шарами.

Фарби водно-дисперсні випускають 10 різних кольорів для робіт всередині приміщення по дереву, штукатурці та інших поверхнях, їх наносять на поверхню методом пневматичного розпилення, щіткою

або валиком.

Залежно від складу фарби випускають таких марок: Е-ВА-27, Е-ВА-27А - на базі полівінілацетатної дисперсії; Е-КЧ-26, Е-КЧ-26А -на базі бутадієнового латексу. Для фарб Е-ВА-27А і Е-КЧ-26А як основний пігмент застосовують діоксид титану, для фарб Е-ВА-27 і Е-КЧ-27 застосовують літопон.

9.4. Емалі

Емалі - це лаки, змішані з пігментами. Назву свою вони дістали через те, що, висихаючи, дають блискучі плівки, які нагадують емалеві покриття. Емалі належать до непрозорих лакофарбових розчинів. Вони закривають натуральний колір і текстуру деревини. Призначення емалі - зберігання виробів з деревини від дії атмосферних впливів, кислот, лугів, а також для прикрашення. Емалі повинні мати високу покривність, тонке перетирання пігментів, добре розливатися на поверхні та прилипати до деревини або ґрунтувального шару, достатню твердість, еластичність, світло- й водостійкість. Залежно від складу основних компонентів розрізняють емаль олійну, спиртову, нітроцелюлозну, пентафталеву перхлорвінілову, поліефір-ну та інші.

Олійна емаль-це суміш пігментів з олійними лаками. Для покриття виробів з деревини застосовують емаль олійно-гліфталеву, пентафталеву, муар, фіксоль і емульсійну.

Олійно-гліфталеву емаль різних кольорів застосовують для оздоблення виробів, які експлуатуються всередині приміщень. Покриття, утворені цією емаллю, не досить гладкі, строк сушіння їх 48.. .72 год при температурі 20 °С.

Пентафталеву емаль (ПФ) виготовляють на пентафталевому лаку. Вона утворює гладкі й еластичні покриття, атмосферостійкі, а відтак її можна застосовувати на відкритому повітрі. При температурі 20 °С покриття емалі ПФ висихає за 48 год.

Емаль муар утворює після висихання складний візерунок. Вона призначена для прикрашення виробів простих конструкцій. До робочої в'язкості емаль доводять уайт-спіритом або ксилолом. Час сушіння емалі муар 12... 14 год при температурі 8 °С (у сушильних камерах).

Емаль фіксоль виготовляють на жирному олійному лаку, що містить близько 40 % лляної олії. Покриті фіксоллю поверхні мають високу атмосферостійкість і напівдзеркальний блиск. До робочої в'язкості емаль розріджують сумішшю, що складається з 33 %

скипидару та 67 % лаку фіксоль. Час сушіння емалі фіксоль 24 год при температурі 20 °С.

Емульсійна емаль - це суспензія пігментів і емульсії, що складається з лакоолійної основи й води з добавленням розчинників і сикативів. Застосовують для оздоблення приміщень по штукатурці й дереву. Термін сушіння покриттів 24 год при температурі 20 °С.

Спиртові емалі готують на основі спиртового лаку, вони швидко висихають і добре розливаються, але внаслідок недостатньої вологостійкості застосовуються обмежено.

Нітроцелюлозна емаль -суспензія пігментів на основі нітролаку. Швидко сохне, добре розливається, утворює блискучі покриття, які добре шліфуються й поліруються.

Емаль НЦ-25 випускають 19 кольорів, її застосовують для фарбування дерев'яних поверхонь усередині приміщень. Наносять емаль на попередньо заґрунтовану поверхню розпиленням або поливанням. Розводять до робочої в'язкості розчинниками № 645, 646. Час висихання 1 год при температурі 20 °С.

Емаль НЦ-132 застосовують для фарбування заґрунтованих дерев'яних деталей і виробів, що експлуатуються в атмосферних умовах і всередині приміщень. Випускають емаль НЦ-132 білого, жовтого, синього, червоного, чорного кольорів. Час висихання 3 год при температурі 20 °С.

Емаль НЦ-132К наносять щіткою двома шарами. До робочої в'язкості розріджують розчинником № 649.

Емаль марок НЦ-11 і *НЦ-11А* випускають 52 кольорів. Це суспензія пігменту з нітроцелюлозою, пластифікатором у розчині колоксиліну та алкідної смоли в суміші летких органічних розчинників. Застосовується емаль для фарбування поверхонь, які експлуатуються в атмосферних умовах і всередині приміщень.

Пентафталева емаль (ПФ) виготовляється на основі пента-фталевого лаку в суміші з пігментами і пластифікаторами. Вона добре прилипає до деревини, атмосферостійка й еластична, порівняно з нітроемалями має знижену горючість.

