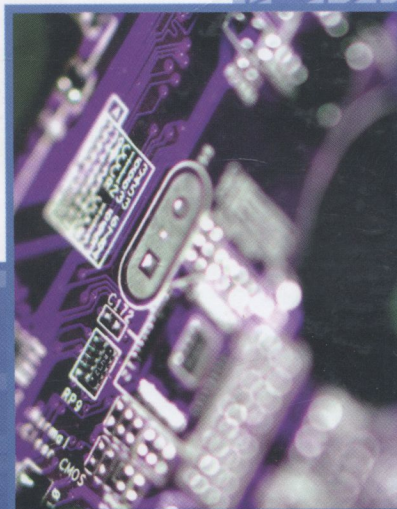
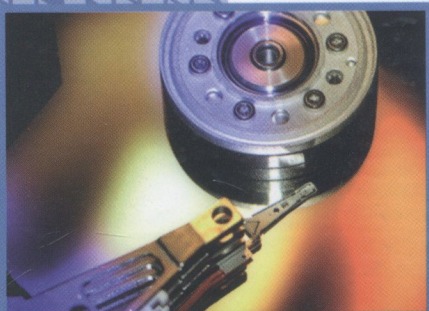


О. М. Збожна

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ



КОНДОР

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКА АКАДЕМІЯ НАРОДНОГО ГОСПОДАРСТВА

Збожна О. М.

Основи технології

Навчальний посібник

4-те видання

*Затверджено
Міністерством освіти і науки України
для студентів вищих навчальних закладів*



УДК 338.65
ББК 30.6
З 416

Рецензенти:

- Бойко Є. І.** • доктор економічних наук, професор, завідувач відділом «Економічних проблем розвитку промисловості» Інституту регіональних досліджень НАН України;
- Нагорняк С. Г.** • доктор технічних наук, професор, академік Академії наук вищої школи України, заслужений винахідник України (Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя).

Збожна О. М.

З 416 Основи технології: Навчальний посібник. / Збожна Олена Миколаївна. – Вид. 4-те, змін. і доп. – К.:Кондор, 2011. – 498 с. – іл.

ISBN 978-966-351-323-2

Табл. 4. Рис. 119. Бібліогр.: 50 назв.

*Затверджено Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(лист № 14/18.2-1483 від 17 жовтня 2001 р.)*

Викладено основи знань про сировину, енергію, технологічні процеси та системи, способи отримання, підготовки та перероблення сировини з метою виготовлення продукції, яка задовольняє вимоги споживача, про охорону праці та довкілля. Висвітлено основи матеріалознавства та технології отримання металів і сплавів, зв'язувальних будівельних речовин, виготовлення керамічних виробів, перероблення кам'яного вугілля та нафти, отримання цукру, паперу, інтегральних мікросхем тощо.

У друге видання внесено зміни й доповнення, які відображають нові досягнення науки, техніки і технології.

Підручник розрахований на студентів економічних спеціальностей ВНЗ усіх форм навчання (денної, заочної, заочно-дистанційної), слухачів системи закладів післядипломної освіти. Він може бути корисним для тих, хто хоче знати основи технології.

ISBN 978-966-351-323-2

© Збожна О. М., 1993, 2001, 2011
© Кондор, 2011

Передмова

В умовах переходу України від планового до ринкового господарювання зростає роль технології. За цих умов те підприємство витримає конкуренцію, яке швидше змінить технологію виготовлення продукції на економічно доцільну. І при цьому не забуде про охорону довкілля. Тому все частіше чуємо термін «технологічний прогрес». І не дивно. Адже рівень технології будь-якого підприємства має вирішальний вплив на економічні показники його діяльності.

Кожен спеціаліст для того, щоб ухвалювати рішення, керувати підприємством, робити аналіз його господарської діяльності, визначати економічну ефективність від впровадження у виробництво нових технологічних розробок, винаходів тощо повинен знати основи технології. Тому підготовка фахівців різного профілю не мислима без глибокого засвоєння технології виготовлення того чи іншого виду продукції, надання тих чи інших послуг.

Посібник **«Основи технології»** є другим виданням зміненого й доповненого посібника **«Технологія»**.

Порівняно з першим виданням друге є частково перероблене, доповнене новими досягненнями в науці, техніці та технології за роки, що минули з 1993; вилучено деякі таблиці, схеми та застарілу інформацію. До другої книги додано тему «Технологія червоної цегли»; для полегшення засвоєння теми «Технологічні системи» з другої книги посібника до першої перенесено підрозділ «Технологічні системи виробництва цукру». Змінено назву першої книги на «Сировина, паливо, енергія, технологічні процеси і технологічні системи» (нова назва точніше відобразила її зміст).

У процесі роботи над рукописами (першим і другим) уточнено деякі терміни, адже час найвищий наводити лад в українській науковій термінології. Тому на сторінках посібника знайдете такі терміни як: хімія, магніт, магнітні, окиснення, розкиснення, марнохід, сіліцій, сіліюмін, надлишок, вальцівка, поківка, пресівка, штампівка, порошкі-

вка, матеріал, діаметер, металеві, кристалеві, великомолекулярні, манган тощо. А скільки ще не знайдете!?

У тексті виділено важливі визначення, для полегшення їх пошуку і засвоєння. Наприклад:

Металами називають хімічні елементи, які мають загальні спільні властивості: «металевий» блиск, пластичність, тепло- й електропровідність.

Має місце і таке виділення визначень. Наприклад:

...отриманий алюміній називають **первинним**. Він містить домішки заліза, кремнію, частинки глинозему, кріоліту та газу, а це все погіршує його властивості.

Окремі терміни виділено *курсивом*.

Для тих, хто ще не опанував добре української мови у кінці посібника подано українсько-російський словник термінів, які вжито у тексті.

Для полегшення пошуку потрібної інформації посібник доповнено «Предметним покажчиком», якого не було у першому виданні.

Вважаю своїм приємним обов'язком подякувати усім причетним до виходу другого видання посібника **«Основи технології»**:

- ✓ завідувачеві кафедри бухгалтерського обліку в промисловості, д.е.н., проф. Пушкареві Михайлу Семеновичу;
- ✓ інженерові-програмістові Гуті Олегу Леонідовичу за допомогу при комп'ютерній обробці рукопису;
- ✓ рецензентам:
 - д.е.н., проф. Бойкові Євгену Івановичу;
 - д.т.н., проф. Нагорнякові Степану Григоровичу.

Щастя Вам у житті та навчанні, шановний читачу.

СЛОВО ДО ЧИТАЧА

Мета даного навчального посібника – дати студентам основи знань про сировину, енергію, технологічні процеси та їх складові, технологічні операції та їх складові, системи технологій; ознайомити студентів із сучасними способами добування, підготовки та перероблення сировини з метою отримання продукції, яка задовольняє вимоги споживача, а також з основним положенням про охорону праці та довкілля.

Посібник складається із двох книг, кожна з яких поділена на частини.

У першій книзі **«Технологічні процеси та системи»** важливе місце належить першій частині **«Вступ до технології»**, в якій висвітлено розуміння технології, типів виробництв, продуктивності, собівартості і якості продукції, охорони довкілля, техніки безпеки й охорони праці на виробництві. Після опанування цього матеріалу пропонується ознайомитись із сировиною, паливом та енергією. Друга частина першої книги **«Технологічні процеси»** дуже важлива, оскільки для виробництва одного виду продукції можна застосовувати різні процеси, а отримана продукція матиме різну якість, собівартість, крім того, по-різному забруднюватиметься довкілля. Для виробництва продукції слід мати обладнання, яке разом з одиничним технологічним процесом становить елемент технологічної системи, заміна якого впливає як на техніко-економічні показники, так і на охорону довкілля. Закінчується перша книга ознайомленням із системами. Основну увагу приділено технологічним системам.

У другій книзі **«Виробництво продукції»** висвітлено основи технології отримання певних видів продукції. У цій книзі особливу увагу приділено виготовленню продукції металургійної, металообробної, хімічної промисловості. Крім того, описано технології виготовлення керамічних виробів, зв'язувальних будівельних матеріалів, пере-

роблення кам'яного вугілля та нафти, виробництва цукру, паперу, інтегральних мікросхем тощо.

У кінці посібника наведено українсько-російський словник термінів, які використовуються у тексті.

Автор щиро дякує **своїм товаришам, викладачам ТІНГ**, які були порадиниками під час написання рукопису. Дякує **студентам**, яким мала щастя читати курс лекцій, за їх поради та допомогу під час написання рукопису.

Дякує рецензентам Є. Бойку, д-ру екон. наук, проф. (Львівське відділення інституту економіки АН України), В. Перхачу, Лауреату Державної премії України, д-ру техн. наук, проф. (ЛПІ), А. Зелізному, канд. техн. наук, доц. (ЛПІ), А. Кондиру, канд. техн. наук, доц. (ЛПІ), Е. Плешакову, канд. техн. наук, доц. (ДПІ), Л. Закалик, канд. техн. наук, доц. (ЛПІ), Р. Федоріву, канд. техн. наук., зав. відділом (ФМІ АН України), З. Гуцайлюку, д-ру екон. наук, проф. (ТІНГ), М. Пушкарю, проф. (ТІНГ), М. Сапачову, канд. екон. наук, доц. (ТІНГ) за слушні зауваження.

Дякує всім, хто причетний до виходу цього посібника.

Маю надію, що ця перша спроба написання посібника «**Технологія**» українською мовою для студентів, котрі готуються стати економістами, викличе зацікавленість економічних вузів, факультетів і стане добрим початком у підготовці економістів – майбутніх керівників народного господарства України.

26 червня 1993 р.

Збожна О. М.

З м і с т

<i>Передмова</i>	3
<i>Слово до читача</i>	5
<i>Зміст</i>	7
<i>Книга перша</i>	
<i>Сировина, паливо, енергія, технологічні процеси і технологічні системи</i>	16
<i>Частина I.</i>	
<i>Вступ до технології</i>	17
<i>Розділ 1. Основні поняття та визначення</i>	18
1.1. Вчення про технологію	18
1.2. Продуктивність. Собівартість. Якість	20
1.3. Типи виробництва та їх ознаки	22
1.4. Охорона довкілля	24
1.5. Техніка безпеки й охорона праці на виробництві	26
<i>Розділ 2. Сировина</i>	29
2.1. Класифікація сировини	29
2.2. Вода	32
2.3. Повітря	41
2.4. Корисні копалини та способи їх добування	42
2.5. Підготовка сировини до переробки	50
2.6. Якість сировини та її вплив на якість продукції	54
2.7. Раціональне використання сировини	55
<i>Розділ 3. Паливо й енергія</i>	57
3.1. Паливо	57
3.2. Енергія, її види та джерела	58
3.3. Раціональне використання енергії	64

Частина II.

<i>Технологічні процеси</i>	66
<i>Розділ 4. Виробничий і технологічний процеси</i>	67
4.1. Поняття про виробничий і технологічний процеси	67
4.2. Складові технологічного процесу	68
4.3. Класифікація технологічних процесів	72
<i>Розділ 5. Термічні процеси</i>	84
5.1. Високотемпературні процеси	84
5.2. Низькотемпературні процеси	85
5.3. Шляхи удосконалення термічних процесів	86
<i>Розділ 6. Барометричні процеси</i>	87
<i>Розділ 7. Каталізні процеси</i>	90
7.1. Поняття про каталіз та його види	90
7.2. Тверді контакти, їх склад і властивості	92
7.3. Контактні апарати	93
<i>Розділ 8. Електрохімічні процеси</i>	96
8.1. Суть і значення електрохімічних процесів	96
8.2. Основні закономірності електрохімічних процесів	97
<i>Розділ 9. Біохімічні процеси</i>	100
9.1. Основні відомості про біохімічні процеси	100
9.2. Бродіння та його види	101
9.3. Технологічний процес мікробіологічного синтезу	102
<i>Розділ 10. Плазмові процеси</i>	104
10.1. Плазма та її використання в технології	104
10.2. Види плазмових процесів	106
10.3. Плазмотрони, їх будова та принцип роботи	106
<i>Розділ 11. Радіаційно-хімічні процеси</i>	108
<i>Розділ 12. Фотохімічні процеси</i>	110

Розділ 13. Лазерні процеси	112
13.1. Поняття про лазери та їх види.....	112
13.2. Схема та принципи роботи рубінового лазера.....	113
Розділ 14. Ультразвукові процеси	116
14.1. Поняття про ультразвук та його властивості.....	116
14.2. Джерела ультразвуку.....	116
14.3. Використання ультразвуку.....	118
Розділ 15. Оптимізація технологічних процесів	120
15.1. Поняття про оптимізацію.....	120
15.2. Моделювання технологічних процесів.....	121
15.3. Методи оптимізації технологічних процесів.....	123
 <i>Частина III.</i>	
Технологічні системи	126
Розділ 16. Загальні відомості про системи	127
16.1. Поняття про системи та їх складові.....	127
16.2. Класифікація систем.....	128
16.3. Технологічна система та її складові.....	130
Розділ 17. Технологічні системи виробництва цукру	133
17.1. Основні відомості про цукор та сировину, з якої його виробляють.....	133
17.2. Технологічна система виробництва розсипного цукру.....	134
17.3. Технологічні системи виробництва кускового цукру.....	139
 <i>Книга друга</i>	
Виробництво продукції	141
 <i>Частина IV.</i>	
Основи матеріалознавства	142
Розділ 18. Метали та сплави	144
18.1. Будова металів і сплавів.....	144

18.2. Аморфні метали та сплави.....	150
18.3. Класифікація металів і сплавів.....	151
Розділ 19. Залізовуглецеві сплави	153
19.1. Діаграма стану залізо-вуглець.....	153
19.2. Чавуни.....	159
19.3. Сталі.....	160
Розділ 20. Сплави кольорових металів	167
20.1. Мідні сплави	167
20.2. Алюмінієві сплави	169
20.3. Магнієві сплави	171
20.4. Нікелеві сплави.....	172
Розділ 21. Основні властивості металів і сплавів та способи їх визначення.....	174
21.1. Фізичні та хімічні властивості металів і сплавів.....	174
21.2. Механічні властивості металів і сплавів.....	176
21.3. Технологічні та експлуатаційні властивості металів і сплавів	182
Розділ 22. Корозія металів і сплавів та способи їх захисту	183
22.1. Поняття про корозію та агресивні середовища	183
22.2. Види корозії.....	184
22.3. Види корозійного руйнування.....	187
22.4. Корозієстійкість металів і сплавів.....	189
22.5. Способи захисту металів і сплавів від корозії.....	190
Розділ 23. Термічна та хіміко-термічна обробка металів і сплавів	193
23.1. Термічна обробка металів і сплавів	193
23.2. Хіміко-термічна обробка металів і сплавів.....	202
Розділ 24. Пластмаси	206
24.1. Загальні відомості про пластмаси та їх властивості	206
24.2. Класифікація пластмас.....	206
Розділ 25. Кераміка, металокераміка та мінералокераміка.....	211

25.1. Кераміка та її види.....	211
25.2. Металокераміка	213
25.3. Мінералокераміка.....	214
Розділ 26. Композити	216
26.1. Поняття про композити.....	216
26.2. Композити на основі металів.....	217
26.3. Композити на основі полімерів	218
26.4. Композити на основі кераміки	219
 <i>Частина V.</i>	
Виробництво чавунів, сталей і кольорових металів	220
Розділ 27. Металургія	221
27.1. Загальні відомості про металургію	221
27.2. Способи виробництва металів і сплавів.....	222
27.3. Виробництво залізовуглецевих сплавів	224
Розділ 28. Виробництво чавуну.....	226
28.1. Сировина для виробництва чавуну	226
28.2. Технологічна система виробництва чавуну	228
28.3. Продукція доменної печі	233
28.4. Показники роботи доменної печі та шляхи їх поліпшення	234
Розділ 29. Виробництво сталі	235
29.1. Сировина для виробництва сталі.....	235
29.2. Фізико-хімічні процеси сталеваріння	236
29.3. Сталеварні агрегати, їх будова та принцип роботи	238
29.4. Безчавунне виробництво сталі.....	247
29.5. Рафінування сталі.....	249
29.6. Розливання сталі.....	253
29.7. Кристалітна будова виливка	257
Розділ 30. Виробництво кольорових металів	258
30.1. Виробництво міді	258
30.2. Виробництво алюмінію	265
30.3. Виробництво цинку.....	271

Частина VI.

Виробництво продукції машинобудування.....273

Розділ 31. Основні поняття про взаємозамінність, допуски, посадки, шорсткість поверхні та вимірювання276

- 31.1. Взаємозамінність, допуски, посадки та шорсткість поверхні276**
- 31.2. Вимірювальні інструменти282**

Розділ 32. Виготовлення виробів литтям.....284

- 32.1. Загальні відомості про виготовлення виробів литтям.....284**
- 32.2. Ливарні сплави та їх властивості.....285**
- 32.3. Лиття в разові ливарні форми287**
- 32.4. Лиття в багаторазові ливарні форми298**
- 32.5. Дефекти відливків та їх виправлення.....304**
- 32.6. Техніко-економічні показники ливарних цехів.....305**

Розділ 33. Виготовлення виробів тиском306

- 33.1. Поняття про деформацію306**
- 33.2. Чинники, які впливають на пластичність металів і сплавів307**
- 33.3. Обладнання для нагрівання заготовок310**
- 33.4. Вальцювання.....312**
- 33.5. Вільне кування та штампування.....316**
- 33.6. Волочіння та пересування.....319**

Розділ 34. Виготовлення виробів із порошків.....322

- 34.1. Історія розвитку порошкової металургії та застосування її продукції.....322**
- 34.2. Способи виготовлення порошків.....323**
- 34.3. Властивості порошків324**
- 34.4. Підготовка шихти до пересування виробів.....325**
- 34.5. Формування виробів із порошків326**

Розділ 35. Виготовлення нерозбірних з'єднань.....331

- 35.1. Поняття про з'єднання та їх види331**
- 35.2. Поняття про зварювання.....332**
- 35.3. Зварні з'єднання та шви334**
- 35.4. Класифікація способів зварювання.....335**

35.5. Термічні способи зварювання	336
35.6. Термомеханічні способи зварювання	352
35.7. Механічні способи зварювання	357
35.8. Контроль якості зварних з'єднань	359
35.9. Техніка безпеки в процесі виконання зварних робіт	361
Розділ 36. Виготовлення виробів різанням	362
36.1. Поняття про різання	362
36.2. Основні способи різання	363
36.3. Різальні інструменти. Схема процесу різання та види стружки	365
36.4. Елементи режиму різання	369
36.5. Мастильно-охолодні рідини та способи їх подання до зони різання	370
36.6. Продуктивність різання та шляхи її поліпшення	371
36.7. Верстати	372
36.8. Нові способи різання	373
Розділ 37. Складання машин	380
37.1. Продукція машинобудівної промисловості	380
37.2. Поняття про складання машин	381
37.3. Способи складання машин	382
37.4. Види складання машин	383
37.5. Техніко-економічні показники складання та шляхи їх поліпшення	384
37.6. Контроль і випробування складених виробів	386
 <i>Частина VII.</i>	
Виробництво будівельних матеріалів	387
Розділ 38. Види будівельних матеріалів	388
38.1. Природні будівельні матеріали	388
38.2. Штучні будівельні матеріали	389
Розділ 39. Керамічні вироби	391
39.1. Види керамічних виробів	391
39.2. Сировина для виготовлення керамічних виробів	391
39.3. Технологія керамічних виробів	392
39.4. Технологія червоної будівельної цегли	393

Розділ 40. Зв'язувальні будівельні речовини	395
40.1. Технологія вапна.....	395
40.2. Технологія гіпсу	397
40.3. Технологія цементу	400

Частина VIII.

Перероблення нафти та кам'яного вугілля	404
--	-----

Розділ 41. Перероблення нафти та нафтопродуктів	405
41.1. Нафта та нафтопродукти.....	405
41.2. Сировина, з якої виробляють пальне у світі	406
41.3. Способи перероблення нафти та нафтопродуктів	407
41.4. Очищення нафтопродуктів.....	413

Розділ 42. Коксування кам'яного вугілля	414
--	-----

Частина IX.

Виробництво продукції хімічної промисловості	417
---	-----

Розділ 43. Продукція хімічної промисловості	418
43.1. Неорганічні кислоти	419
43.2. Луги та соди	421
43.3. Мінеральні добрива.....	422
43.4. Великомолекулярні сполуки	427

Розділ 44. Виробництво сірчаної кислоти	433
44.1. Сировина та способи виробництва сірчаної кислоти	433
44.2. Технологія сірчаної кислоти із флотаційного колчедану	434
44.3. Технологія сірчаної кислоти із сірки	435
44.4. Технологія сірчаної кислоти із викидних газів промислових підприємств	436
44.5. Удосконалення виробництва сірчаної кислоти	437

Розділ 45. Виробництво хлору, водню та їдкого натру	438
45.1. Способи отримання хлору, водню та їдкого натру	438
45.2. Технологічна система виробництва хлору, водню та їдкого натру.....	441

Розділ 46. Виробництво хімічних волокон	443
46.1. Основні відомості про волокна	443
46.2. Технологія хімічних волокон	445
 <i>Частина X.</i>	
Виробництво паперу.....	451
 Розділ 47. Виробництво паперу	452
47.1. Папір, його класифікація та властивості.....	452
47.2. Сировина для виготовлення паперу	453
47.3. Підготовка паперової маси	455
47.4. Виготовлення паперу на плоскіткових машинах	457
 <i>Частина XI.</i>	
Виробництво	
напівпровідникових інтегральних мікросхем	461
 Розділ 48. Виробництво напівпровідникових інтегральних	
 мікросхем.....	462
48.1. Основні поняття та визначення.....	462
48.2. Дещо з історії розвитку електроніки та	
мікроелектроніки.....	464
48.3. Класифікація інтегральних мікросхем.....	464
48.4. Технологія напівпровідникових інтегральних	
мікросхем.....	466
 <i>Українсько-російський словник</i>	<i>477</i>
<i>Термінологічний вказівник (показчик).....</i>	<i>485</i>
<i>Список літератури</i>	<i>494</i>

Книга перша

**СИРОВИНА, ПАЛИВО, ЕНЕРГІЯ,
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ
І ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ**

Частина I

Вступ до технології

Розділ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Розділ 2. СИРОВИНА

Розділ 3. ПАЛИВО Й ЕНЕРГІЯ



ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

1.1. Вчення про технологію

Споконвіків людина для задоволення своїх потреб у їжі, одязі, житлі та засобах праці щось переробляла. Зерно – на борошно, борошно – на хліб, шкіру – на одяг і взуття, глину – на посуд, а згодом і на житло; руди – на метали і сплави, а потім на вироби, серед яких були ножі, голки, плуги, мечі, обладунки для воїнів тощо.

З часом перероблювані речовини стали називати *сировиною*. Вироби, отримані в процесі перероблювання сировини, назвали *продукцією* (лат. *«productio»* від *«produco»* – виробляю).

Продукція, отримана в процесі перероблення сировини, не завжди мала однакові властивості, наприклад, невипалений глиняний посуд швидко розмокав у воді, випалювання надавало йому водостійкості. Для спорудження будівель спочатку використовували глину, потім до неї додавали пальмове чи інше листя або соломку, від чого житло ставало міцнішим. Залізо виробляли спочатку сиродутним способом (див. § 27.3), а потім у спеціальних печах, що поліпшило його властивості.

Сьогодні маємо різні види продукції. Це хліб, тканини, цегла, послуги, пропозиції споживачеві, програмне забезпечення, інформація тощо.

З часом процес виготовлення потрібних речей стали називати *технологією*.

Термін *«технологія»* походить від грецьк. *«техно...»*, що означає майстерність, ремесло та *«...лого»* – слово, вчення. У складних словах *«лого»* відповідає поняттям «наука», «знання».