Промисловість випускає такі марки пентафталевоєї емалі: ПФ-14 (біла, кремова, салатна, блакитна); ПФ-15; ПФ-65 (біла); ПФ-57 (кремова); ПФ-68 (чорна); ПФ-64 (сіра); ПФ-115 (різних кольорів). Використовують емаль ПФ для фарбування виробів, які зазнають атмосферних впливів, а також усередині приміщень; емаль наносять на поверхню методами розпилення, занурювання виробів, а також щіткою.

Перхлорвінілова емаль - суспензія пігментів у розчині перхлорвінілової смоли у суміші летких органічних розчинників з добавлянням смол і пластифікаторів. Перхлорвінілові покриття стійкі до атмосферних впливів та хімічних реактивів.

Емаль ХВ-100 застосовують для фарбування дерев'яних виробів, які експлуатуються в атмосферних умовах навіть холодного клімату. Наносять методом розпилення. Тривалість сушіння близько 1 год. Випускають білого, темно-кремового, золотисто-жовтого, темно-блакитного, зеленого, червоного, сірого, червоно-коричневого кольорів. Перед нанесенням емаль розріджують до робочої в'язкості розчинником Р-4.

Емаль ХВ-125 - суспензія алюмінієвої пудри й наповнювача в розчині смоли марки ПСХ-ЛС у суміші летких органічних розчинників. Емаль застосовується для покриття металевих поверхонь, а також дерев'яних виробів, які експлуатуються в атмосферних умовах та всередині приміщень. Емаль наносять на поверхню методом розпилення або щіткою. Час висихання емалі 1 год при температурі 20 °С.

Поліефірна емаль -суміш поліефірного лаку з пігментами. Має високу водо-, світло-, тепло- та морозостійкість, підвищену міцність, твердість та гарний блиск. Емаль ПЕ-587 застосовують для покриття кухонних меблів та інших виробів. Тривалість сушіння біля 180 хв при температурі 20 °С. Випускається в кількості шести кольорів. Емаль наносять розпиленням або поливанням. Розріджують до робочої в'язкості ацетоном.

Промисловість випускає емалі в герметично закупореній тарі в невеликому розвісі, звичайно в банках з білої жесті. Емалі потрібно зберігати в тарі заводу-виготовлювача. Усі емалі вогненебезпечні, особливо нітроемалі, пара яких шкідлива для людини.

Список рекомендованої літератури

1. Афанасьєва О. В. Матеріалознавство та конструкційні матеріали. Навч. посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2016. – 190 с.
2. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О.В., Лонатько К.Г. Матеріалознавство: Підручник / Є.Г. Афтанділянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько. - Херсон: Олді-плюс, Київ: Видавництво Ліра-К, 2013. - 612 с.
3. Будник А. Ф. Неметалеві матеріали в сучасному суспільстві: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл./ А. Ф. Будник, В. Б. Юскаєв, О.А. Будник: Сумський держ. ун-т. – Суми: СумДУ, 2008. – 222с.

4. Волокулин В.Ф. Металловедение и термическая обработка: Учеб. справоч. пособие/ Украинская международная академия оригинальных идей. – Винница: Книга-Вега, 2005. – 462с.
5. Гарнець В.М. Матеріалознавство. – К.: «Кондор» 2009, 386с.
6. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: «Металлургия» 1986, 544с.
7. Дмитриченко М.Ф. Основи матеріалознавства: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. техн. спец./ М. Ф. Дмитриченко, В. М. Ткачук, О. В. Мельник. – К.: НТУ, 2008.176с.
8. Добровольский О.Г. Метали і зварювання у будівництві: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво»/ О. Г. Добровольский. – К.: КНУБА, 2012. – 203с.
9. ДСТУ EN 10020:2007. Сталі. Визначення і класифікація (EN 10020:2000). – Вид офіц. – на заміну ДСТУ EN 10020:2002. – К.: Держспожив стандарт України. 2009. – IV, 5с.
10. Зоткин В.Е. Методология выбора материалов и упрочняющих технологий в машиностроении: учебн. пособие для студ. вузов обучающих по спец. «Материаловедение и термическая обработка металлов» - 4-е изд., перероб. и доп. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2008. – 320с.
11. Зубо та різьбооброблювальні металорізальні верстати: Навч. посіб./ Р.Д.ІсковичЛотоцький, Л.К.Поліщук; Вінницький національний технічний університет. – Вінниця, 2008, – 132 с.
12. Інженерне матеріалознавство: підруч. для студ. вищ. навч. закл./ О. М. Дубовий, Ю. О. Казимиренко, Н.Ю. Лебедєва, С.М. Самохін. – Миколаїв: НУК, 2009. – 444с.
13. Казакова Т.В. Теорія різання. Практикум. Навч. посіб. для студ. машинобудівних спец. / Т.В.Казакова, В.М.Птах. Дніпропетровська держ. машинобуд. академія. – Краматорськ: ДДМА, 2008 – 152 с.
14. Киричок П. О. Основи металознавства і порошкової металургії: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл./ П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. С. Морозов. – К. НТУУ «КПІ», 2012. – 128с.
15. Кондаков А.В., Васильев А.С. Выбор заготовок в машиностроении. Справочник. – М.: Машиностроение, 2007 – 560с.
16. Котречко О. О. Патент України № 100471, 2012. Метод визначення твердості пластмас по Котречку.
17. Котречко О. О. Патент України № 10793, 2005. Спосіб визначення твердості деревини.
18. Котречко О. О. Патент України № 17459, 2006. Спосіб для визначення межі міцності деревини при перерізанні впоперек волокон.