Отже *технологія* – це знання ремесла.

Колись в Україні казали: “вчення ремесла, вміння ремесла або знання ремесла”. Людину, яка вміла щось зробити, називали *ремісником*.

Тепер кажуть – “вчення чи знання технології”. А того хто знає, як виготовити цю чи іншу річ, надати ці чи інші послуги тощо, називають *технологом*.

Технологією називають науку про отримання сировини та виготовлення з неї певної продукції.

Переробляти сировину на продукцію можна різними способами. Отже кожен спосіб – це окрема технологія за якою виробляють певний вид продукції.

Один і той же вид продукції можна отримати різними способами, тобто за різними технологіями. Наприклад, бензин можна отримати дистиляцією нафти і каталітичним крекінгом нафтопродуктів.

У сучасних технологіях широко використовують наукові досягнення механіки, хімії, фізики, теплотехніки, електротехніки та інших наук.

У наш час технологія стала обширною галуззю знань – вона вивчає та розробляє промислові способи отримання різних видів продукції. Маємо, наприклад, технології за якими виробляють розсипний цукор, випікають хліб, шиють одяг, виготовляють взуття тощо.

Кожне підприємство випускає продукцію за певною технологією. Так, технологія виготовлення продуктів харчування вивчає способи зберігання та перероблення фруктів, овочів, зерна з метою їх збереження та надання певних властивостей. Технологія оброблення металів, сплавів та інших конструкційних матеріалів різанням вивчає та розробляє способи оброблення їх на різальних верстатах.

Вибір технології залежить не лише від виду сировини та продукції, яку виробляють на підприємстві, а й від її кількості. Наприклад, комбайн, автомобіль чи іншу машину можна скласти з окремих деталей на невеликій площі складального цеху. Коли йдеться про сотні тисяч комбайнів, автомобілів та інших машин на рік, то необхідно створити потужні конвеєрні лінії (англ. «*conveyer*» від «*convery*» – перевозити, переміщувати), до яких з усіх цехів у певній послідовності надходитимуть деталі та вузли.

На підприємстві, яку б продукцію не виробляли, все підпорядковане технології. Отже, *технологія є основою виробництва*. Вибір технології та дотримання її вимог є запорукою малої собівартості вироблюваної продукції та її великої якості.

1.2. Продуктивність. Собівартість. Якість

На кожному підприємстві (наприклад, фабрика, завод, копальня тощо) виробляють продукцію певної кількості, собівартості та якості. Ці показники залежать від багатьох чинників.

1. Продуктивність. Кожен робітник або машина чи інший вид обладнання за певний проміжок часу можуть виробляти різну кількість продукції. Чим більше продукції вироблено тим краще. Для порівняння, хто краще працює, введено такий показник, як продуктивність.

Продуктивністю називають кількість продукції виготовленої за одиницю часу, на одиниці площі обладнання тощо.

Наприклад, продуктивність домнової печі визначають кількістю чавуну (у тоннах) виплавленого за одну добу; продуктивність мартенівської печі – кількістю сталі (у тоннах) виплавленої за добу, що припадає на один м² череня печі; продуктивність контактного апарата – кількістю продукції, яку отримують з одиниці об'єму каталізатора за час його роботи.

2. Собівартість. Для виготовлення продукції використовують сировину, воду, паливо, енергію. Продукцію виготовляють ручним способом або за допомогою машин, інструментів, різного обладнання тощо. Ремонт і заміна застарілого обладнання потребує коштів. У виготовленні продукції беруть участь усі працівники підприємства, яким виплачується заробітна платня. На реалізацію продукції підприємство також витрачає кошти. Якщо перераховані витрати виразити у грошовій формі (у гривнях) та підсумувати, отримаємо собівартість продукції.

Є два види собівартості продукції: *виробнича і повна.*

Виробничою собівартістю продукції називають грошовий вираз витрат, які безпосередньо стосуються з виготовлення продукції на даному підприємстві.

Повною собівартістю продукції називають грошовий вираз витрат пов'язаних із виготовленням та реалізацією цієї продукції.

Щоб визначити собівартість кожного окремого виробу (наприклад, одного телевізора чи одного кілограма цукру) підраховують (калькулюють – від лат. «*calculatio*» – підраховую) всі витрати, які пішли на: придбання сировини, води, палива та енергії, утримання та експлуатацію обладнання, заробітну платню тощо.

Якщо порівняти витрати на сировину, паливо, енергію і т. ін. при отриманні різних видів продукції, то побачимо, що на одних підприємствах важливою статтею витрат є сировина (наприклад, для хімічних підприємств у середньому витрати на сировину становлять 60-70% собівартості продукції), а на інших – електроенергія (наприклад, виробництво металів, хлору, їдкового натрію, рафінування металів).

На заробітну платню впливає ступінь механізації та автоматизації місця праці. Чим вищий цей ступінь, тим менші витрати. При ручній праці частка на заробітну платню у собівартості продукції буде більшою, ніж при машинній.

Впровадження нової прогресивної технології з використанням нового обладнання (автоматичні лінії, роботи-маніпулятори тощо) збільшує витрати на амортизацію. Якщо це обладнання виробляє велику кількість продукції і працює без простоїв, то частка амортизації в складі собівартості продукції буде зменшуватися.

Амортизацією (від лат. «*amortisatio*» – погашення) називають поступове зношення основних фондів (обладнання, будівель тощо) і перенесення їх вартості на вироблювану продукцію.

Аналіз витрат на виготовлення продукції дає можливість виявити резерви виробництва і знайти шляхи зменшення собівартості продукції.

Собівартість продукції належить до основних показників роботи кожного підприємства.

В умовах переходу до ринку роль цього показника зростає. Основними резервами зменшення собівартості продукції за збереження її якості та відповідних умов праці для тих, хто її виробляє є раціональне і комплексне використання сировини, палива та енергії.

3. Якість. Крім собівартості продукція характеризується певною якістю (рівнем якості).

Якістю продукції називають сукупність властивостей продукції, які зумовлюють її придатність задовольняти певні потреби споживача згідно з її призначенням.

Пам'ятаймо – неприпустимо поліпшувати якість продукції ціною погіршення умов праці тих, хто її виробляє та забруднення довкілля.

Якість продукції залежить від якості сировини, палива, води та технології виготовлення продукції.

Важливу роль у поліпшенні якості сировини та готової продукції відіграють стандарти.

Стандарт (від англ. «*standard*») означає норма, зразок, мірило. У техніці стандартом називають зразок, модель, з якими порівнюють промислову продукцію. Стандартом називають також документ, який встановлює вимоги до сировини та продукції, яких слід дотримуватися кожному підприємству, що її виробляє.

Стандарти на продукцію масового виробництва містять повну характеристику цієї продукції. Вони передбачають тип, марку, форму та розміри продукції, яку має випускати підприємство, з урахуванням фізико-механічних властивостей, хімічного складу тощо. Одночасно у цьому документі передбачаються правила приймання продукції, методи її випробування. Крім того, передбачаються правила пакування, зберігання та транспортування, що гарантує збереження якості продукції.

Використання стандартів забезпечує взаємозамінність окремих деталей і цілих вузлів у машинах та механізмах, дає можливість повніше використовувати сировину, паливо й енергію, сприяє впровадженню нової техніки.

Стандарти використовують в усіх країнах світу.

1.3. Типи виробництва та їх ознаки

Виробництвом називають процес, у ході якого людина діє на речовини природного або штучного походження за допомогою власних сил та обладнання з метою виготовлення продукції, необхідної для забезпечення своїх потреб.

Виробництвом називають і місце вироблювання продукції. Наприклад, фабрика, копальня, цех, дільниця тощо.

Залежно від обсягу випуску продукції та ступеня повторюваності виробів виробництва поділяють на три основні типи: одиничне, серійне та масове. Такий розподіл найчастіше виражено в машинобудуванні, його й розглянемо.

1. Одиничне виробництво. Характерною ознакою одиничного виробництва є випуск продукції в одному або кількох екземплярах. Це виробництво універсальне і гнучке. Воно потребує універсального обладнання та фахових робітників, оскільки вони виконують різні операції без періодичного повторення. Продуктивність праці мала порівняно з іншими типами виробництв. Собівартість виготовленої продукції велика. Продукцією цього типу виробництва є окремі машини, напри-

клад, вальцівня, гідротурбіна, космічний корабель та ін. Це, в основному, продукція важкого та хімічного машинобудування, суднобудування тощо.

2. Серійне виробництво. Для серійного виробництва характерним є виготовлення виробів різними за розмірами партіями або серіями, що періодично повторюються. Залежно від розміру партії (серії) виробів, тобто від кількості виробів у ній і частоти повторення їх протягом року, серійне виробництво поділяють на малосерійне та великосерійне.

Серійне виробництво на відміну від одиничного не потребує фахових працівників, оскільки обмежена кількість виробів і їх повторюваність сприяють швидкому набуванню навичок. У серійному виробництві використовують заготовки точніших розмірів, ніж в одиничному, наприклад, у машинобудуванні використовують відливки, штамівки тощо. Це дає можливість випускати продукцію з меншими затратами, ніж у одиничному виробництві. Прикладом продукції серійного виробництва є металорізальні верстати, двигуни внутрішнього згоряння, помпи тощо.

3. Масове виробництво. Для масового виробництва характерним є виготовлення однакових виробів у великій кількості і протягом тривалого часу. При масовому виробництві на більшості місць праці виконують одні й ті ж постійно повторювані операції. Місця праці забезпечені продуктивним обладнанням та спеціальними інструментами і пристроями. Вироби контролюють після виконання окремих операцій; для цього використовують спеціальні прилади та інструменти.

Робітники досягають великої майстерності за рахунок постійного виконання одної операції. А тому фахові робітники потрібні лише для налагодження спеціальних інструментів, пристроїв і верстатів. Обладнання розташоване у відповідній послідовності, що створює технологічну лінію.

Технологічний процес поділено на операції, кожна з яких виконується на окремому обладнанні.

Масове виробництво, у порівнянні з одиничним і серійним, має досконаліші структуру та форму організації. Саме тому продукція масового виробництва має найменшу собівартість.

Цей тип виробництва поширений в автомобільній, тракторній промисловості, на заводах, що виробляють сільськогосподарські машини, знаряддя, мотоцикли тощо.

Для визначення типу виробництва запроваджено такі поняття, як: такт випуску виробів і коефіцієнт серійності.

Тактом випуску називають проміжок часу між послідовним випуском двох виробів.

Коефіцієнтом серійності називають кількість різних операцій, які виконують на одному обладнанні (наприклад, верстаті).

Кожне виробництво має свій коефіцієнт серійності ($K_{сер.}$). Так, для масового виробництва $K_{сер.} < 2$, для великосерійного $K_{сер.} = 2 - 10$, а для малосерійного $K_{сер.} > 20$.

Знаючи такт випуску виробів та коефіцієнт серійності, можна визначити тип виробництва.

1.4. Охорона довкілля

Все, що оточує Людину називають **довкіллям**. За людської пам'яті ще ніколи не було так знищено довкілля, як за останні 60 років. Перед людством Світу постало питання порятунку від голоду, холоду та забрудненого довкілля.

Охорона довкілля та раціональне використання природних ресурсів за умов швидкого розвитку промисловості, транспорту, сільського господарства є одним з найважливіших завдань кожної держави. Великої шкоди довкіл्लю завдають викиди, які утворюються в процесі добування та перероблення мінеральної сировини, виготовлення з неї продукції, під час виробництва електричної енергії. Немало шкоди завдає також автомобільний транспорт.

Повітря, вода і земля забруднюються як природно, так і штучно.

1. **Природні джерела забруднення довкілля.** До них належать порохові бурі, дія вулканів, що викидають велику кількість пилу та газу, пожежі, вітри з морів та океанів. У атмосферу потрапляють речовини у вигляді пилу і газу.

2. **Штучні джерела забруднення довкілля.** Це справа діяльності Людини. Довкілля забруднюють видобувні підприємства (кар'єри, копальні тощо); теплоелектростанції, які працюють на всіх видах палива; підприємства чорної та кольорової металургії тощо. При цьому виді забруднення в атмосферу потрапляють пил, оксиди вуглецю, сірки, азоту тощо. Найнебезпечнішими є викиди хімічних підприємств, оскільки складаються з особливо шкідливих речовин, небезпечних для живих організмів.

Найбільше забруднена атмосфера діоксидом сірки, оксидом вуглецю, оксидом азоту та пилом. На них припадає понад 85% загальної кількості шкідливих викидів в атмосферу.

Останнім часом в атмосферу з продуктами згоряння палива викидається до 100 млн. т твердих речовин, близько 150 млн. т діоксиду сірки, 300 млн. т оксиду вуглецю, 50 млн. т оксиду азоту тощо.

Хімічна промисловість забруднює атмосферу органічними речовинами, хлором і його похідними, оксидом азоту, сірководнем тощо. Значна кількість шкідливих речовин викидається в атмосферу в процесі виробництва кислот, лугів, мінеральних добрив, цементу, штучних та синтетичних волокон, органічних розчинників, отрутохімікатів тощо. Вода (річки, озера, моря, океани, підземні води) забруднюється в основному штучним способом.

Майже в усіх видах своєї діяльності людина використовує воду: вода є сировиною, розчинником, теплоносієм, охолодником тощо.

У процесі використання вода забруднюється речовинами, що згубно впливають на живі організми. Саме тому на підприємствах широко практикують замкнені системи водопостачання, до складу яких входять очисні споруди.

Різними способами забруднюється земля. Основними з них є видобування корисних копалин, звальювання породи та відходів виробництв у відвали, надмірне внесення мінеральних добрив у ґрунти тощо.

Особливим видом забруднення повітря, води та землі є радіоактивні речовини, виділення яких неминуче під час добування та перероблення уранових руд, випробування атомної та водневої зброї й аварій на атомних електростанціях.

Основні завдання охорони довкілля, які постають перед людством – винайти та впровадити нові технології, які зменшать втрати корисних копалин у процесі їх добування та перероблення; створити таке технологічне обладнання, яке зменшить кількість шкідливих викидів; впровадити очисні споруди на всіх джерелах шкідливих викидів, які зменшать викиди в атмосферу, воду та землю.

Останнім часом вчені інтенсивно працюють над впровадженням на підприємствах замкнених систем водопостачання, маловідходних та безвідходних технологій.

1.5. Техніка безпеки й охорона праці на виробництві

У процесі вирощування, добування та перероблення сировини люди стикаються з шкідливими, вогненебезпечними та вибухонебезпечними речовинами, часто несправними машинами та обладнанням; різними видами транспорту та енергії тощо. Для захисту людини від згубної дії цих чинників на кожному підприємстві та робочому місці розроблено конкретні заходи.

Технікою безпеки називають систему організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних, навчально-просвітницьких і правових заходів, які проводять з метою створення безпечних умов праці на відповідних підприємствах.

До *організаційних заходів* захисту належать раціональне поєднання цехів, дільниць; зручне розміщення обладнання та робочих місць; вибір безпечних способів ведення технологічних процесів із використанням найновішого механізованого й автоматизованого обладнання тощо.

До *технічних заходів* захисту належать попереджувальні знаки, загородження, сигналізація (звукова та світлова) та ін. Усі вони застерігають працівників від небезпеки.

Важливе місце у технічних засобах захисту посідають запобіжні пристрої (вимикачі, клапани тощо), призначені для попередження про небезпеку, наприклад, пожежу, вибух, перегрівання обладнання, вихід шкідливих речовин.

До *санітарно-гігієнічних заходів* належать чистота приміщення, місця праці, наявність відповідного освітлення, вентиляції та засобів індивідуального захисту (спеціальний одяг, взуття, рукавиці, окуляри, протигazi тощо). Ці засоби спрямовані на захист працівників від отруєння, опіків, травм (механічних і електричних) тощо.

Навчально-просвітницькі заходи з техніки безпеки та охорони праці на виробництві полягають у навчанні працівників: вивченні ними інструкцій і правил техніки безпеки безпосередньо на місцях праці; проведенні інструктажів (вступних на місцях праці та повторних) тощо.

На кожному підприємстві є відділ техніки безпеки, основне завдання якого – нагляд за створенням і дотриманням безпечних умов праці: забезпечення працівників індивідуальними засобами захисту

відповідно до кожного місця праці; встановлення на обладнання попереджувальних знаків, сигналізації та запобіжних пристроїв; робота вентиляційної системи (якщо вона потрібна); освітлення місць праці; санітарний стан приміщення та місць праці та ін. І найголовніше – працівники відділів техніки безпеки проводять навчально-просвітницькі заходи з техніки безпеки та охорони праці на кожному місці праці та на підприємстві.

Усі підприємства залежно від виду шкідливих речовин, які виділяються в процесі перероблення сировини на готову продукцію, поділяють на окремі класи.

Найбільшу кількість шкідливих речовин викидають хімічні, металургійні, машинобудівні та металообробні підприємства, вугільні та сланцеві копальні, гірничо-збагачувальні комбінати, теплові електростанції та деякі підприємства, на яких виробляють будівельні матеріали, наприклад, цементний завод. Такі підприємства будують далеко від населених місць (міст, селищ, сіл чи хуторів); навколо них споруджують захисну зону шириною до 1000 м. Крім того, їх оснащують димо-, пило- та газовловлювачами і спорудами для очищення промислових вод.

Старі, давно побудовані підприємства, які розташовані в межах міст чи сіл мають бути обладнані очисними спорудами.

Деякі промислові підприємства використовують або виробляють вогне- та вибухонебезпечні речовини. Для таких підприємств у правилах техніки безпеки особливе місце посідають заходи, які запобігають пожежі або вибуху. На цих підприємствах забороняється користуватися відкритим вогнем, електричною дугою, систематично контролюється стан електричних проводів.

До вибухонебезпечних підприємств належать хімічні, нафтопереробні, цукрові заводи, кондитерські фабрики, млини тощо.

Ще на стадії проектування таких підприємств мають передбачатися заходи, які б запобігли або частково зменшили наслідки пожежі чи вибуху.

Приміщення складів, цехів і дільниць, в яких існує імовірність виникнення пожежі, будують з вогнетривких матеріалів і забезпечують вогнегасними засобами.

У процесі побудови приміщень для підприємств, які виробляють і зберігають вибухонебезпечну продукцію, частину стін і дах легко закріплюють. Під дією вибухової хвилі ці частини будівель розсуваються і вибух не завдає великої шкоди приміщенню.

Для перероблення сировини на готову продукцію використовують різне обладнання: апарати, колони, реактори, печі, транспортні засоби тощо. За невдалої конструкції обладнання в разі недотримання інструкції під час експлуатації обладнання руйнується, внаслідок чого виникають вибухи, пожежі з виділенням отруйних і радіоактивних речовин тощо. Для створення безпечних умов праці обладнання має бути міцним, корозієстійким, герметичним, витримувати нагрівання до високих температур.

До найнебезпечніших речовин, які згубно впливають на здоров'я людей, належать пара ртуті й свинцю, сірководень, хлор, бензол тощо. На всіх підприємствах, які виробляють, використовують або зберігають ці речовини, встановлено гранично допустимі їх дози у повітрі. Так, в 1 м³ повітря вміст хлору не може перевищувати 1 мг, пари ртуті та свинцю – по 0,01 мг, сірководню – 10 мг, бензолу – 5 мг. Відомості про вміст інших шкідливих речовин у повітрі та воді читайте у довіднику «Вредные вещества в промышленности». – Л.: Химия, 1976.

Унаслідок тривалої дії шкідливих речовин, а також високих температур, шуму, вібрації, радіації у працівників виникають професійні захворювання. Наприклад, гірничі та збагачувальні підприємства виділяють велику кількість пилу та газу. Працівники цих підприємств часто хворіють на силікоз, можуть бути травмовані внаслідок вибухів і обвалів. Металургійні та хімічні підприємства виділяють пил, шкідливі речовини, отруйні гази тощо, які згубно впливають на здоров'я людей. Щоб запобігти травматизму та професійному захворюванню, необхідно дотримуватися *правил техніки безпеки*.



СИРОВИНА

2.1. Класифікація сировини

Сировиною називають речовини, з яких виробляють продукцію.

Наприклад, із цукрових буряків виробляють цукор, із залізної руди – чавун, із зерна – борошно. Отже, цукрові буряки, залізна руда, зерно – це **сировина**, а цукор, чавун, борошно – **продукція**.

Сировину класифікують за такими ознаками, як: походження, агрегатний стан, важливість у технологічному процесі тощо.

І. **За походженням.** За цією ознакою сировину поділяють на первинну, штучну і вторинну.

1. **Первинна сировина.** *Первинною сировиною називають речовини природного походження, які не зазнавали перероблення.*

Первинну сировину поділяють на мінеральну, рослинну і тваринну:

а) **мінеральна сировина.** *Мінеральною сировиною називають корисні копалини, які видобувають у надрах Землі чи на її поверхні.*

Залежно від мети використання мінеральну сировину поділяють на паливо-енергетичну, рудну, хімічну, будівельну та коштовне каміння, гідромінеральну.

Паливо-енергетична сировина – це вугілля, нафта, торф, природний газ, горючі сланці, уран та ін. Вона є не лише джерелом теплової енергії, а й сировиною для хімічної, металургійної та інших галузей промисловості.

Рудна сировина – це залізні, мідні, хромові, манганові, молібденові, нікелеві та інші руди. Промислові руди містять один або кілька металів. Вміст металів у цих рудах різний, але економічно вигідний для вилучення з них металів на даному етапі розвитку технології. У ру-

дах метали перебувають у вигляді оксидів (наприклад, залізна руда містить залізо у вигляді оксидів (Fe_2O_3 , Fe_3O_4), сульфідів (наприклад, мідна руда містить мідь у вигляді халькопіриту ($CuFeS_2$)). Дуже рідко у природі зустрічаються руди, в яких метали перебувають у вільному стані, – це золотоносні і платинові руди.

Хімічна сировина – це мінерали з малим вмістом металів. Тому її часто називають мінералохімічною сировиною. Це калійні солі, сірка, апатити, фосфорити тощо.

Будівельна сировина і коштовне каміння. До *будівельної* сировини належать граніт, вапняк, пісок, глина тощо. З цієї сировини виготовляють продукцію, необхідну для будівельного виробництва. **Коштовне каміння** (алмаз, бурштин, кристалевий кварц, аметист тощо) в основному є сировиною для ювелірної промисловості.

Гідромінеральна сировина – це підземні мінеральні й прісні води та розсоли.

б) рослинна сировина. *Рослинною сировиною називають наземну та підземну частини рослин (листя, стовбур, гілля, квіти, насіння, плоди, коріння тощо).*

До рослинної сировини належать льон, коноплі, цукрові буряки, бавовна, деревина, зерно тощо. З них виробляють продукти харчування та продукцію промислового і побутового призначення. Так, з насіння льону отримують олію, з його стебел волокна, а потім пряжу, з якої тчуть тканини; з цукрових буряків виробляють цукор.

в) тваринна сировина. *Тваринною сировиною називають вовну, шкіру, шовк, молоко, хутро тощо.*

Переробляючи сировину тваринного походження, отримують продукти харчування та продукцію побутового і промислового призначення.

Рослинна і тваринна сировина, на відміну від мінеральної, потребує швидкого перероблення, оскільки з часом її склад і якість змінюються. Для збереження рослинної та тваринної сировини на довгий час її висушують, заморожують, консервують, стерилізують, зберігають в атмосфері захисних газів тощо.

Пам'ятайте, що сировина рослинного і тваринного походження відновлюється людською працею, в той час як мінеральна – ні.

Сировина мінерального походження має певні райони покладів і обмежену кількість. Сировина рослинного і тваринного походження залежить від природних умов. Проте і мінеральну, і рослинну, і тваринну сировину треба використовувати **ощадно**.

2. Штучна сировина. *Штучною сировиною називають продукцію чи напівпродукцію, виготовлену на іншому підприємстві або на складових цього чи інших підприємств.*

Наприклад, готова продукція домнового цеху – чавун є сировиною для отримання сталі; готова продукція ткацького цеху – тканина є сировиною для пошиття одягу і т. ін.

3. Вторинна сировина. *Вторинною сировиною називають промислові та споживчі відходи й побічну продукцію.*

Промисловими відходами називають залишки сировини і напівпродукції, що утворилися в процесі виготовлення основної продукції, які частково або повністю втратили свої властивості та не відповідають встановленим стандартам.

Промислові відходи після перероблення, а іноді і без нього можуть бути використані у виробництві або споживанні.

Споживчими відходами називають вироби та речовини, які в процесі користування ними втратили свої властивості.

Наприклад, вироби з металів (праска, каструля тощо) втратили придатність до використання і стали **металобрухтом**; вироби з паперу (книжки, газети, часописи тощо) внаслідок застарілої інформації та пошкодження стали **макулатурою**; бавовняні та вовняні вироби – **ганчір'ям**.

Побічною продукцією називають таку продукцію, яка утворилася поряд з основною в процесі перероблення сировини, але не була метою виробництва.

На побічну продукцію встановлюють стандарти, технічні умови, ціни. Побічну продукцію часто використовують як готову продукцію або вона є сировиною для виготовлення іншої. Наприклад, у процесі виробництва чавуну (основна продукція) отримують шлак (побічна продукція), який є сировиною для виготовлення будівельних матеріалів (шлакоцементу, шлаковати тощо).

Вторинна сировина повністю або частково замінює первинну сировину при виготовленні продукції. Це економічно і екологічно вигідно: продукція стає дешевшою і менше забруднюється довкілля.

*Штучну і вторинну сировину називають **матеріалами**.*

II. За агрегатним станом. За цією ознакою сировину поділяють на тверду, рідинну і газову. Прикладом **твердої сировини** є металеві руди, вугілля, пісок, льон, зерно; **рідинної** – нафта, вода, соляні розсоли, молоко; **газової** – повітря, природні та промислові гази.

III. За важливістю у технологічному процесі. За цією ознакою сировину поділяють на основну і допоміжну.

Основною сировиною називають сировину, яка є основою виготовлюваної продукції.

Наприклад, залізна руда є основою для отримання чавуну, цукрові буряки – для отримання цукру, тканини – для пошиття одягу.

Допоміжною сировиною називають такі складові сировини, які надають продукції певних властивостей або гарантують нормальний хід технологічного процесу.

Наприклад, мастила забезпечують надійну роботу вузлів обладнання; каталізатор – нормальний перебіг технологічного процесу; фарби надають тканині відповідного забарвлення.

2.2. Вода

§ 2.2.1. Властивості води

З усіх природних видів сировини вода має найважливіше значення в житті та діяльності людини, особливо прісна, якої

на Землі лише 3,5%. Воду використовують в усіх сферах людської діяльності. Вода є сировиною, розчинником, теплоносієм або охолодником. Її використовують для передавання тиску, руйнування ґрунту, добування корисних копалин, транспортування твердих речовин, приготування їжі, для пиття тощо.

Чиста вода – це прозора безбарвна рідина.

Природна вода забруднена як механічними, так і хімічними домішками, містить мікроорганізми, має колір, запах, смак.

Механічні домішки – це частинки піску, глини тощо, хімічні – розчинені солі та гази.

Загальні властивості води визначаються твердістю, загальним вмістом солей, прозорістю, наявністю домішок, мікроорганізмів тощо.

Твердість води зумовлена солями кальцію та магнію. Вода має тимчасову, постійну та загальну твердість.

Тимчасова твердість води спричинена гідрокарбонатами кальцію ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) та магнію ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$), які під час кип'ятіння перетворюються на солі, нерозчинні у воді, й осідають на внутрішні поверхні посуду у вигляді накипу.

Постійна твердість води спричинена наявністю у ній хлоридів і сульфатів кальцію (CaCl_2 , CaSO_4) та магнію (MgCl_2 , MgSO_4). Ці солі після кип'ятіння води не змінюються і залишаються у розчині.

Загальну твердість води складають солі обох видів твердості: тимчасової та постійної.

Загальний вміст солей у воді визначають сухим залишком, який утворюється після випаровування 1 л води та висушування залишку за температури 105-110°C. Загальну кількість солей виражають в міліграмах на літр.

Прозорість води визначають товщиною шару води в циліндрі, через який видно зображення предмета, що перебуває на дні. Прозорість води визначають візуально, тобто на око, або за допомогою фотоелемента.

Кількість **завислих у воді твердих частинок** визначають фільтруванням проби через стандартний фільтр і виражають в міліграмах на літр.

Максимальну кількість домішок, яка допускається у воді, визначають характером виробництва і встановлюють за відповідними стандартами.

§ 2.2.2. Класифікація вод

Води поділяють за походженням і призначенням.

1. **За походженням.** За цією ознакою води поділяють на атмосферні, поверхневі та підземні.

Атмосферні води випадають на поверхню Землі у вигляді дощу, снігу та граду. Ці води насичені сірководнем, оксидом азоту та іншими газами, якими забруднена атмосфера, особливо у промислових районах. Крім промислових газів вода насичена також киснем. Атмосферна вода не містить солей кальцію та магнію.

До поверхневих вод належать води річок, озер, морів, океанів, каналів і водосховищ. У цих водах крім домішок, які є в атмосферній воді, містяться солі та інші речовини. Води річок і озер самоочищуються: під впливом сонячної енергії та дії корисних мікроорганізмів шкідливі мікроби, що перебувають у воді, гинуть.

Підземні води – це води джерел, артезіанських колодязів, копалень. Їх склад залежить від ґрунтів, через які вони просочуються. Ці води в більшості випадків прозорі й позбавлені мікроорганізмів. Во-

ди копалень часто містять солі кольорових і рідкісних металів, йод, бром, сірководень тощо. Підземні води є унікальною сировиною для хімічної промисловості. Так, воду, в якій розчинений хлористий натрій, використовують для отримання хлору, їдкого натрію, водню. Із підземних розсолів отримують бромисті, йодисті та інші солі. Деякі з цих вод мають лікувальні властивості. Широко відомі води Трускавця, Миргорода та ін.

2. За призначенням. За цією ознакою води умовно поділяють на питну та промислові; у кожній з цих вод вміст домішок регламентується відповідними стандартами.

Питна вода згідно із вимогами *стандарту* має бути безпечною для вживання. Вона не повинна мати запаху, присмаку та забарвлення. Ця вода не повинна містити більше ніж встановлено нормою домішок, оскільки їх надмірність шкідлива для живих організмів.

Промислові води містять домішки згідно з допустимою нормою, яка встановлюється залежно від підприємства, на якому використовується вода. Так, вода, яку використовують в парових казанах мусить бути очищена від газів (кисню та діоксиду вуглецю), оскільки вони спричиняють корозійне руйнування казанів. Вміст солей не повинен перевищувати 0,2–0,3 мг/л сухого залишку, оскільки солі осідають на внутрішні поверхні казанів у вигляді накипу, що спричиняє зменшення теплопровідності стінок, призводить до їх перегрівання та прискорює руйнування казанів.

Особливі вимоги ставлять до води, яку використовують в процесі виробництва напівпровідників, люмінофорів тощо.

§ 2.2.3. Підготовки води до використання

Перед використанням воду очищують. Для очищення води використовують відстоювання, фільтрування, знезараження, зм'якшення, знесолоння, дегазацію та мембранізацію. Спосіб очищення вибирають залежно від призначення води. На водоочисних станціях найчастіше користуються комбінованими способами.

1. Відстоювання води. Цим способом воду очищують від завислих у ній частинок органічного та мінерального походження. Воду відстоюють у великих бетонованих резервуарах. Для прискорення осідання дрібних частинок до води додають коагулянти (лат. *«coagu-*

lantes» від *«coagulo»* – спричиняю згортання, згущення) – сульфати заліза або алюмінію. Одночасно з виведенням цих домішок у воді знижується вміст солей, які зумовлюють тимчасову твердість.

2. Фільтрування води. Воду фільтрують через фільтри, які з низу до верху пошарово складаються з каменю, гравію та піску. Висота фільтра досягає 3,5 м, з них 1 м – товщина шару піску. Такий фільтр затримує навіть до 80% кишкових паличок.

Після відстоювання і фільтрування вода стає прозорою.

3. Знезараження води. Очищення води від шкідливих мікроорганізмів називають *знезараженням*.

Знезараження є обов'язковим при очищенні питної води. Хвороботворні мікроорганізми знищують хлоруванням, озонуванням або кип'ятінням води. Знезаразити воду можна за допомогою іонів срібла, ультрафіолетового проміння, ультразвукових коливань тощо.

Для хлорування використовують хлорне вапно або хлор. Надлишок хлору з води виводять, пропускаючи її через вугільні фільтри. Інтенсивне хлорування питної води призводить до появи у воді дуже небезпечних для живих організмів сполук хлору.

Останнім часом питну воду знезаражують за допомогою озону, який отримують дією електричного розряду на повітря або на повітря, збагачене киснем. Під час знезараження води озон розкладається, внаслідок чого виділяється атомарний кисень, який вбиває мікроорганізми й окислює органічні домішки.

Пошуки нових очисників води призвели до використання природних речовин, якими є мінерали *цеоліт* і *шунгіт*. Ці мінерали очищують воду не лише від кишкових паличок, а й від іонів металів, радіонуклідів, фенолу, сільськогосподарських хімікатів тощо. З часом природні мінерали повністю замінять дороге активоване вугілля та мембрани, якими сьогодні доочищують питну воду.

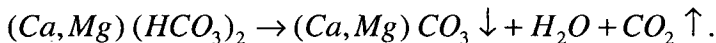
4. Зм'якшення та знесолення води. Це дуже важливі процеси підготовки промислових вод. Якщо воду очищують від солей кальцію та магнію, то процес називають *зм'якшенням*, якщо виводять із води всі солі – *знесоленням*.

Способи зм'якшення поділяють на фізичні, хімічні та фізико-хімічні.

а) фізичні способи зм'якшення води. До них належать кип'ятіння, дистиляція, виморожування та мембранізація.

Кип'ятінням води позбавляються тимчасової твердості. Під час кип'ятіння води гідрокарбонати кальцію та магнію перетворюють-

ся на нерозчинні карбонати, які осідають на стінки посуду чи обладнання:



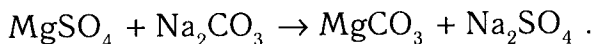
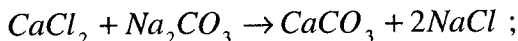
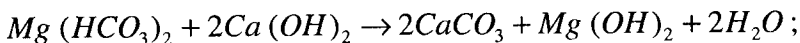
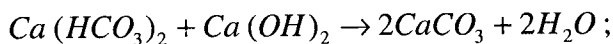
Цей спосіб не застосовують для зм'якшення великої кількості води, оскільки він дуже повільний і дорогий.

б) Хімічні способи зм'якшення води. Ці способи ґрунтуються на додаванні до води хімічних реагентів, які взаємодіють із солями, що містяться у воді, з утворенням нерозчинних у ній солей. Утворені солі випадають в осад. Назва способу походить від вибраного реагента. Наприклад, якщо реагентом є гашене вапно ($Ca(OH)_2$), то спосіб зм'якшення води називають *вапняним*; якщо їдкий натрій ($NaOH$), то – *натронним*. При додаванні до води фосфату натрію (Na_3PO_4) – спосіб зм'якшення води називають *фосфатним*, а соди (Na_2CO_3) – *содовим*.

Найчастіше застосовують комбіновані способи зм'якшення води, оскільки за їх допомогою можна позбутися як постійної, так і тимчасової твердості. Це економічно вигідно. Найчастіше застосовують вапняно-содовий і фосфатний способи зм'якшення води.

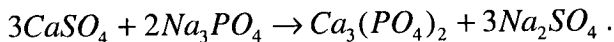
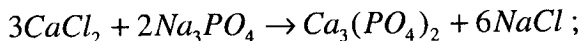
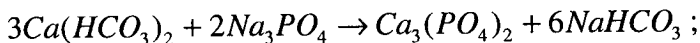
Вапняно-содовий спосіб. При використанні цього способу зм'якшення до води спочатку додають гашене вапно ($Ca(OH)_2$) у вигляді вапняного молока, а потім соду (Na_2CO_3).

Вапняне молоко добре очищує воду від солей, що зумовлюють тимчасову твердість, а сода – постійну:



Цей спосіб зм'якшення води застосовують дуже широко, оскільки він дешевий. Однак він не повністю зм'якшує воду.

Фосфатний спосіб. У разі застосування цього способу зм'якшення до води додають фосфат натрію (Na_3PO_4), який одночасно очищує воду від солей, які спричиняють тимчасову та постійну твердості, наприклад:



Фосфатний спосіб зм'якшення води дуже дорогий. Його застосовують головним чином у комбінованих способах, коли основної маси солей позбуваються за допомогою вапняного молока або соди. У кінці процесу зм'якшення до води додають фосфат натрію.

в) **фізико-хімічні способи зм'якшення води.** До цих способів належить іонообмінний, який широко застосовують у промисловості. В основі цього способу зм'якшення води лежить властивість деяких речовин – іонітів – обмінювати свої іони на іони, які є у воді.

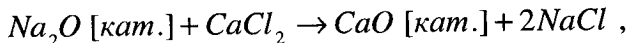
Іоніти поділяються на **катіоніти** й **аніоніти**.

Катіоніти містять рухомі іони натрію або водню. Їх називають відповідно **Na-катіонітами** та **H-катіонітами**.

Прикладом Na-катіонітів є алюмосилікат ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Прикладом H-катіонітів – сульфоване вугілля.

Аніоніти містять рухому гідроксильну групу **ОН**, тому їх називають **ОН-аніонітами**. До ОН-аніонітів належать штучні смоли, наприклад, карбамідні.

Очищення води з використанням іонітів відбувається таким чином. Воду пропускають через катіоніти, наприклад, алюмосилікат складу ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Між солями, що перебувають у воді й алюмосилікатом проходить реакція обміну:



де [кат.] – частина молекули Na-катіоніту ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), яка не бере участі в реакції.

У процесі очищення води іоніти забруднюються і перестають діяти, їх **регенерують**: аніоніти промивають лугом (4%-м розчином **NaOH**), а катіоніти – розчином сірчаної кислоти (H_2SO_4) або кухонної солі (**NaCl**).

На практиці воду очищують так: спочатку пропускають її через H-катіонітний фільтр, де вона очищується від іонів кальцію, магнію та натрію, а потім через ОН-аніонітний фільтр, у якому обмінюються ОН-іони на аніони солей.

Цей спосіб очищення води характеризується компактністю, простотою обладнання та обслуговування. Він краще очищує воду від розчинених у ній солей і, що найголовніше, дешевий порівняно з деякими хімічними способами, особливо з вапняно-содовим.

5. Дегазація води. *Дегазацією* називають виведення з води розчинених у ній газів.

Дегазацію проводять фізичним і хімічним способами. Під час фізичного способу воду нагрівають у вакуумі, під час хімічного — до води додають хімічні реагенти, які взаємодіють із газами, і продукти реакції вилучають з води. Наприклад, від CO_2 воду очищують таким чином: її пропускають через фільтр, заповнений гашеним вапном (Ca(OH)_2), або додають до води вапняне молоко (розчин Ca(OH)_2 у воді). В обох випадках утворюється CaCO_3 , який випадає в осад.

Підготування води до використання підвищує її собівартість. Так, після фільтрування собівартість води збільшується у 2,5 рази порівняно з річковим очищенням; часткове зм'якшення води у 8 разів підвищує її собівартість, а знесолення та повне зм'якшення — 10-11 разів.

§ 2.2.4. Очищення стічних вод

Швидкі темпи розвитку промисловості призвели до того, що деякі річки перетворились у каналізаційні стоки, разом з тим забруднені моря й океани. Особливої шкоди водним ресурсам нашої Планети завдають добувна, хімічна, металургійна та нафтопереробна промисловості. З'являються нові види забруднень стічних вод, для яких існуючих способів очищення недостатньо. До цих видів забруднення належать синтетичні мийні засоби, отрутохімікати, які широко використовують у побуті та сільському господарстві. Промислові та побутові стічні води містять різні органічні й неорганічні речовини. Особливо небезпечними є сполуки фосфору, хлору, арсену, свинцю, міді. Якщо такі води злити у водойми (річки, озера, моря), то загине все живе.

У зв'язку з розвитком атомної енергетики та застосуванням радіоактивних ізотопів виникла проблема очищати радіоактивні стічні води. Для цього потрібні складні очисні споруди із застосуванням спеціальних способів очищення.

Пам'ятаймо, що не можна впроваджувати у виробництво ті способи виготовлення продукції, які допускають викиди шкідливих речовин у стічні води. Адже жодний з відомих способів очищення води не може повністю очистити її.

Способи очищення стічних вод. Перед випусканням стічних вод у водойми їх очищують механічними, фізико-хімічними, хімічними і біологічними способами.

1. Механічні способи очищення стічних вод. До них належать відстоювання та фільтрування води. У результаті застосування цих способів механічні домішки осідають на дно або залишаються на фільтрі.

2. Фізико-хімічні способи очищення стічних вод. В основі цих способів лежать масообмінні процеси. *Адсорбція* й *екстракція*, які використовуються для очищення стічних вод, потребують дорогих реагентів і порівняно складного обладнання, їх доцільно застосовувати для очищення води, яка містить невелику кількість розчинених у ній шкідливих речовин. Так, адсорбцією з використанням адсорбента – активованого вугілля із стічних вод кольорової металургії вилучають цинк, мідь, свинець, нікель та інші метали. Від фенолу воду очищують екстракцією з використанням мінеральних мастил або бензолу. Для очищення води використовують іоніти. У такий спосіб очищують воду від солей міді, які є дуже шкідливими для життя людей і тварин, коли їх кількість у воді перевищує 1 мг/л. Вода придатна для життя риб, повинна містити цих солей менше, ніж 0,01 мг/л.

3. Хімічні способи очищення стічних вод. Вони ґрунтуються на взаємодії спеціально доданих до води хімічних реагентів із домішками, які є у воді. У результаті реакції (нейтралізації, окиснення, відновлення) шкідливі речовини перетворюються на нешкідливі або випадають в осад, який відокремлюють механічними способами.

4. Біохімічні способи очищення стічних вод. На сьогодні ці способи є надійними і ефективними. Суть очищення води полягає в окисненні домішок, які містяться у воді за допомогою мікроорганізмів-бактерій.

Бактерії розкладають жири, білки та інші сполуки на діоксид вуглецю, воду та мінеральні солі.

Біохімічне очищення проводять у спеціальних басейнах, на дні яких прокладено труби. По цих трубах до басейну, де міститься вода,

яку треба очистити, безперервно подають повітря, необхідне для життя та розмноження бактерій. Поживою для бактерій є органічні речовини, які містяться у воді. З часом кількість бактерій збільшується, а домішок – зменшується. Воду очищують від бактерій дуже просто: оскільки бактерії важчі за воду, то й осідають на дно басейну у вигляді мулу. Частину мулу використовують для очищення води, а решту висушують і використовують на полях. Очищену воду хлорують або озонують і випускають у річки.

Біохімічні способи застосовують для очищення, головних чином, фекальних вод, тобто стічних вод великих міст.

§ 2.2.5. *Раціональне використання води*

Вода є одним з найважливіших видів природної сировини. Щоденно потреби у воді зростають. Ви-

трати води на деяких сучасних промислових підприємствах становлять кілька мільйонів кубічних метрів на добу. До таких підприємств належать заводи, на яких виробляють хімічні волокна, пластмаси, папір тощо. Наприклад, для виробництва капронового волокна витрачається стільки води, скільки її потрібно для міста з населенням 120 тисяч. Поряд з цим дані підприємства є джерелами сильного забруднення стічних вод. Саме тому основним завданням для кожного підприємства є створення *замкнених систем використання води* для своїх потреб, суть якого полягає в очищенні води, яку вже використовували у технологічному процесі, з метою подальшого її використання. Таку воду називають *оборотною*.

Основним завданням усіх підприємств, які використовують воду, є раціональне її використання. Для цього треба вибирати такі технології й обладнання, які потребують найменше свіжої води і не забруднюють довкілля; регламентувати витрати води на виробництво одиниці продукції (1 т, 1 м, 1 л тощо); розширити використання оборотних вод; підвищити ефективність очищення стічних вод; вдосконалити технології з метою повнішого використання відходів, щоб зменшити потреби в очисних спорудах. Це дуже важливо, оскільки затрати на побудову очисних споруд становлять майже п'яту частину кошторисної вартості будівництва промисло-

вих підприємств. Крім того, під їх побудову виділяють величезні ділянки родючих земель.

2.3. Повітря

Повітрям називають невидиму суміш газів, яка оточує Землю.

Основними складовими повітря є азот (76,16%) і кисень (20,9%). Крім них до складу повітря входять аргон (0,93%), гелій, неон, криптон, ксенон та інші інертні гази.

Тепер до складу повітря входить велика кількість газів-викидів промислових підприємств. Вони забруднюють повітря.

У технології повітря виконує роль сировини, теплоносія та охолодника.

За допомогою стисненого повітря перемішують рідини та пульпи (лат. *«pulpa»* – м'якоть; суміш твердих частин, завислих у рідині), розпилюють рідини у реакторах тощо.

Якщо повітря є сировиною, його ретельно очищують від пилу, промислових газів та отруйних речовин.

Виділений з повітря чистий **кисень** використовують у процесі отримання металів і сплавів (повітряно-кисневе дуття при виробництві чавуну, кисневе дуття при виробництві сталі), випалювання сульфідних руд кольорових металів, окиснення метану, отримання кислот, спиртів, білково-вітамінних концентратів, очищення стічних вод, в енергетиці, медицині тощо. Використання кисню в технології сприяє зменшенню витрат палива та підвищенню продуктивності агрегатів. Так, заміна повітря киснем при виробництві білково-вітамінних концентратів сприяла збільшенню продуктивності агрегатів у 3½ рази.

Азот є сировиною, з якої виробляють мінеральні добрива, амоніак, штучні та синтетичні волокна. У середовищі рідинного азоту подрібнюють тверді речовини. Подрібнення твердих речовин за таких умов захищає утворені частинки від окиснення. Використовують рідинний азот також у надпровідних системах, які можуть застосовуватися в електроніці, електротехніці, транспорті, при освоєнні нових способів зберігання та передавання енергії тощо.

Такі складові повітря, як азот, кисень, аргон, гелій та інші використовують у криогенній техніці для отримання низьких температур, тобто великого холоду.

Аргон, гелій, неон, криптон і ксенон все частіше використовують як захисне середовище в металургійній, машинобудівній та інших галузях промисловості.

2.4. Корисні копалини та способи їх добування

§ 2.4.1. Основні поняття та визначення

Корисними копалинами називають речовини, які знаходяться у надрах Землі чи на її поверхні та використовуються людьми для задоволення своїх потреб.

Ці речовини використовують без або після перероблення.

Поряд із корисними копалинами в земній корі залягають породи.

Породою називають речовину, яка не містить основного компонента корисної копалини.

Наприклад, у залізних рудах основним компонентом є залізо, яке міститься у руді у вигляді оксидів та інших сполук заліза. Порода в залізних рудах складається, в основному, з піску та глини.

Підземні комори України багаті на корисні копалини. У них є майже все або більшість із того, що потрібно для розвитку промисловості та інших галузей.