19. Котречко О. О. Патент України № 44683, 2009. Спосіб визначення межі міцності пластмас при розтягуванні.
20. Котречко О. О. Патент України № 60075, 2011. Спосіб визначення ударної в'язкості деревини.
21. Лабораторный практикум по курсу «Технология конструкционных материалов» Уч. пособие. Г.В.Попов, А.А.Афанасьев, Ю.М.Веневцев и др..: Воронежский гос.технолог.акад. – Воронеж, 2001, - 151с.
22. МазурМ.П.. та інш. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч.закладів].під. заг. ред.. М.П. Мазура. – Львів: Новий світ -2000, 2010. – 422с.
23. Металлорежущие станки. Уч. для студ.спец. «Механизация сельского хозяйства» с.-х. вузол / П.И.Ящерицын, В.Д.Ефремов, А.И.Кочергин (ред.) – Белорусский государственный аграрный технический университет. - Минск; БГАТУ, 2001 – 447с.
24. Металорізальні верстати: Навч. посіб. для студ. механічних спец. вищ.навч. закл./ В.Н.Бочков, Р.І.Сілін, О.В.Гаврильченко: Р.І.Сілін (ред.). Нац. ун.–т «Львівська політехніка», 2009 – 268 с.
25. Роянов В. О. Дефекти та якість при зварюванні і споріднених процесах: підр. для студ. зварюв. та машинобуд. напрямків вищ. навч. закл./ В. О. Роянов, В. Я. Зусін, С. С. Самотугін. – Маріуполь: Рената, 2010. – 226с.
26. Сварочные процессы и оборудование: учеб. для студ. вузов которые обучаются п направлению подготовки «Сварка»/ С. К. Фомичев и др. – К.: НТУУ «КПИ», 2012. – 488с.
27. Смирнов А.А. Производство оливок из чугунка: учеб. пособие./ А. Н. Смирнов, И. В. Рейлих. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 245с.
28. Справочник по конструкционным материалам/ Б. Н. Арзамасов, Т. В. Соловьева, С. А . Герасимов и др.: Т. В. Соловьева (ред.). – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 637с.
29. Сушко О.В., Кюрчев С.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів Навч. посіб. - Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010 -232с.
30. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавства. Практикум. Навч. посіб. / В.В.Попович, А.І.Кондер, А.І.Плешаков та ін. – Л.: Світ 2009 – 552 с.
31. Технологія конструкційних матеріалів. Практикум. Навч.посібник / В.М.Плескач, І.П.Волчок. – Запоріжжя: Дике поле; 2007 -168с.
32. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. – М.: Металлургия, 1981. – 648с.

Усов В. В. Матеріалознавство та технології: навчальний посібник для самостійного вивчення дисципліни / В. В. Усов. – Одеса: Університет Ушинського, 2019. – 227 с.
33. Функціональні матеріали і покриття: навч.посіб. для студ. вищ. навч. закладів / [М.О.Азаренков та ін.]: Харківський національний університет ім. В.Н.Каразіна. – Х.: ХНУ, 2013. – 206 с.
34. Шагун В. И. Металорежущие станки/ В. И. Шагун. – М.: Высшая школа, 2006. – 862с.
35. Шагун В.И. Металлорежущие инструменты. Уч. Пособие для студентов Вузов. – М.: Высшая школа. 2007. – 423 с.

Ящук С. М., Люльченко В. Г.

ВИРОБНИЦТВО ТА ОБРОБКА КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
/технологія виробництва конструкційних матеріалів/

Навчальний посібник

Підписано до друку 22.12.2020 р. Формат 60х84/16.
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 11,56
Тираж 300 прим. Замовлення № 2938

Видавничо-поліграфічний центр «Візаві»
20300, м. Умань, вул. Тищика, 18/19
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 2521 від 08.06.2006.
тел. (04744) 4-64-88, 3-51-33,
(067) 104-64-88, (093) 117-08-86,
vizavi-print.jimdo.com
e-mail: vizavi008@gmail.com