Є у підземних коморах України руди (залізні, мідні, манганові, свинцеві, цинкові, титанові, ванадієві, уранові та ін.), золото, вугілля, горючі сланці, торф, нафта, газ, озокерит, прісні та мінеральні води, коштовне каміння, графіт, сірка, солі (харчова, кам'яна та ін.), гіпс, каолін, апатити, глини (червоно-бурі, вогнетривкі та ін.), вапняки, пісок, каміння, пірофілітові сланці (єдине у Світі родовище на Житомирщині). З пірофілітових сланців виробляють сигнальні світильники для морських маяків. Маємо інші мінерали.

Природні скупчення корисних копалин у надрах Землі називають *родовищем*.

Залежно від характеру робіт і виду корисної копалини, яку добувають з родовища, останнє має певну назву, яка склалася історично. Наприклад, залізні, мідні та інші руди, кам'яне вугілля, золото, солі добувають у *копальнях*, вапняк, пісок, глину – в *кар'єрах*, камінь, граніт – у *каменоломнях*.

У родовищах корисні копалини залягають у вигляді пластів, жил, гнізд тощо. **Пласти** та **жили** можуть бути горизонтальними, пологими та похилими (рис. 1).

Горизонтальні пласти обмежені двома паралельними площинами: верхню називають **покрівлею** (2), нижню – **основою** (3). Для інших пластів покрівлею буде висячий бік 2, а основою – лежачий 3.

Кутом падіння (α) називають кут, який утворює пласт із горизонтальною площиною.

Похилий пласт має найбільший кут падіння ($45-90^\circ$).

Потужністю пласта називають його товщину (m).

За потужністю пласти поділяють на **дуже тонкі** (до 0,5 м), **тонкі** (0,5–1,3 м), **середні** (1,3–3,5 м) і **потужні** (понад 3,5 м).

Корисні копалини залягають у надрах Землі на різній глибині. Найлегше відшукати ті корисні копалини, родовища яких виходять на поверхню Землі або прикриті тонким шаром ґрунту чи породи. Якщо родовища корисних копалин знаходяться дуже глибоко від поверхні Землі, то для їх пошуку роблять свердловини, що потребує великих затрат часу та праці. Для пошуку родовищ використовують їх фізичні властивості: електропровідність, густину, магнітні властивості, швидкість поширення звукових хвиль та ін.

Після знаходження родовища досліджують форму залягання корисних копалин, площу поширення, глибину, хімічний склад, запаси тощо.

Якщо результати досліджень (розвідування) показують доцільність розроблення даного родовища, то приступають до видобування корисної копалини.

Під час видобування корисних копалин у земній корі утворюються порожнини, які називають **виробками**.

Виробки поділяють на розкривні, підготовчі та очисні.

Розкривні виробки відкривають доступ до корисної копалини.

Підготовчими виробками називають виробки, внаслідок яких корисні копалини підготовлюють до видобування.

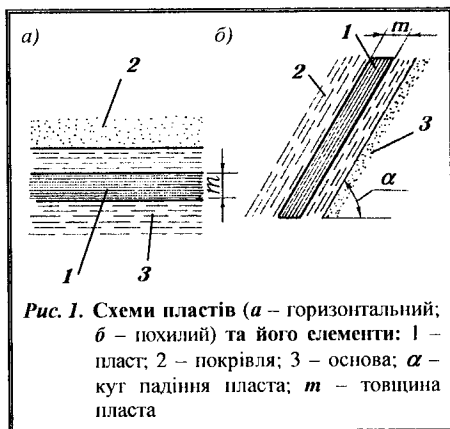


Рис. 1. Схеми пластів (а – горизонтальний; б – похилий) та його елементи: 1 – пласт; 2 – покрівля; 3 – основа; α – кут падіння пласта; m – товщина пласта

Очисними виробками називають виробки, пов'язані з добуванням корисних копалин.

Виробки поділяють на **наземні** (відкриті) і **підземні** (закриті). Такий розподіл зумовлений розміщенням виробок у земній корі щодо поверхні Землі.

Для проведення виробок використовують вибухові речовини, які вибирають залежно від виробок і властивостей гірських порід.

Для проведення **підземних** виробок використовують вибухові речовини, у разі вибуху яких виділяється незначна кількість газів і не виникає полум'я. Це дуже важливо, особливо при добуванні вугілля, оскільки у підземні виробки надходить з породи велика кількість газу метану, який може вибухнути або загорітися, що спричинить аварію, а можливо і людські жертви.

Використовувати вибухові речовини для проведення **наземних** виробок безпечніше, ніж для **підземних**. У цьому разі використовують речовини, які мають велику руйнівну силу.

Слід пам'ятати, що всі вибухові речовини небезпечні при користуванні. Корисні копалини добувають наземним, підземним, свердловинним і геотехнологічним способами.

§ 2.4.2. Наземний спосіб добування корисних копалин

Наземним способом корисні копалини добувають тоді, коли вони залягають неглибоко під поверхнею Землі.

Таким способом добувають пісок, глину, каміння, гальку, буре вугілля, руди тощо.

Добуванню корисних копалин передують підготовчі роботи, які полягають у вирубуванні лісів, чагарників, висушуванні боліт, відведенні води тощо. Ці роботи проводять у разі потреби. Наприклад, якщо є болото, то його висушують. Потім зрізують шар ґрунту та породи, які лежать над корисною копалиною, і транспортують їх до окремих звалищ. Для цього використовують конвеєри та гідротранспортери. При гідротранспортуванні породи подрібнюють і разом з водою подають трубами до звалища.

Добувні роботи складаються з виймання корисної копалини та породи, їх навантаження на транспортні засоби, транспортування до місця перероблення та розвантаження.

Кар'єром називають сукупність відкритих виробок, обладнаних для видобування корисних копалин.

Згори кар'єр виглядає як величезна яма-лійка, схили якої нагадують сходинки (рис. 2). Ці сходинки називають **уступами**. Ширина уступів досягає кількох десятків метрів. На уступах прокладають автомобільні або залізничні дороги, іноді монтують потужні стрічкові конвеєри.

Уступи з'єднані між собою з'їздами, по яких транспортом вивозять із кар'єру на поверхню породу, корисні копалини та непотрібне обладнання. Корисні копалини добувають за допомогою потужних машин.



Найчастіше використовують екскаватори (англ. «*excavator*» від лат. «*excavo*» – видовбую), які ковшем зачерпують корисні копалини і породу та вантажать їх у транспортні засоби (автомобілі-самоскиди, залізничні вагони тощо).

За допомогою транспортних засобів корисні копалини доставляють споживачам або на збагачувальну фабрику, а породу у звалище. У багатьох кар'єрах працюють екскаватори, кожний з яких замінює тисячі людських рук. Тому продуктивність праці у кар'єрах велика, а собівартість отриманої продукції мала. У кар'єрах майже повністю вибирають корисну копалину з родовища. Але найголовніше те, що рівень механізації набагато вищий, ніж у копальнях.

Основні *недоліки* наземного способу добування корисних копалин – руйнування родючих земель на великій території та забруднення пилом довкілля. Останнім часом практикують рекультивуацію земель, тобто їх відновлення та повторне використання на території колишнього кар'єру.

Підземним способом добувають корисні копалини, які залягають глибоко у Землі. Цим способом добувають кам'яне вугілля, руди різних металів, солі.

§ 2.4.3. Підземний спосіб добування корисних копалин

Копальнею називають гірниче підприємство, на якому видобувають корисні копалини у закритих виробках.

На території, яку займає родовище корисної копалини, може бути одна або кілька копалень.

Площу родовища, яка розробляється однією копальнею, називають *копальняним полем*. Воно може бути довільної форми, але найчастіше у вигляді прямокутника. Розмір поля залежить від потужності пласту (m) та кута його падіння (α). Не можна добувати корисні копалини під будівлями, спорудами та водоймами. Про це слід пам'ятати, встановлюючи термін служби копальні, який визначається обсягом запасів і запроектованою продуктивністю копальні.

У разі побудови копалень в одному районі економічно вигідно мати централізоване господарство на поверхні землі для обслуговування кількох копалень, до якого належать компресорні, механічні майстерні, збагачувальні фабрики тощо.

Підготовлення копальняного поля до видобування корисної копалини починається з розкриття пласта. Для цього на місці залягання корисної-копалини, а якщо пласти похилі – на незначній віддалі від нього, виконують гірничі роботи, внаслідок яких отримують вертикальні виробки. Останні доходять до пласта корисної копалини. Щоб запобігти руйнуванню виробок, їх укріплюють дерев'яними (деревина хвойних порід), металевими та залізобетонними конструкціями. Укріплені вертикальні виробки називають *стовбурами*. Копальня може мати два або більше стовбурів. Їх кількість залежить від потужності підприємства, глибини розроблення корисних копалин, розмірів копальняного поля тощо. Стовбури поділяють на *головні* (скіпові, клітьові), *вентиляційні* та *комбіновані*.

У *головному стовбурі* кліттю або скіпом (англ. «*skip*», – буквально стрибок, – саморозвантажувальний короп (кліть) для сипких вантажів) піднімають на поверхню корисні копалини та породу.

Стовбури можуть мати відділення, оснащені клітьми, якими тільки спускають і вивозять з копальні людей. Крім скіпів і клітей у стовбурі розміщені труби для випомповування підземних вод, кабелі для подання електричної енергії та драбини для виходу людей на поверхню на випадок аварії.

Через **вентиляційний стовбур** потужними вентиляторами подають у копальню свіже повітря. Цим стовбуром можна опускати в копальню людей.

Під час проходження повітря по підземних виробках склад його змінюється внаслідок дихання людей, гниття деревини тощо. Крім того в підземну атмосферу надходить велика кількість природних газів і газів, які утворилися під час вибухових робіт. Усе це погіршує умови праці, а іноді спричиняє чисельні жертви.

Наявність у підземному повітрі метану та кам'яновугільного пилу (у процесі видобування вугілля) може спричинити пожежу та вибух.

Для дотримання нормальних умов праці необхідно, щоб склад повітря, яке є у копальні, наближався до атмосферного, тобто, щоб кисню було не менше як 20%, а вуглекислого газу – не більше від 0,5%. Для цього у копальню безперервно подають очищене свіже повітря.

Після розкриття родовища та проведення підготівельних виробок, приступають до виконання очисних робіт.

Встановлений порядок і спосіб проведення підготівельних і очисних виробок у просторі та часі називають **системою розробки**.

Гірничі роботи виконують за трьома типами багатьох систем розробки: **суцільною, стовповою і комбінованою**.

У копальнях корисні копалини транспортують за допомогою конвеєрів або у вагонетках, які тягнуть електровози, потім у скіпах або клітках їх вивозять на поверхню, де перевантажують у залізничні вагони або автомобілі-самоскиди і відправляють до споживача чи на збагачувальну фабрику. Породу вивозять на поверхню і зсипають у звалища. У звалищах порода може самозайматися, горіти й забруднювати довкілля. Останнім часом породу все частіше залишають під землею і закладають нею вибрані ділянки.

Підземні води збираються у відстійнику, звідси їх випомпують на поверхню потужними помпами.

Корисні копалини, які у родовищах перебувають у рідинному та газовому станах (вода, нафта, розсоли, природний газ) видобувають свердловинним способом. Суть його полягає в тому, що напроти родовища корисної копалини бурять свердловину. Як тільки свердловина доходить до пласту, з надр Землі на поверхню виривається потік чи фонтан корисної копалини, яку спрямовують у труби або резервуари (франц. «*reservoir*» від лат. «*reserve*» – зберігаю).

§ 2.4.4. Свердловинний спосіб добування корисних копалин

1. Добування нафти. У родовищі нафта перебуває під великим тиском. Розроб-

лення родовища нафти починається з буріння свердловини та укріплення її сталевими трубами. Із свердловини нафта виходить на поверхню у вигляді фонтана. Її збирають у спеціальні резервуари. Вихід нафти на поверхню можна регулювати введенням в дію оптимальної кількості свердловин.

Добувати нафту можна без підтримування тиску на пласт нафти і з підтримуванням.

За допомогою раціонального вибору розроблення нафтового родовища видобувають заплановану кількість нафти при найменших витратах.

У разі розроблення нафтового родовища *без підтримування тиску* на пласт нафта виходить із свердловини у вигляді фонтана її збирають у спеціальні резервуари.

З часом тиск нафти у родовищі зменшується до атмосферного або стає ще меншим, і свердловину переводять на механічні способи добування нафти: компресорний або помповий.

У разі використання *компресорного способу* нафта з родовища виходить на поверхню за рахунок енергії стисненого повітря або природного газу чи інших речовин, які нагнітають через спеціальну свердловину за допомогою компресора (лат. «*compressor*» – стискач від «*comprimo*» – стискаю).

У разі використання *помпового способу* нафту випомпують з надр Землі за допомогою потужних помп. Добуту нафту подають на очищення і перероблення.

2. Добування газу. Із свердловини газ виходить з дуже великою швидкістю, що може спричинити пожежу та руйнування обладнання. Щоб запобігти цьому потік газу перекривають сталевими засувками і з їх допомогою регулюють тиск газу. Потім газ спрямовують трубами до споживачів, віддалених на десятки й тисячі кілометрів від місця добування.

§ 2.4.5. Геотехнологічні способи добування корисних копалин

можна, використовуючи хімічні, фізико-хімічні, біохімічні та мікробіологічні способи добування корисних копалин, які об'єднані назвою геотехнологічні способи добування корисних копалин або **геотехнологія**.

Геотехнологічні способи добування корисних копалин полягають у добуванні корисних копалин без побудови копалень і кар'єрів.

В основі геотехнології лежить свердловинний спосіб добування корисних копалин.

Суть геотехнологічних способів добування корисних копалин полягає в тому, що у Земній корі напроти родовища бурять свердловину, в яку заливають спеціальні речовини.

Цими речовинами можуть бути холодна або гаряча вода, водяна пара, розчини кислот, лугів, бактерії тощо. Під дією цих речовин корисна копалина може перейти у пару, розчин, розплав або гідросуміш, яку випомпують з тих самих свердловин, або із свердловин розташованих поруч. Геотехнологія охоплює багато способів добування корисних копалин. Назва кожного із них залежить від речовини, яку подають у свердловину.

Якщо цією речовиною є гаряча вода чи водяна пара, то спосіб називають **теплофізичним**. Таким способом можна видобувати сірку, важку нафту, бітум, озокерит тощо (рис. 3, а).

При **гідравлічному** способі у свердловину під тиском подають воду. Вода подрібнює мінеральні корисні копалини, які разом з водою випомпують на поверхню. Таким чином добувають золотоносні піски та фосфорити.

Наземний і підземний способи добування корисних копалин мають певні **недоліки**, уникнути яких

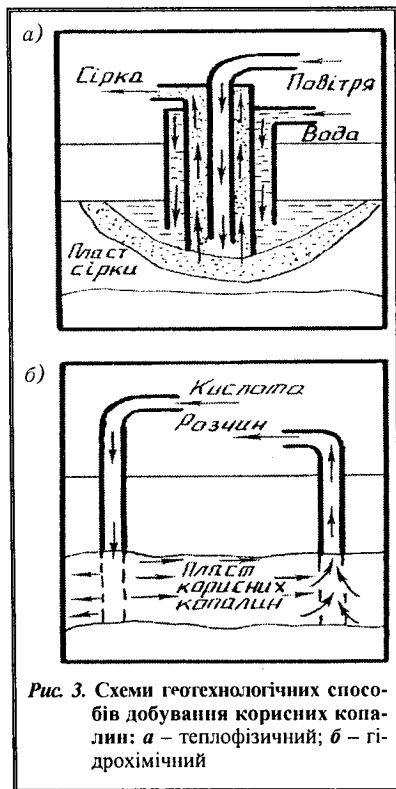


Рис. 3. Схеми геотехнологічних способів добування корисних копалин: а – теплофізичний; б – гідрохімічний

Якщо родовище під землею обробляють розчином лугу, кислоти і отримані продукти реакції випомповують із свердловини, то спосіб добування корисних копалин називають *гідрохімічним*. Так добувають уран, мідь (рис. 3, б).

Деякі бактерії здатні прискорювати процес вилучення хімічних елементів з мінералів і нагромаджувати їх на своїй поверхні. За допомогою бактерій навчилися вилучати нікель, ванадій, золото тощо. До розчину, в якому міститься потрібний хімічний елемент, додають бактерії-рудокони. За наявності бактерій руда розчиняється в кілька разів швидше.

Бактерії всмоктують золото з розчину так швидко й інтенсивно, що за день повністю вкриваються позолотою. Ефективність цього процесу така велика, що за 15–20 год. в осад випадає майже все золото з розчину. Цей спосіб добування золота розробив академік АН України Ф.Д. Овчаренко спільно з науковим колективом фізико-хімічного інституту. Це єдиний у світі спосіб вилучення золота з гірського піску за допомогою мікроорганізмів. Він не має шкідливого впливу на довкілля.

2.5. Підготовка сировини до переробки

Кожний вид сировини перш ніж з нього почнуть виготовляти продукцію потребує відповідної підготовки. Так, тверду мінеральну сировину насамперед подрібнюють, потім отримані шматки сортують за розмірами та збагачують, а в разі потреби укрупнюють (агломерують або грудкують).

Сировину рослинного і тваринного походження також готують до переробки. При потребі її подрібнюють, сортують за розмірами шматків, очищають від домішок тощо.

1. Подрібнення сировини. *Подрібненням називають розділення великих шматків твердої сировини на менші або на порошок.*

Подрібнюють сировину для того, щоб збільшити поверхню взаємодії реагуючих речовин (складових сировини). За таких умов час перетворення сировини на продукцію зменшується.

Мінеральну сировину подрібнюють розколенням, розбиванням, розтиранням. Розколенням і розбиванням подрібнюють тверді та крихкі речовини, розтиранням – пластичні.

Сировину рослинного та тваринного походження подрібнюють різанням і меленням.

Подрібнення проводять на дробарках, млинах, різачках і різальних машинах.

Дробарки використовують для отримання великих (300–100 мм), середніх (50–10 мм) і малих (10–2 мм) шматків.

Конструкції дробарок різні. Схему дробильних вальців, на яких подрібнюють тверду мінеральну сировину зображено на рис. 4, де 1 – вальці, 2 – сировина.



Рис. 4. Схема дробильних вальців

Млини використовують для подрібнення сировини. Для подрібнення твердої мінеральної сировини найчастіше використовують кульові млини (рис. 5). У кульових млинах сировина подрібнюється за допомогою металевих куль 2, які разом з сировиною 3 засипають в обертовий пристрій 1 млина. Пристрій обертається, кулі падають від одної стінки до іншої, подрібнюючи та розмелюючи сировину.

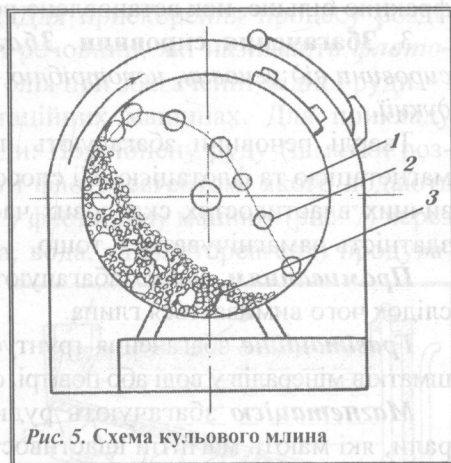


Рис. 5. Схема кульового млина

При подрібненні сировина може бути сухою та мокрою.

При мокрому подрібненні до сировини додають рідину, найчастіше воду. Пульпа містить до 70% твердої речовини, решта рідина. Мокре подрібнення екологічно чисте, оскільки дрібні частини не викидаються в повітря і не забруднюють довкілля.

2. Сортивання сировини за розмірами шматків. Для нормального ходу технологічного процесу необхідно, щоб поверхня шматків реагуючих речовин (складових сировини) була оптимальною. Так, у процесі виробництва чавуну оптимальну поверхню мають шматки руди розміром 10–80 мм. Якщо розмір шматків менший від 10 мм, то вони виносяться з печі разом із доменним газом; якщо розмір перевищує 80 мм, то продовжується час перебування сировини в печі, а це значно впливає на продуктивність печі та собівартість чавуну. Саме тому подрібнену сировину сортують за розмірами кусків.

Сортуванням називають розділення подрібненої сировини на окремі фракції за допомогою решіт і сит.

Фракцією (від лат. «*fractio*» – розламування) називають певного розміру частинки твердої сировини.

Фракції великих за розміром шматків отримують розділенням подрібненої сировини на решетах, малих на ситах. У першому випадку кажуть **решетування**, у другому – **просіювання** або **ситування**. Для розділення подрібненої сировини на фракції решета та сита ставлять одне над одним. Унаслідок розділення отримують на одну фракцію більше, ніж встановлено решіт і сит.

3. Збагачення сировини. Збагаченням називають очищення сировини від речовин, непотрібних для отримання запланованої продукції.

Тверді речовини збагачують промиванням водою, гравітацією, магнетацією та флотацією. Ці способи збагачення ґрунтуються на фізичних властивостях складових частин сировини, таких як густина, здатність намагнічуватися, тощо.

Промиванням водою збагачують, наприклад, залізну руду, внаслідок чого вимивається глина.

Гравітаційне збагачення ґрунтується на різній швидкості падіння шматків мінералів у воді або повітрі, оскільки вони мають різну густину.

Магнетацією збагачують руди, до складу яких входять мінерали, які мають магнітні властивості. Суть цього способу збагачення полягає в тому, що подрібнену руду (шматки розміром до 0,1 мм) подають у пристрій, в якому є магнітне поле. Під дією магнітного поля шматки руди, що мають магнітні властивості, притягуються, інші опадають. У промисловості використовують магнітні сепаратори (лат. «*separator*» – відокремлювач) стрічкового та обертового типів. Сировина може бути сухою або мокрою. Найперспективнішим є обертовий сепаратор, яким збагачують мокру сировину, оскільки менше забруднюється довкілля (рис. 6).

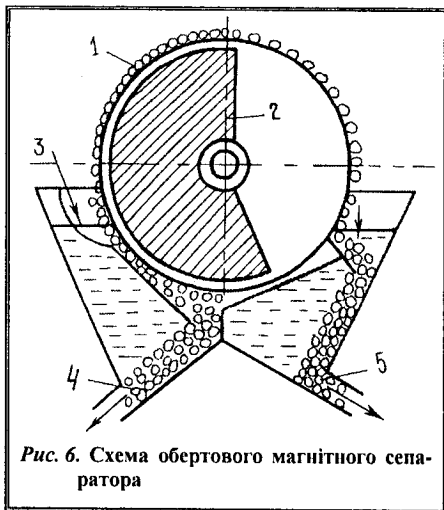


Рис. 6. Схема обертового магнітного сепаратора

Подрібнену сировину у вигляді пульпи **3** подають на поверхню обертового барабана **1**. При обертанні барабана немагнітні шматки **4** осипаються, магнітні **5**, затримуються до виходу з поля дії електромагніта **2**.

Флотаційне (англ. «*floatation*», буквально – плавання) **збагачення** – найуніверсальніший і найдосконаліший спосіб збагачення. Ним збагачують майже всі мінерали. Суть цього способу полягає у різних поверхневих властивостях складових мінералів. Одні складові краще змочуються водою і повністю занурюються в неї, інші – гірше і спливають на поверхню. Для прискорення процесу розділення використовують спеціальні речовини, які називають **флотореагентами**, наприклад, ялицева олія при збагаченні мідної руди.

Збагачення проводять у флотаційних машинах. Для прикладу розглянемо збагачення мідної руди. Подрібнену руду (шматки розміром до 0,1 мм) разом із водою і флотореагентом, якого додають 50–300 г на 1 тону руди, подають у флотаційну машину (рис. 7) через отвір **1**. Пульпу (подрібнена руда, вода, та флотореагент) продувають повітрям через дно машини **2**, виготовлене з пористого матеріалу. Бульбашки повітря підхоплюють змочені флотореагентом шматки руди, що містять мідь і виносять їх на поверхню **3**. Шматки, які не мають потрібного елемента міді (порода), осідають на дно, звідки їх випускають отвором **4**.

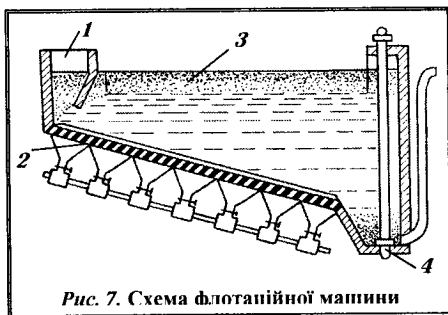


Рис. 7. Схема флотаційної машини

Нещодавно запатентовано універсальну флотаційну машину, у якій пристрій, за допомогою якого подають повітря, вібрує. Цей захід дав змогу збільшити швидкість флотації у 5–8 разів, зменшити витрати енергії у 6–8 разів, повітря – у 2–3 рази, а вміст міді в концентраті збільшити вдвічі.

Суміші рідинних речовин збагачують випаровуванням розчинника, виморожуванням, виведенням домішок в осад тощо.

Суміші газових речовин розділяють на складові послідовною конденсацією газів при їх стисненні та пониженні температури і за допомогою мембран.

4. Агломерація та грудкування. Дуже подрібнена сировина має зменшену газопроникність, що позначається на техніко-економічних

показниках обладнання. Крім того вона виноситься з печей чи реакторів і забруднює довкілля. Щоб запобігти цьому дрібну сировину агломерують або грудкують.

Агломерацією (від лат. «*agglomer*» – нагромаджую, приєдную) називають спікання дрібних порошкових речовин, непридатних для використання у грудки оптимального розміру.

Під час спікання сировину продувають повітрям, завдяки чому продукція стає пористою, її називають **агломератом**.

При агломерації залізних руд до складу шихти входять подрібнена залізна руда, кокс, флюс (вапняк) та вода. Отриману масу опікають за температури 1500°C на агломераційному стрічковому конвеєрі. Під час спікання шихта очищується від сірки (на 85-90%) й арсену; частково відновлюється залізо. Отриману продукцію називають **офлюсованим агломератом**.

Використання офлюсованого агломерату для виробництва чавуну спрощує ведення технологічного процесу, підвищує продуктивність доменної печі

Грудкуванням називають виготовлення грудок з подрібненої руди, пілу, невеликої кількості глини або вапняку та води з наступним висушуванням та випалюванням.

Це новий прогресивний спосіб підготовки сировини у чорній металургії, який поліпшує якість продукції та полегшує процес отримання чавуну та сталі.

Подрібнену руду, піл і глину або вапняк, які виконують роль зв'язки, перемішують, зволожують водою та подають в обертовий пристрій, який називають **гранулятором**. У процесі обертання гранулятора шихта пересипається з одного місця на інше, злипається, утворюючи грудки діаметром 20–30 мм. Отримані грудки висушують за температури 200–400°C і випалюють в печах за температури 1200–1400°C для надання їм міцності. Грудки випалюють у відновній атмосфері, яка частково відновлює оксиди заліза. Використання грудок при виробництві чавуну збільшує продуктивність доменної печі.

2.6. Якість сировини та її вплив на якість продукції

Якість сировини зумовлюється сукупністю її фізичних, механічних, хімічних і технологічних властивостей.

Вибір і якість сировини визначають режим роботи та продуктивність обладнання, впливають на якість і собівартість продукції. Так, для виробництва чавуну використовують руди з різним вмістом заліза. У разі великого вмісту заліза з руди зменшуються затрати на підготовку руди до переробки та витрата палива (коксу або природного чи іншого газу), зростає продуктивність доменної печі і навпаки, якщо вміст заліза малий, то збільшуються затрати на підготовку руди та витрати палива і зменшується продуктивність печі. При використанні руд з великим вмістом домішок (фосфор, сірка та інші) і породи, збільшуються витрати палива, флюсу, зменшується продуктивність печі та погіршується якість чавуну.

У процесі виробництва сірчаної кислоти використовують сірку, сірчисті мінерали та викиди газів кольорової металургії тощо. Кислоту найліпшої якості отримують із сірки.

Для виготовлення якісної продукції необхідно дотримуватися таких вимог: *якісна сировина та паливо; досконале обладнання* (агрегати, верстати, печі, апарати тощо) та *відповідна повітряна технологія*. Усі ці вимоги взаємопов'язані.

2.7. Раціональне використання сировини

Аналіз роботи підприємства показує, що економіка виробництва залежить від раціонального (лат. «*rationalis*» – розумний) та комплексного використання сировини.

Відомо кілька шляхів раціонального використання сировини. Найважливішими з них є належний вибір сировини, добре збагачення, комплексне перероблення та максимальне використання відходів.

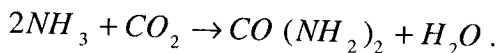
Вибір сировини визначає тип технологічного обладнання, тривалість її переробки та впливає на техніко-економічні показники роботи підприємства. Сучасні технології дають змогу одну і ту ж саму продукцію виробляти з різних видів сировини. Наприклад, деякі деталі для машин виготовляють з металів, пластмас; сірчану кислоту виробляють із сірки, сірчистих мінералів і викидних газів кольорової металургії.

Собівартість сировини визначає собівартість продукції. Великі темпи зростання виробництва різної продукції збіднюють поклади мінеральної сировини. У багатьох випадках експлуатуються родовища корисних копалин з мізерним вмістом потрібного елемента або

родовища, які залягають дуже глибоко. Внаслідок цього збільшуються затрати на добування, підготовку та транспортування сировини до місця переробки. Саме тому дуже важливо повністю використовувати мінеральну сировину: вилучати всі її компоненти та використовувати відходи. Такий підхід до використання мінеральної сировини забезпечує отримання найбільшого економічного ефекту з найменшим забрудненням довкілля.

Комплексне використання сировини застосовують у процесі переробки твердих видів палива, нафти, руд кольорових металів, рослинної та тваринної сировини тощо. Так, при переробці руди кольорових металів, отримують кадмій, індій, селен, телур, реній та ін., а з викидних газів виробляють сірчану кислоту.

До комплексного використання сировини залучають одразу кілька підприємств. Наприклад, при конверсії природного газу разом з воднем, який потрібний для синтезу амоніаку, отримують діоксид вуглецю, який не використовується у виробництві амоніаку, тому виробництво амоніаку суміщають із виробництвом карбаміду (сечовини). Для виробництва карбаміду використовують діоксид вуглецю:



При комплексному використанні сировини зменшуються витрати на транспортування, не забруднюються довкілля та зменшується собівартість основної продукції.



ПАЛИВО Й ЕНЕРГІЯ

3.1. Паливо

Паливом називають речовини, у процесі згорання (або поділу чи з'єднання ядер) яких виділяється значна кількість теплоти.

Віддавна паливом були дрова, солома, деревне вугілля та ін. Пізніше до них долучили викопне вугілля, природний газ, мазут, горючі сланці та ін. Тепер слово «паливо» вживають і коли йдеться про речовини, які використовуються в ядерних реакторах на атомних електростанціях і в ракетних двигунах. Відповідно кажуть ядерне і ракетне паливо.

1. **За походженням** паливо поділяють на природне і штучне.

До **природного палива** належать, наприклад, дрова, торф, вугілля, горючі сланці тощо.

Штучне паливо отримують, переробленням природного палива. Так, у процесі нагрівання викопного вугілля до високої температури без доступу повітря отримують кокс, з нафти вилучають мазут тощо. З твердих споживчих відходів, які збираються в очисних спорудах міської каналізації, а також із сільськогосподарських та інших відходів отримують біогаз. Основними складовими біогазу є CH_4 (92–94%) і CO_2 (4–7%). Біогаз є паливом для комунальних потреб і транспорту.

2. **За агрегатним станом** паливо поділяють на **тверде** (викопне вугілля, торф, горючі сланці, дрова), **рідинне** (бензин, мазут, дизельне паливо тощо) та **газове** (природний газ, водень тощо).

Властивості палива залежать в основному від його хімічного складу. Основним елементом більшості видів палива є вуглець. У різних видах палива вміст вуглецю різний – від 30 до 95%. До складу палива входять також водень, кисень, азот, сірка, попіл або жухелиця та інші речовини.

Цінність палива визначається кількістю теплоти, яка виділяється в разі повного його згоряння. Так, у процесі спалювання 1 кг дров виділяється 10,2 МДж/кг теплоти, кам'яного вугілля – 22 МДж/кг, бензину – 44 МДж/кг. Чим більше вуглецю та водню міститься в паливі, тим більше теплоти виділяється в процесі його згоряння.

Під час спалювання палива утворюються тверді та газові речовини. Тверді – це попіл, жухелиця, сажа. Газові – оксиди вуглецю, азоту й сірки тощо. Газові і частково тверді продукти згорання палива через димарі викидаються в атмосферу. Щорічно в атмосферу викидаються сотні мільйонів тонн різних шкідливих речовин. Для захисту довкілля від забруднення речовинами, які утворюються в процесі згорання палива використовують різні фільтри та пристрої, які очищують або знешкоджують шкідливі викиди. Охорона довкілля від забруднення стала одним з найважливіших завдань людства. Перспективним видом палива, яке не забруднює довкілля, добре зберігається та транспортується, є водень. В процесі згорання водню виділяється водяна пара.

3.2. Енергія, її види та джерела

Усі технологічні процеси пов'язані із затратами або виділенням енергії.

Енергія потрібна для транспортування сировини і готової продукції, для підготовки сировини до переробки (подрібнення, висушування, фільтрування тощо), для виготовлення продукції.

Різні підприємства потребують різних видів енергії.

§ 3.2.1. Види енергії

При виготовленні продукції використовують енергію сонячну, світлову, теплову, хімічну, електричну, механічну, ядерну тощо.

1. Сонячна енергія. Від Сонця на Землю йде тепловий потік, енергія якого становить $1,57 \cdot 10^{18}$ кВт · год. на рік. Цю енергію можна використати для нагрівання повітря, води, приміщення, висушування сировини, напівготової та готової продукції, опріснення морської води тощо. Її можна перетворити на електричну енергію.

2. Енергія світла. Цей вид енергії набуває все більшого значення у життєдіяльності людини. Її використовують для створення фотоелементів, фотоелектричних датчиків, автоматів тощо. За допомогою цього виду енергії реалізується велика кількість фотохімічних процесів у хімічній технології.

3. Теплова енергія. Її отримують в ході спалювання палива. Вона здавна використовується для обігрівання приміщень, отримання металів і сплавів, висушування сировини та продукції тощо. Теплову енергію перетворюють на електричну. Роль теплоносіїв виконують пінні гази, водяна пара, вода та інші речовини.

4. Хімічна енергія. Вона виділяється в процесі екзотермічних реакцій. Хімічна енергія є джерелом теплоти для нагрівання сировини. Її використовують для проведення ендотермічних процесів. Наприклад, у процесі виробництва амоніачної селітри виділяється велика кількість теплоти, яку використовують для випаровування надлишку води та кристалізації амоніачної селітри. Хімічна енергія в гальванічних елементах і акумуляторах перетворюється на електричну.

5. Електрична енергія. Її виробляють на електростанціях. Цей вид енергії використовують для проведення електрохімічних (електроліз розчинів і розплавів) та електротермічних (нагрівання, плавлення тощо) процесів. У промисловості електричну енергію використовують в електрофільтрах для очищення газів від пилу, туману тощо. Електричну енергію використовують для освітлення й отримання механічної та теплової енергії.

6. Механічна енергія. Вона потрібна головним чином для подрібнення, розмелювання та перемішування сировини, роботи компресорів, вентиляторів, а також для транспортування сировини, продукції тощо.

7. Ядерна енергія. Цей вид енергії виділяється при поділі або з'єднанні ядер. Вміло зібрану енергію використовують на атомних електростанціях для отримання електричної енергії.

§ 3.2.2. Джерела електричної енергії

Для отримання електричної енергії використовують енергію води, вітру, Сонця тощо.

Ці види енергії на електростанціях перетворюють на електричну енергію.

Електростанцією називають підприємство, на якому виробляють електричну енергію.

Назва електростанції походить від назви виду енергії, яку перетворюють на електричну. Наприклад, якщо перетворюють енергію води, то електростанцію називають гідро- або водяною електростанцією, якщо вітру, то – вітровою, якщо Сонця, то – сонячною, якщо палива, то – тепловою тощо.

1. Гідроелектростанція. *Гідроелектростанцією (ГЕС) називають гідротехнічну споруду, призначену для перетворення енергії потоку води на електричну.*

Складовими частинами ГЕС є гребля, яка затримує воду у водосховищі, гідротурбіна та електричний генератор. Енергія води, яка падає з висоти понад 200 м на лопаті турбіни в електричному генераторі, перетворюється на електричну енергію.

Крім ГЕС будують гідроакumuлюючі електростанції (ГАЕС), які вночі нагромаджують електроенергію, що виробляють інші електростанції, а в час «пік» віддають її. Перша ГАЕС побудована на Дніпрі поблизу Києва.

Недоліком великих ГЕС є створення штучних морів, які забирають великі площі часто родючих земель і порушують природну рівновагу.

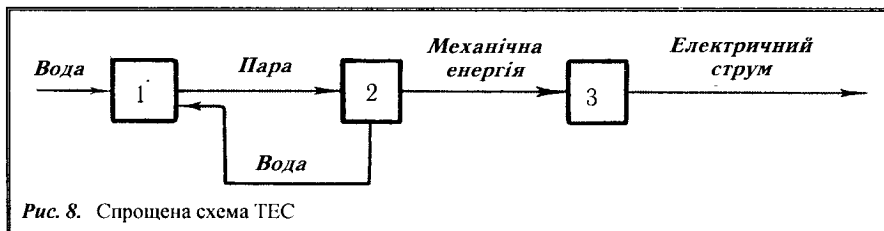
2. Вітрова електростанція. Запаси вітрової енергії безмежні. Першу в світі вітрову електростанцію (ВЕС) споруджено в 1931 р. в Криму. Її потужність – 100 кВт. Дослідження останніх років показали, що вартість виробленої електричної енергії на вітрових електростанціях нижча ніж на інших. Коефіцієнт корисної дії сучасних вітровагунів досягає 45%.

Складовою частиною ВЕС є вітрове колесо, яке обертається під дією сили вітру. Це колесо розташоване на валу, який передає обертання колеса електричному генератору, де виробляється електрична енергія.

Якщо на ГЕС і ВЕС енергію води та вітру безпосередньо перетворюють на електричну, то на всіх інших електростанціях спочатку отримують пару або газ, а вже потім електричну енергію.

3. Теплова електростанція. У наш час теплові електростанції (ТЕС) є головним джерелом електроенергії. Дія ТЕС ґрунтується на перетворенні теплової енергії водяної пари або газу на механічну енергію обертання парової або газової турбіни, а потім за допомогою електричного генератора – на електричну. У процесі такого подвійного перетворення багато енергії втрачається.

Основні частини ТЕС (рис. 8): котельня *1*, парова турбіна *2* та генератор електричного струму *3*. У котельні отримують водяну пару. Для отримання водяної пари у печі згоряє паливо. Теплота, що виділяється при горінні палива, нагріває воду, яка перетворюється на пару. Пару під великим тиском спрямовують в парову турбіну *2* – головну частину ТЕС. У турбіні пара розширюється, тиск падає й енергія пари перетворюється на механічну енергію. Парова турбіна приводить в рух ротор генератора *3*, який виробляє електричну енергію (струм).



Теплоелектроцентрально. У великих містах будують теплоелектроцентралі (ТЕЦ).

Теплоелектроцентраллю називають *теплову електростанцію*, яка виробляє не лише електричну енергію, а й теплову у вигляді гарячої води та пари.

На ТЕЦ відпрацьовану пару, яка ще має досить великий запас теплової енергії, з парової турбіни напрямляють до споживача і на станцію не повертають. Це один шлях використання теплової енергії відпрацьованої пари. Існує також інший: пара віддає свою теплоту воді в теплообміннику і вже нагріта вода надходить до споживача, а пару повертають назад у систему. Пару від ТЕЦ передають на кілька кілометрів, а гарячу воду – на кілька десятків кілометрів (30 км і більше).

Використання теплової енергії відпрацьованої пари підвищує коефіцієнт корисної дії станції на 50-60%.

Теплоелектроцентралі забезпечують теплом і гарячою водою житлові та громадські будівлі, а також промислові підприємства.

Теплові електростанції потребують великої кількості палива (кам'яного вугілля тощо), при згорянні якого виділяються шкідливі речовини, які забруднюють довкілля. Ці електростанції потребують очисних споруд – фільтрів.

4. Сонячна електростанція. Для отримання водяної пари на сонячній електростанції (СЕС) воду нагрівають енергією Сонця. Першу СЕС збудовано в Криму. Її потужність – 5 МВт. Висота центральної

вежі СЕС разом із парогенератором – 89 м. На висоті 78 м поміщено казан, на який подають сонячну енергію дзеркальні геліостати. Площа всіх дзеркал дорівнює 40000 м^2 . Пара, утворена в казані в процесі нагрівання води, має температуру 225°C і тиск 2,6 МПа. Цих параметрів досить для руху турбіни, а з нею і ротора генератора, який завершує цикл перетворення сонячної енергії на електричну. Кожне дзеркало обертається навколо вертикальної та горизонтальної осей.

Сонячна електростанція не забруднює довкілля, тому за нею майбутнє.

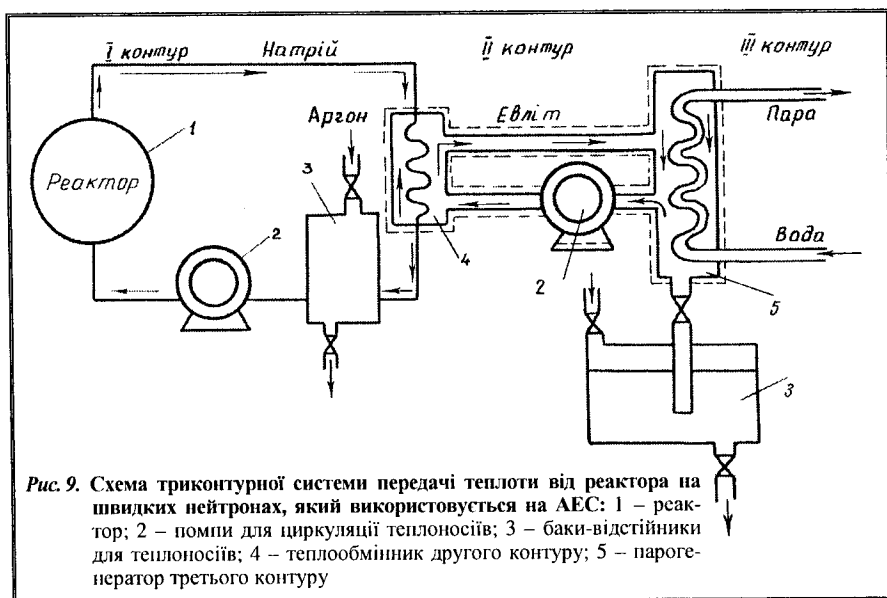
5. Атомна електростанція. Якщо атоми урану бомбардувати нейтронами, то з кожного ядра утвориться по два осколки і кілька нейтронів. Нейтрони, вдаряючись об інші ядра, спричиняють ланцюгову реакцію поділу нових ядер. Під час поділу ядер енергія зв'язку переходить у кінетичну енергію осколків і виділяється у вигляді теплоти, коли осколки гальмуються в речовинах. Цю вміло зібрану теплоту використовують для нагрівання води й утворення водяної пари, яка приводить в рух турбіну.

Для функціонування електростанції, на якій для нагрівання води й утворення пари використовується ядерна енергія, потрібно мати паливо (уран, плутоній), сповільнювач нейтронів (легка або важка вода, графіт, берилій), теплоносії для відведення теплоти, конструкційні матеріали, органи регулювання ланцюгової реакції (рухомі стрижні з матеріалу, який поглинає нейтрони), систему захисту від випромінювання, систему циркуляції теплоносіїв і перетворення енергії та ін.

Принцип роботи АЕС. Теплоту з ядерного реактора відводять за допомогою теплоносія, який помпами переганяють через активну зону (простір, де перебуває ядерне паливо). Теплоносієм використовують розплавлений натрій, воду тощо. Цю замкнену систему називають *першим контуром*.

У теплообміннику теплоносії першого контуру віддає теплоту воді, яку переганяють у *другому контурі*. Вода, нагрівшись до кипіння, перетворюється на пару. Утворену пару спрямовують у турбіну або використовують для обігрівання будівель і промислових підприємств.

Недоліком двоконтурної системи відведення теплоти від зони реакції є близьке «сусідство» теплоносіїв – натрію і води – у разі руйнування другого контуру. Вода і натрій взаємодіють з виділенням водню та великої кількості теплоти. Аварійна зупинка реактора неминуча.



У наш час у деяких країнах світу вже працюють атомні електростанції з реакторами на швидких нейтронах (РШН). Паливом у цих реакторах використовують уран-238. Традиційно теплоту від реактора на швидких нейтронах відбирають за допомогою трьох циркуляційних систем (трьох контурів) (рис. 9): перша та друга системи наповнені натрієм, третя – водою.

Другий контур упроваджено для підвищення надійності та безпеки реактора, гарантування його роботи навіть у разі неполадок у парогенераторі. Парогенератор складається з 20 тисяч трубок, усередині яких під тиском циркулює вода (перегріта пара); назустріч воді між трубками тече розплавлений натрій. Натрій через стінки трубок віддає свою теплоту воді. Вода, нагріваючись, перетворюється на пару, яку спрямовують у турбіну. Порухення герметичності хоча б в одній із трубок спричиняє вихід води з контуру та взаємодію її з натрієм, а потім вихід з ладу парогенератора. Має місце аварія.

На сьогодні натрій не має рівної собі заміни в першому контурі. Він є найкращим теплоносієм у реакторах на швидких нейтронах. Щоб уникнути «сусідства» натрію з водою вчені запропонували замінити натрій у другому контурі на інертний відносно води та натрію теплоносієм. Таким теплоносієм є евтектичний сплав літєвих сполук,

який скорочено називають *евлітом*. На відміну від натрію евліт не здатний до самозаймання та вибуху. Впровадження евліту теплоносієм в другому контурі спрощує конструкцію парогенератора, робить її дешевшою, безпечнішою та полегшує ремонтні роботи.

3.3. *Раціональне використання енергії*

Переробні, обробні та інші галузі промисловості мають потребу в усіх видах енергії. Показником енергомісткості того чи іншого технологічного процесу є витрата енергії на одиницю отриманої продукції (наприклад, 1 т, 1 м). Цей показник на різних підприємствах різний, навіть коли це однакова продукція. Дуже енергомісткими є продукція чорної, кольорової металургії та електрохімічних підприємств. Незначною енергомісткістю характеризуються біохімічні, деякі фізико-хімічні (наприклад, адсорбція, мембранізація), хімічні (отримання деяких видів мінеральних добрив) та інші процеси. Наприклад, виробництво 1 т алюмінію потребує майже 20000 кВт · год. електроенергії, 1 т магнію 18000 кВт · год, 1 т фосфору у середньому 15000 кВт · год., 1 т амоніачної селітри – 10 кВт · год.

Чим менше енергії витрачається на виробництво одиниці продукції, тим менша собівартість продукції і, навпаки, у процесі виробництва металів, фосфору, хлору – це одна з головних статей затрат.

Зменшити енергомісткість продукції можна різними шляхами: використанням вторинних енергоресурсів, удосконаленням технологічного обладнання, заміною енергомістких технологічних процесів процесами незначної енергомісткості, кращим підготовленням сировини до перероблення тощо.

1. Використання вторинних енергоресурсів. Продукція, що виходить з реактора, у більшості випадків, нагріта до високої температури. Теплоту продукції можна використати для попереднього нагрівання сировини, яка надійде в той самий реактор. Теплообмін між нагрітою продукцією і холодною сировиною відбувається в агрегатах, які називають *рекуператорами, регенераторами, теплообмінниками*.

Рекуператором (від лат. «*recuperator*» – той, що отримує назад) називають *теплообмінний апарат, в якому обмінюються теплотою продукція та сировина*.

Обмінювання теплотою відбувається через стінки апарата (рекуператора), в якому сировина і продукція рухаються назустріч. На-

приклад, у процесі виробництва сірчаної кислоти: газ SO_2 , нагрівають теплотою, яку віддає йому у рекуператорі газ SO_3 , що виходить із контактного апарата.

Регенератором (від лат. «*regenero*» – відновлюю) називають теплообмінний апарат, який складається з одної або кількох камер, викладених вогнетривкою цеглою, для вловлювання та використання теплоти вихідних газів.

Регенератори використовують для вловлювання і використання теплоти газів. Наприклад, у мартенівських печах регенератори служать для нагрівання газового палива та повітря теплотою пічних газів, які прямують до димаря. Спочатку пічні гази нагрівають камеру викладену вогнетривкою цеглою до температури 1100–1200°C, а потім холодне повітря та газове паливо нагріваються теплотою, яку вони забирають у вогнетривів, і так по чергово. Щоб наблизити періодичний процес до безперервного, потрібно мати два–три регенератори.

Теплоту отриманої продукції використовують також для висушування, випаровування, дистиляції, опалювання та інших потреб підприємства.

2. Удосконалення обладнання. Через недосконалість обладнання велика кількість енергетичних ресурсів втрачається або використовується нерационально. У кожному технологічному процесі існують різні шляхи вдосконалення технологічного обладнання та раціонального використання вторинних енергоресурсів. Так, у ході електрохімічних процесів витрати електроенергії зменшуються, якщо вдосконалити апарати, контакти підведення електричної енергії та зменшити відстань між електродами. У дугових печах зменшення витрат електроенергії досягається збільшенням кількості електродів і поліпшенням конструкції електричних печей. Раціональніше використовується теплота газів у мартенівських двованних печах, ніж в однованних.

3. Замінення енергомістких технологічних процесів ощадливими процесами. Зменшити енергомісткість технологічних процесів можна заміною їх на каталізні чи інші процеси, для виконання яких потрібні менші витрати енергії або застосуванням ультразвуку, магнітного поля, вакууму тощо. Наприклад, високотемпературний крекінг нафтопродуктів замінили на каталізний.

Частина II

Технологічні процеси

Розділ 4. ВИРОБНИЧИЙ І ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕСИ

Розділ 5. ТЕРМІЧНІ ПРОЦЕСИ

Розділ 6. БАРОМЕТРИЧНІ ПРОЦЕСИ

Розділ 7. КАТАЛІЗНІ ПРОЦЕСИ

Розділ 8. ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ

Розділ 9. БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ

Розділ 10. ПЛАЗМОВІ ПРОЦЕСИ

Розділ 11. РАДІАЦІЙНО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ

Розділ 12. ФОТОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ

Розділ 13. ЛАЗЕРНІ ПРОЦЕСИ

Розділ 14. УЛЬТРАЗВУКОВІ ПРОЦЕСИ

Розділ 15. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ



ВИРОБНИЧИЙ І ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕСИ

4.1. *Поняття про виробничий і технологічний процеси*

Кожне підприємство (копальня, фабрика та ін.) є складною виробничою системою, яка призначена для виготовлення певного виду продукції. Так, кар'єри призначені для добування піску, глини, бурого вугілля; копальні — для добування кам'яного вугілля, солі, руди; фабрики — для шиття одягу, заводи — для виготовлення деталей, а потім з них машин тощо.

Отримання кожного виду продукції є результатом певного виробничого процесу.

Виробничим процесом називають сукупність дій, пов'язаних з прогнозуванням, науково-технічними і конструкторськими розробками, проектуванням, транспортуванням і зберіганням сировини, виготовленням проміжної (напівпродукції) та готової продукції, її випробуванням, пакуванням, обліком та зберіганням, ремонтом обладнання тощо.

Як бачимо, до складу виробничого процесу входить виготовлення проміжної та готової продукції. А це належить до технологічного процесу. Отже технологічний процес є складовою частиною виробничого процесу.

Технологічним процесом називають послідовний набір операцій, в ході кожної з яких із сировини отримують проміжну або готову продукцію з певними властивостями.

У ході цих операцій змінюються форма, розміри або властивості сировини. Внаслідок цих змін сировина перетворюється на напів- або готову продукцію.

Кожний технологічний процес складається з дрібніших технологічних процесів або є частиною більш складного. Наприклад, техноло-

гічний процес складання автомобільного двигуна, з одного боку, можна поділити на дрібніші, які відрізняються один від одного: технологічні процеси складання шатунно-поршневої групи, блока циліндрів або коробки зміни швидкостей; з іншого боку, технологічний процес складання двигуна є частиною технологічного процесу складання автомобіля цілому.

Технологічні процеси постійно вдосконалюють. Це зумовлено тим, що продукцію, яку виробляють на підприємстві, періодично поліпшують. Крім того, наука, техніка та технологія пропонують нові, ефективніші способи обробки та переробки сировини, нове — продуктивніше обладнання та інструменти.

Для виконання технологічного процесу, потрібно обладнати місце праці (роботи).

Місцем праці (роботи) називають відповідно обладнану площу в цеху, на дільниці чи на іншій території або біля устаткування, яка призначена для виконання певного технологічного процесу одним або групою працівників (робітників).

Місце праці забезпечують обладнанням, контейнерами (від англ. «contain» — вміщувати) чи полицями для зберігання сировини та готової продукції.

4.2. Складові технологічного процесу

Технологічний процес має складну структуру. Його складовими є операції, кожен з яких розглядають як окремий технологічний процес.

§ 4.2.1. Технологічна операція та її складові

Технологічною операцією називають закінчену частину технологічного процесу, яку виконують на одному місці праці (роботи) один

або кілька працівників (робітників) над одним або кількома об'єктами, які одночасно обробляються.

Об'єктом можуть бути глина, руда, буряки, волокна, тканина, заготівка тощо. Тобто сировина.

Під час обробки заготівки на токарному верстаті операція точіння охоплює всі дії робітника (токаря) та рухи вузлів верстата, які виконуються в процесі обробки поверхні заготівки до моменту зняття її з верстата та переходу до оброблення іншої заготівки.

Деякі трудомісткі операції виконує група працівників (робітників).

Назви операцій походять від способу обробки об'єкта. Наприклад, під час механічної обробки заготовок різанням операції називають так: точіння, свердління, нарізання різі тощо.

Якщо об'єктом обробки є мінеральна сировина, наприклад, руда, то подрібнення руди є операцією.

За операціями визначають трудомісткість технологічного процесу, потреби у виконавцях, інструментах, обладнанні тощо.

Технологічні операції поділяють на окремі складові. Найповніший набір складових мають технологічні операції різання, до яких належить точіння. Під час виготовлення деталі різанням на токарному верстаті складовими операції точіння є встановлення, технологічний і допоміжний переходи тощо. Їх і розглянемо.

1. Встановлення. *Встановленням називають частину технологічної операції, яку виконують під час одного закріплення заготовки.*

Операцію можна виконати за одне або кілька встановлень. Наприклад, вал має два торці. Відцентрувати обидва торці вала можна на одно- та двосторонньому центрувальному верстаті: на першому верстаті центрування виконують за два встановлення, а на другому – за одне. Встановлення поділяють на позиції.

Позицією називають певне положення заготовки на верстаті відносно різального інструмента.

Наприклад, заготовку обробляють на багатошпиндельному токарному верстаті-автоматі. При кожному повороті шпиндельного барабана заготовка займає нову позицію.

2. Технологічний перехід. *Технологічним переходом називають частину технологічної операції, в процесі виконання якої обробляють одну поверхню заготовки одним інструментом за незмінного режиму роботи верстата.*

При виконанні технологічного переходу на верстатах з програмним керуванням режим роботи іноді змінюється без втручання робітника, тобто автоматично.

Технологічний перехід складається з проходу (робочого ходу) та марноходу.

а) проходом називають закінчену частину технологічного переходу, в процесі виконання якого інструмент один раз переміщується відносно заготовки і спричиняє зміну її форми, розмірів і шорсткості поверхні.

Наприклад, у процесі точіння інструментом є різець, який переміщується відносно заготовки справа наліво і зрізує з неї шар металу, тим самим надає їй нової форми, розмірів і шорсткості поверхні. Один перехід може складатися з кількох проходів.

б) ***Марноходом** називають закінчену частину технологічного переходу, в процесі виконання якого інструмент переміщується відносно заготовки, але не спричиняє зміну її форми, розмірів, шорсткості поверхні, проте є необхідним для виконання проходу.*

Так, при точінні різець після зрізання шару металу знов повертається до початкового положення з метою виконання наступного проходу.

3. **Допоміжний перехід.** *Допоміжним переходом називають закінчену частину технологічної операції, яка складатися з дій робітника і (або) обладнання, які не змінюють форму, розміри і шорсткість поверхні заготовки, але необхідні для виконання технологічного переходу.*

Допоміжні переходи дуже різні. Вони пов'язані з установленням заготовки, зміною інструмента, налагодженням верстата на необхідний режим роботи, зняттям обробленої заготовки тощо. Наприклад, свердління отвору у валі складається з таких допоміжних переходів: взяти вал і встановити в пристрій; закріпити вал; увімкнути верстат; підвести свердло до вала; увімкнути подачу; вимкнути подачу; відвести шпиндель у вихідне положення; зупинити верстат; звільнити вал від пристрою; взяти вал і покласти його на полицю.

Кожний технологічний процес складається з окремих операцій. Проте, **слід пам'ятати**, що технологічні операції не завжди матимуть повний набір поданих вище складових. Обов'язковою складовою будь-якої технологічної операції є ***прохід***, який спричиняє зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні або властивостей оброблюваного об'єкта. Так, у процесі гартування (технологічна операція) вироби набувають твердості; нагрівання чавуну (технологічна операція) призводить до вигорання вуглецю, що спричиняє зміну його властивостей тощо.

У розрахунку норм часу на виконання технологічної операції нормується також час на виконання всіх її складових. Чим менший час виконання складових операцій, тим кращий результат виробництва, тобто ліпшими будуть техніко-економічні показники: більша продуктивність обладнання і менша собівартість продукції.

§ 4.2.2. Шляхи скорочення часу на виконання технологічної операції

Складові технологічної операції можна об'єднати у дві групи.

До *першої групи* відноситься **прохід**. Ця складова операції спри-

чиняє зміну форми, розмірів, шорсткість поверхні або властивості оброблюваного об'єкта.

До *другої групи* відносяться ті складові, що таких змін не спричиняють. Це встановлення, марнохід, допоміжний перехід тощо.

Скоротити затрати часу на виконання складових операцій можна двома шляхами: запровадженням механізації та автоматизації; зміною технології виготовлення продукції. Розглянемо їх зокрема.

1. Запровадження механізації та автоматизації. Скоротити затрати часу на виконання усіх складових технологічної операції можна введенням додаткових механізмів, які прискорюють рух елементів обладнання, або заміною механізмів на потужніші. Ці заходи у більшості випадків ще й вивільняють або полегшують працю робітника, який бере участь у виконанні технологічного процесу. Наприклад, заміна у швейних машинах ручного приводу на ніжний, а потім електричний призвела до скорочення часу виконання технологічного переходу й полегшила працю швачки. Впровадження у токарно-револьверному верстаті механізмів автоматичного керування складовими технологічної операції, а також введення допоміжних силових механізмів для прискорення рухів елементів обладнання спричинили переведення верстата на автоматичний режим роботи, унаслідок чого вивільнився робітник (токар).

Уведення додаткових механізмів в обладнання спричинило збільшення маси обладнання в технологічному процесі, а відповідно зросла частка уречевленої праці в одиниці продукції. Частка затраченої живої праці в продукції зменшилася. Збільшилася продуктивність живої праці за рахунок вивільнення працівника з технологічного процесу та скорочення проміжків часу між проходами.

2. Зміна технології виготовлення продукції. Для цього необхідно вивчити властивості досліджуваного об'єкта і використати ті, які раніше не бралися до уваги або були невідомі. Цей шлях потребує грошових витрат на науково-дослідні роботи та впровадження отриманих результатів у виробництво. Крім того він потребує зміни технологічного обладнання, але не обов'язково збільшиться кількість

механізмів, їх маса чи зростає витрата енергії, і як наслідок збільшиться вартість продукції. Наприклад, перехід від обробки заготовок різанням до виготовлення їх литтям, де використовуються ливарні властивості сплавів, вимагає принципово нового обладнання.

Використовуючи відповідні фізико-механічні властивості металів і сплавів, порошкова металургія дає можливість за короткий час виготовляти деталі точної форми та розмірів і значно зменшити відходи.

Економічний ефект отриманий від впровадження у виробництво результатів науково-дослідних робіт, що спричинили зміну технології виготовлення продукції, має перевищувати або дорівнювати ефекту, отриманому при впровадженні механізації та автоматизації.

4.3. Класифікація технологічних процесів

Технологічні процеси класифікуються за:

- ✓ властивостями сировини, які змінюються в процесі її переробки;
- ✓ агрегатним станом сировини;
- ✓ тепловим ефектом;
- ✓ напрямом руху сировинних і теплових потоків у агрегатах;
- ✓ способом організації процесу;
- ✓ кратністю обробки сировини;
- ✓ основними технологічними рушіями тощо.

Таке групування технологічних процесів дає можливість виявити їх характерні ознаки, загальні закономірності, переваги та недоліки, а також шляхи удосконалення.

§ 4.3.1. За властивостями сировини, які змінюються в процесі її перероблення

Сировина, з якої виготовляють продукцію має певні фізичні, механічні та хімічні властивості. Залежно від того, які

властивості сировини змінюються внаслідок її переробки на продукцію всі технологічні процеси поділяють на **фізичні, механічні та хімічні**. Такий поділ дещо умовний, оскільки не можна провести між ними чіткої межі. Проте такий поділ існує, оскільки полегшує вибір

найефективнішого способу перероблення сировини на відповідну напів- або готову продукцію.

1. Фізичні та механічні технологічні процеси. *Фізико-механічними називають такі технологічні процеси, в ході яких змінюють лише форма та фізико-механічні властивості сировини.*

На цих процесах ґрунтується добувна промисловість (за винятком деяких геотехнологічних способів добування корисних копалин), деревообробна промисловість, виготовлення з конструкційних матеріалів виробів литтям, тиском, різанням тощо. Ці процеси лежать в основі підготовки сировини до переробки, а також в основі розділення отриманої продукції на основну і побічну та відходи.

До фізико-механічних процесів належать *подрібнення, тепло- та масоперенесення.*

1. Подрібнення (див. Розділ 2, § 2.6).

2. Теплоперенесення. *Теплоперенесенням називають перенесення теплоти від більш нагрітого об'єкта до менш нагрітого.*

Об'єктом може бути сировина або продукція.

Теплота переноситься за допомогою теплопровідності, конвекції (лат. «*convectio*» – перенесення) та теплового випромінювання. Для проходження технологічного процесу сировину нагрівають (водяною парою, пічними газами, електричним струмом тощо) або охолоджують, продукцію охолоджують.

3. Масоперенесення. *Масоперенесенням називають перехід речовини з однієї фази в іншу.*

Найчастіше масоперенесення відбувається між фазами: газовою та рідинною, газовою та твердою, твердою та рідинною, а також між двома рідинними. Перенесення маси з однієї фази в іншу відбувається за рахунок різниці концентрацій речовин у цих фазах. Процес перенесення продовжується доти, поки не встановиться рівновага на межі фаз. Кількість речовини, яка переходить з однієї фази в іншу, залежить від різниці концентрацій речовин у цих фазах, тривалості процесу тощо. Підвищити ефективність масоперенесення можна збільшенням поверхонь контактуючих фаз, швидкості потоку тощо.

До масоперенесення належать абсорбція, адсорбція, дистиляція та ректифікація, кристалізація, висушування, мембранізація:

а) абсорбція. *Абсорбцією* (від лат. «*absorptio*» – поглинання) називають процес вбирання газу або пари усім об'ємом речовини.

Наприклад, хлороводень (газ) вбирається водою (рідина) з утворенням соляної кислоти.

Абсорбції властива вибірковість (селективність), тобто кожна газова чи парова речовина поглинається певною рідиною.

б) **адсорбція**. *Адсорбцією* (від лат. «*ad*» – до, в, при і «*sorbeo*» – поглинаю) називають процес поглинання одного або кількох компонентів, що перебувають у газовій або рідинній фазі, поверхнею твердих речовин.

Тверду речовину, яка поглинає гази або рідини, називають *адсорбентом*.

Механізм поглинання ґрунтується на теорії заповнення пор. Роль адсорбентів виконують дуже пористі тверді речовини, такі як активоване вугілля, алюмогелі, іонообмінні смоли тощо.

У технології адсорбцію використовують для очищення та висушування рідин, газів, розділення сумішей рідин і газів, виділення летких розчинників, освітлення розчинів, очищення води тощо. Адсорбцію використовують у харчовій, хімічній, нафтовій та інших промисловостях.

в) **дистиляція**. *Дистиляцією* (від лат. «*distillatio*» – стікання краплинами) називають розділення сумішей рідин на окремі складові частковим випаровуванням рідини з наступною конденсацією утвореної пари.

Якщо суміш рідин, які мають різну температуру кипіння нагріти до певної температури для часткового випаровування, а отриману пару конденсувати, то утворений конденсат матиме велику кількість рідини, що кипить за нижчої температури, а залишок збагатиться тією, що кипить за вищої. Дистиляцією не можна отримати чисті речовини. Вони завжди будуть забруднені речовинами, які киплять за вищої температури.

Для отримання чистих речовин рідину *багаторазово* випаровують і утворену пару конденсують. Такий спосіб розділення рідин називають *ректифікацією*. Ректифікацію проводять в реакторах безперервної дії, які називають *тарілковими ректифікаційними колонами*.

Дистиляцію та ректифікацію використовують у нафтопереробній, спиртовій, фармацевтичній та інших промисловостях (див. § 41.3).

г) **кристалізація**. *Кристалізацією* називають виділення твердої речовини у вигляді кристалів або кристалітів із розчинів чи розплавів.

Кристалізація починається з утворення центрів кристалізації, зародження яких залежить від температури розчину або розплаву, кон-

центрації розчину, швидкості перемішування розчину або розплаву тощо. Чим більше зародиться центрів кристалізації, тим дрібнішими будуть кристали або кристаліти і навпаки. Великі кристали чи кристаліти отримують у разі повільного їх росту без перемішування розчину чи розплаву. За таких умов кристалізації продуктивність агрегатів (кристалізаторів) невелика.

Для підвищення продуктивності кристалізаторів використовують охолодження, вакуумування тощо. Кристалізатори працюють періодично та безперервно. Кристалізатори безперервної дії продуктивніші, ніж періодичної.

Кристалізація лежить в основі виробництва мінеральних добрив, металів і сплавів, нанесення на поверхні виробів металевих покриттів, отримання відливків тощо (див. § 29.7).

Кристалізацію використовують у харчовій, хімічній, фармацевтичній, металургійній та інших промисловостях.

д) висушування. *Висушуванням називають процес вилучення вологи з різних за агрегатним станом речовин.*

Висушують гази, рідини та тверді речовини.

Висушування є природне і штучне.

Природне висушування відбувається під дією сонця, вітру, морозу.

Штучне висушування проводять відтисканням, пресуванням, адсорбцією, сублімацією тощо.

Найпоширенішим із цих способів є випаровування, при якому речовини нагрівають і волога випаровується. При випаровуванні витрачається велика кількість теплової енергії. Економічнішими способами є фільтрування та центрифугування. Кінцеве висушування проводять у сушарнях безперервної (тунельні, з «псевдокиплячим шаром» та ін.) та періодичної (шафи, камерні печі тощо) дії. Найчастіше застосовують сушарні, які працюють за принципом «псевдокиплячого шару» (див. § 7.3.3).

Для поліпшення якості висушених речовин і збільшення продуктивності обладнання використовують вакуум, ультразвук, струми великої частоти та інші допоміжні чинники.

Швидкість висушування визначають кількістю вологи, яка випаровується з одиниці поверхні висушуваних речовин за одиницю часу.

Швидкість висушування залежить від природи висушуваної речовини, розміру її частинок, вмісту вологи у ній, температури, тиску тощо.

Висушування застосовують у процесі виробництва цукру, паперу, будівельних матеріалів (цегли, цементу та ін.), мінеральних добрив та іншої продукції.

е) **мембранізація.** *Мембранізацією називають розділення сумішей (газів або рідин) на складові або вилучення з них окремих складових за допомогою мембран.*

Мембрана (від лат. «*membrana*» – оболонка, перетинка) здатна пропускати одну або кілька складових суміші, а для інших складових прохід закритий.

Масоперенос залежить від селективності мембрани та розміру пор у ній, а також від дії зовнішніх чинників: електричне та магнітне поле, ультразвук тощо. Немає універсальних мембран. Кожний компонент із суміші вилучається за допомогою певної мембрани. За допомогою мембран очищують питну воду, опріснюють морську воду, розділяють повітря на окремі складові: водень, кисень, гелій тощо.

Мембрани використовують у мікробіології та медицині. У харчовій промисловості за допомогою мембран отримують якісний цукор, переробляють молоко з метою вилучення окремих складників молока тощо. У хімічній промисловості мембрани використовують для виробництва хлору, їдкого натрію та водню з водного розчину хлориду натрію. Перспективним та ефективним є використання мембран для очищення газових викидів підприємств хімічної та інших промисловостей й атомних електростанцій від шкідливих речовин.

II. Хімічні технологічні процеси. *Хімічними називають такі технологічні процеси, в ході яких змінюється хімічний склад і внутрішня будова речовини (сировини).*

Ці зміни відбуваються внаслідок хімічних реакцій між складовими сировини. Унаслідок хімічних реакцій утворюються основна та побічна продукція, а також відходи. Утворення побічної продукції та відходів зумовлене наявністю у сировині домішок. Наприклад, у процесі виробництва чавуну відбуваються хімічні реакції між сполуками заліза та інших хімічних елементів, які є у залізній руді, з одного боку, і оксидом вуглецю (CO), воднем (H_2), розжареним коксом (C), і флюсом ($CaCO_3$) – з іншого. Унаслідок цих реакцій утворюються чавун, шлак і доменний газ.

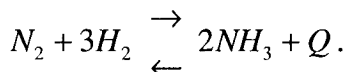
Хімічні процеси лежать основі виробництва металів і сплавів (міді, алюмінію, чавуну, сталі, тощо), будівельних матеріалів (вапна, цементу тощо), хімічної продукції (кислот, амоніаку тощо), нових видів сировини, палива, конструкційних матеріалів та ін.

Оцінюючи швидкість взаємодії реагуючих речовин, ураховують лише хімічні реакції, які впливають на якість і кількість основної продукції.

Хімічні реакції поділяють на оборотні і необоротні. **Необоротні реакції** на відміну від оборотних відбуваються лише в одному напрямі. Усі **оборотні реакції** прямують до рівноваги. За рівноваги швидкість прямої реакції дорівнює швидкості оборотної, а співвідношення між компонентами будуть незмінними доти, поки не зміняться зовнішні дії: температура, тиск, концентрація компонентів. У разі зміни однієї з них рівновага порушиться і між реагуючими речовинами відновляться хімічні реакції, які триватимуть доти, поки не настане рівновага за нових умов. Напрямок змін у хімічній системі, спричинений зміною зовнішніх дій, визначається принципом Ле-Шательє.

Згідно з принципом Ле-Шательє у системі, яку зовнішні дії вивели із стану рівноваги, відбуваються зміни, спрямовані на повернення системи до стану рівноваги.

Принцип Ле-Шательє дає змогу оцінити доцільність застосування зовнішньої дії для зрушення рівноваги у напрямі збільшення виходу основної продукції та поліпшення використання сировини. Для прикладу розглянемо оборотну реакцію, що лежить в основі виробництва амоніаку:



Ця реакція гомогенна і протікає з виділенням теплоти (+Q). Згідно з принципом Ле-Шательє, щоб змістити рівновагу вправо, тобто в напрямі виходу амоніаку, треба виконати такі дії:

- ✓ знизити температуру (охолоджувати), оскільки процес екзотермічний;
- ✓ підвищити тиск, оскільки у газовому середовищі процес відбувається із зменшенням об'єму (із 4-х молекул азотоводневої суміші утворюються дві молекули амоніаку);
- ✓ зменшити концентрацію амоніаку (безперервно виводити його із зони реакції);
- ✓ підвищити концентрацію компонентів сировини (азоту, водню), оскільки зростання концентрації одного з них збільшує ступінь перетворення іншого.

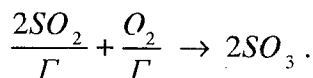
Отже, щоб змістити рівновагу вправо, треба підводити або відводити теплоту, змінювати тиск, збільшувати концентрацію реагуючих речовин, відводити із зони реакції утворену продукцію.

§ 4.3.2. За агрегатним станом складових сировини

За цією ознакою технологічні процеси поділяють на гомогенні та гетерогенні.

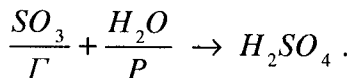
1. Гомогенні процеси. *Гомогенними* (гомо: від грецьк. – однаковий; ген: від грецьк. – створюю) називають такі технологічні процеси, коли всі реагуючі речовини (складові сировини) перебувають лише в одному агрегатному стані: твердому (*T*), рідинному (*P*) чи газовому (*G*).

Наприклад, окиснення діоксиду сірки: реагуючі речовини (діоксид сірки і кисень) перебувають у вигляді газу (*G*):



2. Гетерогенні процеси. *Гетерогенними* (гетеро: від грецьк. – інший; у складних словах означає різноманітний) називають такі технологічні процеси, коли всі реагуючі речовини (складові сировини) перебувають у різних агрегатних станах: газовому і рідинному, твердому і рідинному, твердому і газовому тощо.

Наприклад, виробництво сірчаної кислоти. Реагуючі речовини перебувають у вигляді газу (*G*) і рідини (*P*):



Проте, слід пам'ятати, що при гомогенних процесах швидкість реакції більша, ніж при гетерогенних, оскільки між реагуючими речовинами немає межі поділу фаз. Особливо швидко проходить реакція між реагуючими речовинами, коли вони перебувають у рідинному стані. Для прискорення реакції тверді реагуючі речовини (складові сировини) розплавляють або розчиняють. Такий перехід дає можливість зменшити кількість обладнання, працівників, собівартість продукції та раціональніше використовувати теплоту, що виділяється при проходженні процесу.

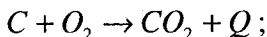
§ 4.3.3. За тепловим ефектом

У процесі перероблення сировини на продукцію тепла енергія може виділятися або поглинатися.

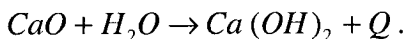
За цими ознаками технологічні процеси поділяють на екзотермічні та ендотермічні.

1. **Екзотермічні процеси.** *Екзотермічними* (від грецьк. – той, що віддає теплоту) називають такі технологічні процеси, коли у разі взаємодії реагуючих речовин (складових сировини) виділяється теплота ($+Q$).

Наприклад, горіння палива:



утворення нової хімічної сполуки:

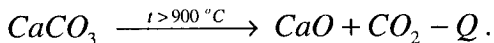


При екзотермічних процесах необхідно охолоджувати реактори, а це великі затрати. Охолодним середовищем найчастіше є вода та повітря. Наприклад, під час отримання чавуну в доменній печі останню охолоджують водою, яка циркулює в трубах, вмонтованих у корпусі печі.

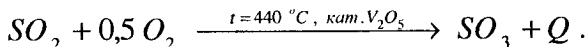
Теплоту, що виділяється під час проходження екзотермічних процесів, використовують для нагрівання сировини та для побутових потреб.

2. **Ендотермічні процеси.** *Ендотермічними* (від грецьк. – той, що вбирає теплоту) називають такі технологічні процеси, коли в разі взаємодії реагуючих речовин (складових сировини) вбирається теплота ($-Q$).

Для взаємодії речовин необхідно підводити теплоту в зону реакцій, тобто нагрівати агрегат або сировину, на що витрачається паливо, тепла або електрична енергія. Наприклад, випалення вапняку з метою отримання вапна:



Якщо сумістити екзо- і ендотермічні процеси, можна так відрегулювати швидкість руху теплових потоків, що кількість теплоти, яка виділяється під час реакцій, дорівнюватиме кількості теплоти, яка поглинається сировиною. Наприклад, окислення SO_2 у контактному апараті (агрегат) в процесі виробництва сірчаної кислоти супроводжується виділенням теплоти:



Ця теплота (Q) використовується для нагрівання зустрічного потоку холодного газу SO_2 , який надходить до контактного апарата для

окиснення. В процесі теплообміну між газами (SO_2 – нагрівається, SO_3 – охолоджується) в зоні окиснення SO_2 , постійно підтримується оптимальна температура технологічного процесу, яка становить $440^\circ C$.

§ 4.3.4. За напрямом руху сировинних і теплових потоків в агрегатах

За цією ознакою технологічні процеси поділяються на одnobічні, зустрічні, перехресні:

а) **одnobічні технологічні процеси.** *Одnobічними* називають технологічні процеси, в ході яких сировинний (С) та тепловий (Т) потоки (П) в агрегатах рухаються паралельно в одному напрямі (рис. 10, а).

Якщо між потоками поставити перегородку, то цей процес можна використати для теплообміну: коли більш нагрітий потік віддаватиме теплоту менш нагрітому. Відбувається перерозподіл теплоти. За відсутності перегородки такий напрям потоків можна використати для висушування продукції, змішування газів, рідин тощо.

б) **зустрічні технологічні процеси.** *Зустрічними* називають такі технологічні процеси, в ході яких сировинний (С) та тепловий (Т) потоки (П) рухаються назустріч один одному (рис. 10, б).

Зустрічні процеси ефективніші для обміну теплотою, ніж одnobічні. Крім того розмір теплообмінника зменшується, а це економить конструкційні матеріали. Зустрічні процеси вигідніші також тому, що забезпечують велику швидкість реакції з повнішою взаємодією реагуючих речовин. Прикладом використання цих процесів є виробництво кислот, мінеральних добрив, цукру тощо.

в) **перехресні технологічні процеси.** *Перехресними* називають такі технологічні процеси, в ході яких сировинний (С) та тепловий (Т) потоки (П) в агрегатах рухаються перпендикулярно один до одного (рис. 10, в).

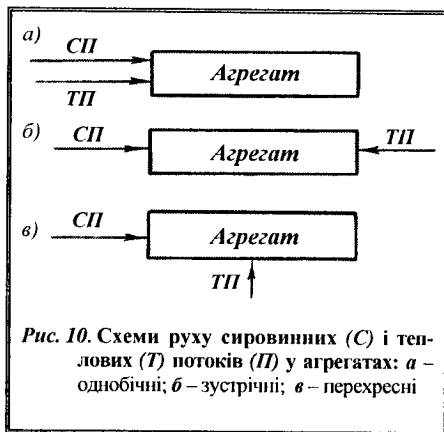
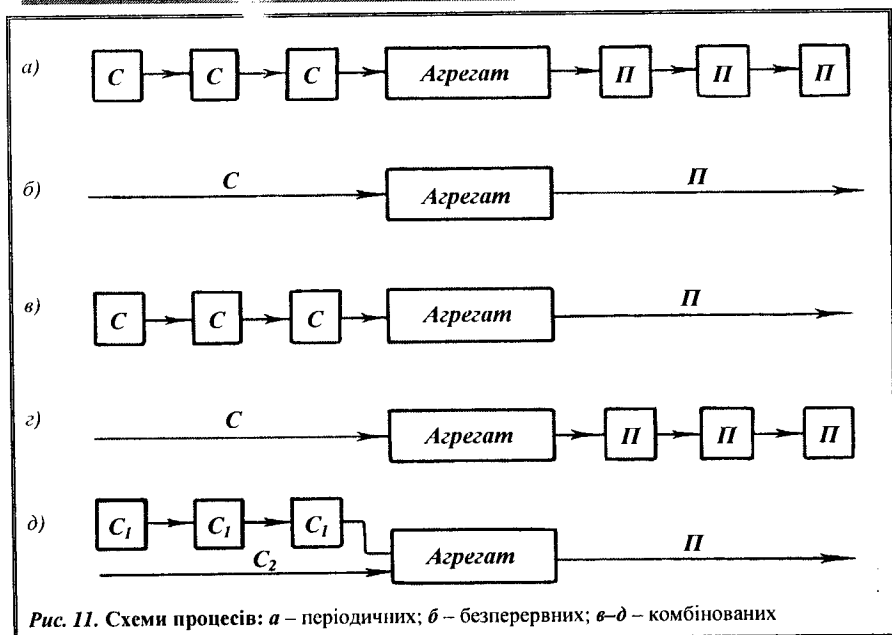


Рис. 10. Схеми руху сировинних (С) і теплових (Т) потоків (П) у агрегатах: а – одnobічні; б – зустрічні; в – перехресні

Ці процеси лежать в основі роботи печей із «псевдокиплячим шаром» і широко використовуються в процесі випалювання: сірчистих мінералів (виробництво сірчаної кислоти), грудок залізної руди (безчавунне виробництво сталі), вапняку (виробництво вапна) тощо.

§ 4.3.5. За способом організації процесу

За цією ознакою усі технологічні процеси поділяють на періодичні, безперервні та комбіновані:



а) періодичні технологічні процеси. У періодичних процесах сировину (C) подають в агрегат визначеними порціями через певні проміжки часу і так само після закінчення перероблення сировини виводять з агрегату продукцію ($П$) (рис. 11, а).

Для періодичних процесів властивим є зупинка агрегатів на час завантаження сировиною та вивантаження отриманої продукції. Це призводить до втрат робочого часу та великих затрат праці. Крім того нестабільність технологічного режиму (температура, тиск тощо) на початку і в кінці процесу ускладнює обслуговування агрегату, ускладнює його автоматизацію тощо. Саме тому продуктивність пе-

ріодичних процесів мала. Прикладом періодичних процесів є виробництво коксу в коксових батареях, виготовлення відливків у формах, заготовок у штампах тощо.

б) **безперервні технологічні процеси.** При безперервних процесах сировина (С) надходить до агрегату постійним безперервним потоком і після перетворення запланована продукція (П) безперервним потоком виходить з агрегату (рис. 11, б). Так триває аж до ремонту агрегату. Наприклад, розливання сталі на машинах безперервного розливання, виробництво цементу, виробництво сірчаної кислоти, тощо. Безперервні процеси порівняно з періодичними мають такі переваги:

- ✓ відсутність простою агрегатів на завантаження сировини і вивантаження готової продукції;
- ✓ стабільність технологічного режиму;
- ✓ велика продуктивність агрегатів;
- ✓ можливість впровадження автоматизації, що поліпшує техніко-економічні показники та якість продукції тощо.

Саме тому головною тенденцією у технології є заміна періодичних процесів на безперервні.

в) **комбіновані технологічні процеси.** Комбіновані процеси – це поєднання періодичних і безперервних процесів. У комбінованих процесах можна періодично подавати сировину (С) до агрегату і безперервно виводити з нього продукцію (П) (рис. 11, в), або навпаки, безперервно подавати до агрегату сировину (С), а періодично виводити отриману продукцію (П) (рис. 11, г). Можливий і такий варіант: періодичне подавання до агрегату однієї складової сировини (С₁), і безперервне подавання другої (С₂). Отримана продукція (П) виходить з агрегату безперервно (рис. 11, д).

§ 4.3.6. За кратністю оброблення сировини

За цією ознакою технологічні процеси поділяють на відкриті, замкнені та комбіновані.

Якщо технологічний процес **відкритий**, то сировина перетворюється на готову продукцію протягом одного циклу перебування її в агрегаті (рис. 12, а). Наприклад, виробництво сталі в конвертері.

Якщо сировина, або окремі її складові неодноразово повертається до агрегату для повторного оброблення, а іноді після регенерації (відновлення втрачених властивостей), то має місце технологічний

процес замкнений (циркуляційний) (рис. 12, б). Прикладом замкнутого процесу може бути виробництво поліетилену високого тиску, під час якого лише 20% етилену перетворюється у поліетилен, решта після очищення знов повертається до агрегату.

Порівняно з відкритими замкнені процеси компактніші, на їх хід менше витрачається електричної енергії, води, сировини. Отримана продукція якісніша.

Замкнені процеси є основою створення безвідходних, енерго- та сировинноощадних технологій.

У **комбінованих процесах** основна сировина (C_1) може перетворюватись на продукцію (П) за один цикл перебування в агрегаті, а допоміжна сировина (C_2) використовується багаторазово (рис. 12, в). Наприклад, виробництво сірчаної кислоти нітрозним способом: оксиди сірки перетворюються на продукцію, проходячи ряд послідовних апаратів, а оксиди азоту циркулюють.

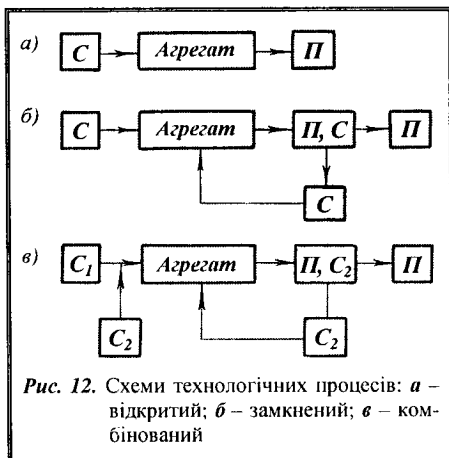


Рис. 12. Схеми технологічних процесів: а – відкритий; б – замкнений; в – комбінований

§ 4.3.7. За основними технологічними рушіями

Основною вимогою для нормального ходу технологічного процесу є дотримання технологічного режиму. Основу режиму становлять чинники, які є рушіями технологічних процесів. Такими чинниками-рушіями є температура, тиск, каталізатор, мікроорганізми, світлові та інші види променів тощо.

Залежно від того, який чинник є рушієм процесу технологічні процеси поділяють на: термічні, каталізні, біохімічні, електрохімічні, плазмові, радіаційнохімічні, ультразвукові тощо.

Основною вимогою для нормального ходу технологічного процесу є дотримання



ТЕРМІЧНІ ПРОЦЕСИ

Термічними (лат. «*thermae*» від грецьк. – тепло) називають такі технологічні процеси, у ході яких головним рушієм є тепло.

Термічні процеси відбуваються за високих або низьких температур. За цією ознакою технологічні процеси поділяють на високотемпературні та низькотемпературні.

5.1. Високотемпературні процеси

Високотемпературними називають такі технологічні процеси, для проходження яких сировину нагрівають.

Для нагрівання сировини використовують різні види палива та енергії. Ці процеси є енергозатратними.

Нагрівання сировини проводять до такої температури, за якої економічно вигідно отримувати продукцію.

Високотемпературні процеси лежать в основі виробництва чавунів, сталей, більшості кольорових металів, різних видів штучного палива, мінеральних добрив, цементу, цегли тощо.

Хоч підвищення температури позитивно впливає на хід технологічних процесів, на практиці застосування теплоти для інтенсифікації процесів часто обмежене. Це зумовлено тим, що у багатьох випадках підвищення температури, *по-перше*, прискорює побічні реакції внаслідок яких утворюється побічна продукція, погіршується якість основної продукції та зменшується продуктивність обладнання; *по-друге*, спричиняє виведення реагуючих речовин (складових сировини) із зони реакції, випаровуючи, спікаючи або сплавляючи їх; *по-третє*, виводить з ладу обладнання, оскільки найважливішими конструкційними матеріалами, з яких виготовляють обладнання, є метали та сплави на їх основі, які витримують нагрівання лише до 1000°C. Кераміка ви-

тримує нагрівання до вищих температур. Пошуки нових конструкційних матеріалів, які витримували б нагрівання до вищих температур, обмежуються енергетичними затратами і віддачею теплоти у довкілля. Чи раціонально це? Очевидно, ні. Тому термічні процеси необхідно проводити лише за економічно вигідних температур, які вибирають з урахуванням мінімального спрацювання обладнання; вартості конструкційних матеріалів; витрат палива чи енергії; тепловтрат тощо. Крім того, термічні процеси мають велику частку ручної праці на допоміжних операціях у гарячих цехах. Їх важко механізувати й автоматизувати.

5.2. Низькотемпературні процеси

Низькотемпературними називають такі технологічні процеси, для проходження яких сировину охолоджують.

При охолодженні речовин рух атомів і молекул поступово сповільнюється і за температури, що становить $-273,15^{\circ}\text{C}$ зупиняється.

Температури близькі до «абсолютного нуля» ($-273,15^{\circ}\text{C}$) називають *кріогенними* (від грецьк. «*кріо*» – холод).

При охолодженні речовин до дуже низьких температур змінюються їх властивості. Наприклад, гума з еластичної стає крихкою і при ударі молотком розлітається на осколки.

Низькі температури, які використовують у промисловості умовно поділено на чотири області.

Першою є область *помірної низьких температур* (від $+27^{\circ}\text{C}$ до -73°C). У цьому діапазоні температур зберігають продукти харчування.

За нею йде область *глибокого холоду* (від -73°C до -203°C). За цих температур розділяють повітря на складові, зріджують кисень, азот тощо.

Далі йде область *кріогенних температур* (від -203°C до $-272,7^{\circ}\text{C}$). У цьому діапазоні температур зріджують гелій та інші гази.

Нижче $-272,7^{\circ}\text{C}$ лежить область *наднизьких температур*.

Низькотемпературні процеси використовують у харчовій промисловості, в енергетиці, ракетобудуванні, в медицині, біології. Навіть у медицині впроваджується кріогенна хірургія, при якій проводять операції майже без виділення крові.

5.3. Шляхи удосконалення термічних процесів

1. **Заміна малопродуктивного обладнання на продуктивніше.** Наприклад, у сталеварінні замінюють малопродуктивні мартенівські однованні печі на двованні або на кисневі конвертери, розливання сталі у виливниці замінюють на безперервне розливання сталі. Внаслідок упровадження цих заходів збільшується продуктивність обладнання та зменшується собівартість продукції. У кольоровій металургії та виробництві сірчаної кислоти багаточереневі печі для випалення сировини замінюють на печі із «псевдокиплячим шаром», які майже у 10 разів продуктивніші. Внаслідок кращого вигорання сірки повніше, економніше використовується сировина, поліпшується якість продукції.

2. **Заміна застарілих процесів на нові, прогресивніші.** Наприклад, отримання сталі з чавуну, яке потребує великої кількості палива (коксу, природного газу), води тощо замінюють на отримання сталі з металізованих грудок (безчавунне варіння сталі), для виготовлення яких використовують малокалорійне паливо. Температура, за якої отримують металізовані грудки, значно нижча, ніж чавуну.

3. **Запровадження екологічно чистих, безвідходних, енергоощадних технологій.** Наприклад, варіння чавуну: отриманий шлак починають переробляти на шлаковату, шлакоцемент тощо (для будівельної індустрії); теплоту доменного газу використовують для підігрівання повітря, сировини; гарячу воду використовують для побутових потреб; надлишок тиску доменного газу – для отримання електроенергії, якою забезпечують доменний цех; пил, який вилучають з доменного газу, використовують у процесі агломерації руди та повертають у домну у вигляді грудок або офлюсованого агломерату.

Довгий час теплота була єдиним рушієм технологічних процесів, а нагрівання сировини до високих температур чи охолодження до низьких – єдиним шляхом отримання деяких видів продукції та поліпшення її властивостей. Із розвитком науки і техніки з'явилися нові рушії технологічних процесів: каталізатор, ультразвук, тиск тощо. Використання нових рушіїв поліпшило техніко-економічні показники обладнання, зменшило енергомісткість продукції, поліпшило її якість.

Процеси, в яких теплота є допоміжним чинником, до термічних не належать. Наприклад, при каталізному крекінгу нафтопродуктів головним рушієм процесу є каталізатор, хоч сировину нагрівають.



БАРОМЕТРИЧНІ ПРОЦЕСИ

Барометричними (від грецьк. – тягар, вантаж) називають такі технологічні процеси, у ході яких головним рушієм є тиск.

Тиск використовують у ході видобування корисних копалин і передавання їх до місця перероблення; для зміни форми та розмірів заготовок (кування, вальцювання, штампування тощо); для регулювання рівноваги хімічних процесів тощо.

У технологічному процесі тиск може відігравати головну або допоміжну роль у його інтенсифікації. Так, у процесі отримання амоніаку, надтвердих матеріалів тиск є головним рушієм технологічного процесу. Термічний і каталізний крекінг нафтопродуктів є прикладом використання тиску як допоміжного чинника технологічних процесів. У технології використовують як низький, так і високий тиск.

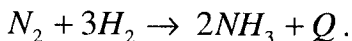
Умовною межею поділу тиску на низький та високий є атмосферний тиск.

Для створення обох видів тиску потрібне спеціальне обладнання.

1. Низький тиск. Тиск нижчий від атмосферного називають низьким або *вакуумом*. Вакуум використовують при нанесенні тонких плівок (у процесі виготовлення інтегральних мікросхем тощо), у процесі виготовлення надчистих металів і продуктів харчування, під час розділення мазуту на мастила. Вакуумуванням очищують розплавлені метали і сплави від розчинених у них газів (кисню, азоту, водню), неметалевих включень тощо, підвищують щільність відливоків, отриманих литтям. Низький тиск пропонують використовувати на будівництві під час бетонування. Вакуумування бетону збільшує міцність його приповерхневих шарів на 20–40%, морозо- та зносостійкість, а також скорочує час від бетонування до експлуатації виробів, який за звичайних умов триває до 28-ми діб.

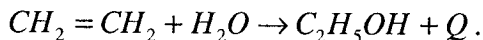
2. Високий тиск. Цей вид тиску використовують для перетворення газової, рідинної і твердої сировини на готову продукцію.

Стиснені гази займають менший об'єм, унаслідок чого збільшується їх концентрація. Швидкість хімічних реакцій пропорційна до концентрації реагуючих речовин. Отже, використання високого тиску прискорює перетворення газової сировини на продукцію, наприклад, азотоводневої суміші на амоніак. Для хімічних реакцій, при яких число молекул отриманої продукції перевищує число молекул газових реагуючих речовин (сировини), збільшувати тиск недоцільно. Якщо ж реакція відбувається зі зменшенням числа молекул продукції, то підвищувати тиск бажано, оскільки це зміщує рівновагу в сторону отримання продукції. Наприклад, синтез амоніаку з азоту та водню:

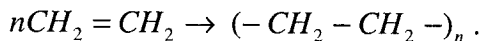


Однак, збільшувати тиск понад 32 МПа економічно невигідно, оскільки затрати енергії на створення тиску зростають швидше, ніж приріст продукції (амоніаку). У процесі отримання амоніаку вибір тиску зумовлений затратами енергії на його створення, часом, температурою, вимогами до обладнання тощо. У разі зменшення тиску вимоги до обладнання послаблюється, проте розміри його збільшуються, одночасно зменшуються витрати енергії на стиснення газової суміші, але збільшуються витрати енергії на циркуляцію газів та виділення амоніаку, зростають вимоги до чистоти азотоводневої суміші.

Високі тиски використовують для проходження технологічного процесу в *рідинній фазі*. Наприклад, гідратація етилену з метою отримання етилового спирту. Цей процес відбувається з виділенням теплоти, відповідно його проводять за невисоких температур. У реакторі підтримують тиск приблизно 7–8 МПа. Підвищення тиску зсуває рівновагу вправо в напрямі утворення етилового спирту:



Високий тиск використовують у процесі полімеризації етилену для отримання поліетилену, який називають *поліетиленом високого тиску*:



Вже за тиску 200 МПа і температури 200°C густина газового етилену наближається до густини рідини. У промисловості для отримання поліетилену використовують тиск 300 МПа. Поліетилен отриманий за цих умов, має велику густину.

Високий тиск використовують при просяканні виробів, виготовлених з пористих матеріалів, рідинами. Для цього використовують тиск до 3000 МПа. Час просякнення скорочується з кількох діб до 10-30 с. У такий спосіб обробляють дерев'яні вироби (шпали для залізниці, заготовки для меблів, кріплення для копалень тощо) синтетичними смолами, лаками тощо. При цьому скорочується час, а разом з тим і витрати енергії на висушування.

Високий тиск використовують при знезаражуванні води хлором, озоном, насичуванні води киснем та іншими газами. І, навпаки, для вилучення газів із рідин або розплав використовують вакуум.

Очищення речовин від газів і пари за низьких температур у вакуумі дає можливість отримати надчисті хімічні речовини, електротехнічні та напівпровідникові матеріали, а також очистити поверхні виробів від адсорбованих газів, що дуже важливо, наприклад, у процесі виготовлення напівпровідникових інтегральних мікросхем.

Тверді речовини менше стискаються, ніж гази чи рідини. Саме тому для процесів, які відбуваються у сировині, що перебуває у твердому стані, використовують надвисокі тиски (орієнтовно 10000–25000 МПа). За таких високих тисків відбувається перебудова кристалевих комірок і утворюються нові хімічні речовини. Цей принцип лежить в основі створення нових матеріалів з певними властивостями. До таких матеріалів належать ельбор, боразон, штучні алмази тощо, які мають велику твердість.

У Київському Інституті надтвердих матеріалів АН України розробили і впровадили у виробництво технологію отримання штучних алмазів. У спеціальному реакторі графіт перетворюється на алмаз унаслідок перегрупування атомів вуглецю в кристалевій комірці. Таке перетворення відбувається за умов: тиск приблизно 10000 МПа, температура 2400°C.

Із суміші сполук, які містять бор і азот, за тиску 80000 МПа і температури 1800°C отримують кубічний нітрид бору. Це надтвердий матеріал, якого немає у природі. З нього виготовляють різальну частину інструментів. За твердістю цей матеріал не поступається алмазу, але має вищу теплопровідність. Отже, різальні інструменти, виготовлені з нього, працюватимуть при нагріванні до вищих температур.

Високий тиск використовують для створення безвідходних та енергоощадних технологій, які не забруднюють довкілля. Проте, **слід пам'ятати**, що тиск дорогий і не завжди економічно вигідний рушій технологічного процесу. Він потребує товстостінного дуже міцного обладнання, великих витрат енергії. Тому вчені ведуть пошуки заміни технологічних процесів, для проходження яких використовують високий або низький тиск, на інші економічно вигідніші процеси.



КАТАЛІЗНІ ПРОЦЕСИ

Каталізними називають такі технологічні процеси, в ході яких головним рушієм є каталізатор.

7.1. Поняття про каталіз та його види

Каталізом (від грецьк. – руйнування) називають зміну швидкості хімічних реакцій у присутності каталізаторів.

Каталізаторами називають речовини, які змінюють швидкість хімічних реакцій, а самі (хімічно та кількісно) залишаються незмінними.

У наш час каталізні процеси становлять основу багатьох технологій. При використанні каталізаторів швидкість хімічних реакцій збільшується в тисячі й навіть мільйони разів. Каталізні процеси лежать в основі виробництва бензину, амоніаку, сірчаної й азотної кислот, спиртів, альдегідів тощо. Каталіз широко використовують у процесі виробництва лікарських речовин, мийних засобів.

Каталіз лежить в основі перспективних способів виробництва рідинного палива з вугілля, сланців, торфу.

Усе ширше використовують каталіз для охорони довкілля від забруднення стічними водами, шкідливими промисловими газами.

У більшості каталізні процеси є безперервними, замкненими, безвідходними, енергоощадними, дуже продуктивними. Каталізні процеси за техніко-економічними показниками не мають собі рівних.

Каталіз – явище своєрідне: для отримання кожного окремого виду продукції використовують свій каталізатор.

Роль каталізаторів виконують тверді, рідинні та газові речовини.

Тверді каталізатори – це метали (мідь, срібло, платина, хром та ін.) і оксиди (V_2O_5 , SiO_2 , Al_2O_3 , алюмосилікати тощо).

Рідинні каталізатори – це кислоти та луги, наприклад, сірчана кислота (H_2SO_4), фосфорна кислота (H_3PO_4).

Газові каталізатори використовують дуже рідко.

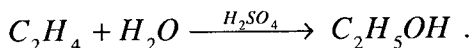
Залежно від агрегатного стану каталізатора та реагуючих речовин (сировини) каталізні процеси поділяють на гомогенні та гетерогенні. Між ними не можна провести чіткої межі.

1. Гомогенний каталіз. *Гомогенним каталізом називають такий каталіз, у ході якого складові сировини та каталізатор перебувають в одному агрегатному стані, найчастіше це газ або рідина.*

Наприклад, виробництво етилового спирту з етилену гідратацією (від грецьк. – вода).

Гідратацією називають приєднання води до різних речовин.

Роль каталізатора виконує сірчана кислота (H_2SO_4):



Гомогенний каталіз відбувається з великою швидкістю. Проте він має такі *недоліки*:

- ✓ складно відділити каталізатор від готової продукції;
- ✓ забруднення отриманої продукції каталізатором;
- ✓ втрати каталізатора.

2. Гетерогенний каталіз. *Гетерогенним каталізом називають такий каталіз, в ході якого складові сировини та каталізатор перебувають у різних агрегатних станах.*

Каталізна реакція проходить на межі фаз: каталізатор – реагуючі речовини.

Процес гетерогенного каталізу, що проходить на поверхні твердого каталізатора складається з кількох стадій:

- 1) дифузія складових сировини до поверхні каталізатора;
- 2) адсорбція їх на поверхні каталізатора з утворенням нестійких комплексів (сировина $\leftrightarrow$ каталізатор);
- 3) перегруповання атомів з утворенням нових комплексів (утворена продукція $\leftrightarrow$ каталізатор);
- 4) десорбція продукції з поверхні каталізатора;
- 5) дифузія продукції від поверхні каталізатора в зону виходу.

Швидкість кожної стадії залежить від багатьох чинників: температури, тиску, концентрації, часу контактування, швидкості перемішування суміші тощо. Залежно від того, яка з цих стадій лімітуюча, цю і використовують для збільшення швидкості процесу. Наприклад,

якщо лімітуючою стадією є дифузія, то для збільшення швидкості процесу треба змінити швидкість перемішування сировини.

Гетерогенний каталіз позбавлений недоліків, які має гомогенний.

7.2. Тверді контакти, їх склад і властивості

1. Склад твердих контактів. Тверді контакти складаються з підкладки, каталізатора й активатора. Їх виробляють у вигляді зерен, гранул, таблеток чи сітки з тонкого металевого дроту. Надалі тверді контакти називатимемо просто каталізатори.

Підкладкою називають термостійку пористу речовину, на поверхню якої наносять каталізатор і активатор.

Підкладки виготовляють з пемзи, каоліну, активованого вугілля, алюмосилікатів та інших речовин. Підкладка збільшує поверхню каталізатора. Разом з тим підкладка збільшує міцність твердого контакту.

Каталізатори – це в основному метали й оксиди (*Cu, Ag, Pt, Cr, Mo, Fe, V₂O₅, SiO₂, Al₂O₃* та ін.).

Активаторами називають речовини, які збільшують активність каталізаторів.

Кожен каталізатор потребує свого активатора. Так, для платинового каталізатора найкращими активаторами є залізо, алюміній.

2. Властивості каталізаторів. До них належать активність, продуктивність, температура запалення (температура початку роботи), твердість, міцність, селективність.

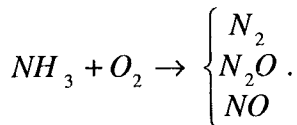
Активність каталізатора залежить від хімічного складу та структури. Велика активність каталізатора збільшує його продуктивність, поліпшує якість продукції, зменшує витрати сировини, палива та енергії.

Продуктивність каталізатора визначається кількістю продукції, яку отримують з одиниці об'єму каталізатора за час його роботи.

Температура запалення каталізатора – це найнижча температура, при якій починає працювати каталізатор. Це – економічно вигідно, оскільки менші затрати на паливо та енергію. Чим активніший каталізатор, тим нижча температура запалення. Наприклад, для хромового каталізатора температура запалення становить 200°C, а для каталізатора, виготовленого з V₂O₅ вона становить 450°C.

Селективність (вибірковість) каталізатора – це його здатність з множини реакцій, які відбуваються одночасно, вибрати потрібну в даний час.

Наприклад, реакція окиснення амоніаку (NH_3) може відбуватися до різних стадій окиснення з утворенням різної продукції:



Проте у присутності платинового каталізатора процес окиснення амоніаку йтиме лише до утворення NO .

Міцність твердих каталізаторів залежить від пористості структури, із збільшенням пористості, особливо великих пор, міцність твердих каталізаторів зменшується. Це дуже важлива характеристика, оскільки в процесі роботи каталізатор стирається і утвореним пилом забруднюється продукція.

Під час тривалої роботи каталізатори *«отрунюються»*. Це відбувається за рахунок домішок, які є у сировині. Наприклад, платиновий каталізатор, який використовують у процесі виробництва якісного бензину, «отруюється» сполуками сірки й арсену. Те саме спостерігається з алюмосилікатами, які використовують під час каталізного крекінгу нафтопродуктів. Тому сировину перед подаванням у контактний апарат очищують. Для цього використовують електрофільтри або циклони. В електрофільтрах порошкові домішки осідають під дією електричного поля, а в циклонах – під дією відцентрових сил. «Отруєні» каталізатори регенерують (від лат. *«regeneratio»* – відновлення).

7.3. Контактні апарати

Основним обладнанням для проведення каталітичних процесів є контактні апарати. В апаратах каталізатори можуть перебувати в нерухомому, рухомому або в «псевдокиплячому» (завислому) стані. Наразі у більшості випадків використовують контактні апарати з нерухомим каталізатором, який можна розмістити на полицках або в трубках.

1. **Поличкові апарати** (рис. 13, а) мають від однієї до кількох полицок. Товщина шару каталізатора на полицках збільшується в напрямі виходу продукції, а товщина теплообмінника, навпаки, зменшується, оскільки із зменшенням швидкості реакції зменшується кількість теплоти, яка виділяється в процесі реакції. У поличкових апаратах теплообмінювання відбувається за принципом зустрічних потоків.

Недолік поличкових апаратів полягає в тому, що теплота відводиться ступінчасто, а тому каталізна реакція та теплообмінювання відбуваються одночасно.

2. Трубкові апарати. У трубкових апаратах (рис. 13, б) сировина (газ) і теплоносії (під час ендотермічних реакцій) або охолодник (під час екзотермічних реакцій) рухаються назустріч один одному. Нагрівання або охолодження відбуваються безперервно протягом усього каталізного процесу.

Недоліки трубкових апаратів: нестійкий температурний режим та охолодження каталізатора, великі розміри теплообмінника.

Комбіновані контактні апарати частково позбавлені цих недоліків. Проте це не вирішує проблеми, оскільки контактні апарати з нерухомим каталізатором мають ще такі загальні недоліки: незадовільне відведення теплоти від каталізатора, мала продуктивність, періодичність заміни каталізатора в апаратах тощо.

Останнім часом у промисловості почали успішно використовувати апарати, в яких каталізатор постійно рухається.

3. Апарати з рухомим каталізатором. У таких апаратах каталізатор у вигляді порошку знаходиться на поличках або його подають зверху назустріч сировині.

Поличкові апарати працюють за таким принципом: газова сировина під тиском надходить в апарат знизу. Частинки каталізатора, що знаходяться на поличках під тиском сировини переходять у завислий стан, що нагадує кипіння рідини (звідси і походить назва «псевдокиплячий шар»). Утворена продукція виходить через отвір у верхній частині апарата. Теплообмінники розташовані всередині шарів каталізатора.

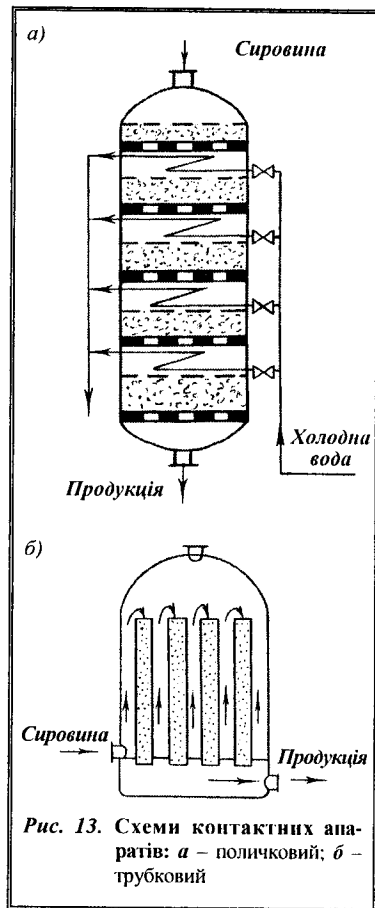


Рис. 13. Схеми контактних апаратів: а – поличковий; б – трубковий

Є апарати іншої конструкції. У таких апаратах каталізатор та газова сировина рухаються назустріч один одному; сировина-газ знизу, а каталізатор-порошок – зверху. Каталізатор падає на дно апарату, звідки надходить у регенератор. Після регенерації каталізатор знов подають у апарат зверху, і так безперервно.

Переваги контактних апаратів, з рухомим «псевдокиплячим шаром» каталізатора, порівняно з тими, де каталізатор нерухомий, такі: менший розмір частинок каталізатора, а відповідно більша поверхня контакту; точніша температура в апараті; більша продуктивність апарата; безперервна заміна каталізатора.

Основний *недолік* полягає в тому, що в процесі роботи каталізатор стирається (до 10% за рік) і забруднює отриману продукцію пилом.



ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ

8.1. Суть і значення електрохімічних процесів

Електрохімічними процесами називають такі технологічні процеси, у ході яких електрична енергія перетворюється в хімічну, і, навпаки, хімічна в електричну.

Перетворення хімічної енергії в електричну має місце в гальванічних елементах. У наслідок такого переходу гальванічний елемент стає джерелом постійного струму.

Якщо електричну енергію ввести в хімічну систему (розчин чи розплав) у вигляді постійного струму за допомогою електродів, то виникнуть хімічні процеси, які називають **електролізом**.

У 30-х роках XIX ст. англійський фізик Майкл Фарадей відкрив закони електролізу. Уже з перших дослідів з'ясувалося, що електроліз має велике практичне значення. Проте відсутність потужних джерел постійного струму сповільнили його розвиток. Після винайдення потужної динамомашини в 1870 р., яка виробляла постійний струм, почали будувати електрохімічні підприємства, на яких рафінували мідь. З часом почали будувати заводи для виробництва алюмінію, хлору, лугів тощо.

Сьогодні електроліз водних розчинів, розплавлених солей і лугів широко застосовують у хімічній, металургійній і металообробній промисловості.

Електролізом водних розчинів отримують продукцію неорганічної хімії: водень, кисень, хлор, їдкий натрій та ін.

Електроліз розплавлених солей використовують для виробництва легких, складноплавких металів, рафінування металів і отримання сплавів. Такі метали, як алюміній, магній, натрій, літій, отримують лише електрохімічним способом.

Металообробна промисловість використовує електрохімічні процеси для виготовлення виробів із твердих металів і сплавів, виготовлення та розмноження металевих копій (гальванопластика) і нанесення покриттів із чистих металів і сплавів на поверхні металевих виробів.

Головним *недоліком* електрохімічних процесів є великі витрати електроенергії, вартість якої становить основну частину собівартості продукції. Саме тому на підприємствах, де використовують електрохімічні процеси необхідно раціонально використовувати електричну енергію.

8.2. Основні закономірності електрохімічних процесів

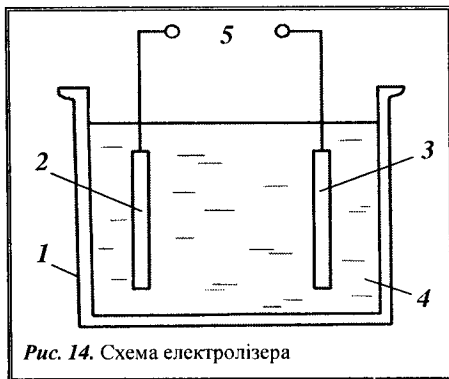
1. **Будова електролізера.** Електрохімічні процеси відбуваються у агрегатах, які називають *електролізерами*.

Електролізер (рис. 14) складається з ванни *1*, викладеної з середини кислотостійкими матеріалами, електродів (анода *2* й катода *3*), допоміжних механізмів і пристроїв. Через електроліт (розчин або розплав) *4*, яким заповнюють ванну, від позитивного електрода (анода) до негативного (катода) проходить постійний електричний струм від джерела струму *5*.

Електроди можуть бути твердими (наприклад, виготовлені з міді, заліза, графіту тощо) та рідинними (з ртуті).

На *анодах* відбуваються реакції розчинення або окиснення металу, на *катодах* – його виділення або відновлення. Наприклад, у процесі електролізу водного розчину хлориду натрію (NaCl) на аноді виділяється хлор, а на катоді – водень; у процесі рафінування міді анод, виготовлений з чорної міді, розчиняється, а на катоді виділяється чиста мідь. Внаслідок чого розміри анода зменшуються, а катода збільшуються. Домішки переходять в електроліт.

2. **Закони М. Фарадея.** Кількість речовини, яка виділяється на електродах під час електро-



лізу залежить від кількості електричного струму, який пройшов через електроліт. Ця залежність визначається законами Майкла Фарадея.

Перший закон: кількість речовини (m), яка виділилась на електродах, прямо пропорційна до сили струму (I) і часу (t) його проходження через електроліт.

Другий закон: при проходженні однієї й тієї самої кількості електрики через різні електроліти кількість речовини, яка виділяється на електродах, прямо пропорційна до хімічних еквівалентів цих речовин.

3. Критерії раціонального використання електричної енергії. Основними критеріями використання електричної енергії в процесі електролізу є вихід за струмом та енергією.

Вихід за струмом. Цей показник обчислюють за формулою:

$$\eta = \frac{m_{\phi}}{m_T} \times 100\%, \quad (1)$$

де: m_{ϕ} — кількість речовини, що фактично (ϕ) виділилась у процесі електролізу;

m_m — кількість речовини теоретично (T) обчисленої за законом Фарадея.

Кількість речовини (m_m), яка мала б виділитись у процесі електролізу (тобто за законом Фарадея) визначають за формулою:

$$m_T = \frac{E}{26,8} \times I \times t, \quad (2)$$

де: E — хімічний еквівалент речовини;

I — сила струму, А;

t — час проходження струму через електроліт, год.

Формулу (2) підставимо у формулу (1) і отримаємо формулу для визначення **виходу за струмом**:

$$\eta = \frac{m_{\phi} \times 26,8 \times 100\%}{I \times t \times E}.$$

Значення η завжди менше ста відсотків, оскільки частина електричної енергії витрачається на розрядження іонів інших елементів, які є в електроліті. Для збільшення виходу речовини необхідно зменшити побічні процеси, які відбуваються в електроліті.

Вихід за енергією. Цей показник визначають відношенням витрат електроенергії на одиницю продукції, теоретично (*m*) необхідних для проведення електролізу – W_m , до фактично (*φ*) затрачених, у цьому процесі – W_ϕ :

$$\mu = \frac{W_m}{W_\phi} \times 100\%,$$

Фактичні витрати електричної енергії на одиницю продукції, отриманої в процесі електролізу, визначають за формулою:

$$W_\phi = \frac{1}{C} \times \frac{V}{\eta} \times 100 \times 1000.$$

де: *C* – електрохімічний еквівалент даної речовини;
V – середня напруга;
η – вихід за струмом.



БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ

9.1. Основні відомості про біохімічні процеси

Біохімічними називають такі технологічні процеси, в ході яких головним рушієм є вибрані мікроорганізми.

Мікроорганізми – це бактерії та мікроскопічні грибки. Мікроорганізми можуть жити у різних середовищах: одні з них для життя не потребують кисню. Їх називають *анаеробами*, інші без кисню не можуть жити. Ці мікроорганізми називають *аеробами*. Є ще й такі, які прекрасно почувають себе у ядерному реакторі. Існують мікроорганізми, які живуть у вакуумі, а також такі, що витримують тиск понад 100 МПа. У технології найчастіше використовують мікроорганізми – *аероби*.

Біохімічні процеси є основою біотехнології.

Біотехнологією називають науку про отримання продукції з використанням біохімічних процесів.

Біотехнологія ґрунтується на досягненнях біохімії, мікробіології, молекулярної біології і широко використовується в харчовій, фармацевтичній, гірничорудній і хімічній промисловостях, у процесі очищення стічних вод тощо.

Плодами біотехнології користуються давно: бродіння тіста спричиняють дріжджові грибки, скисання молока – молочнокислі бактерії тощо.

Наукове розуміння цих процесів прийшло лише в XIX ст. завдяки працям французького вченого Луї Пастера. Та лише через сторіччя після цього відкриття мікроскопічні грибки і бактерії стали використовувати у промисловості.

Сьогодні за допомогою мікроорганізмів отримують найрізноманітнішу продукцію: антибіотики, вітаміни, амінокислоти та білки, мікробіологічні засоби захисту рослин, спирти, тваринні корми тощо. Зацікавлення біотехнологією постійно зростає.

Мікробіологічні процеси відбуваються в основному за невисоких температур і тисків в досить простому за конструкцією обладнанні; завдяки цьому спрощується технологічний процес, зменшуються капіталовкладення та експлуатаційні витрати.

Для культивування мікроорганізмів використовують дешеву сировину, наприклад, стічні води, побічну продукцію промислових підприємств.

Сировиною для мікробіологічного синтезу є нафта та її складові, природний газ, сапропель (озерний мул), міляс, отриманий при виробництві цукру, сироватка, отримана при виробництві сиру, а також відходи целюлозо-паперової промисловості.

9.2. Бродіння та його види

Бродінням називають біохімічний процес, в ході якого мікроорганізми діють на сировину, внаслідок чого утворюється напів- або готова продукція.

Бродіння починається у середовищах, які містять цукристі речовини. Відомо кілька видів бродіння: найпоширенішими є молочно-кисле, масляно-кисле та спиртове.

Молочно-кисле бродіння ґрунтується на діяльності молочно-кислих бактерій. Його застосовують у харчовій промисловості для виготовлення кефіру, кислого молока тощо; при квашенні капусти, помідорів, огірків; силосуванні кормів для тварин тощо.

Масляно-кисле бродіння спричиняється масляно-кислими бактеріями. У процесі бродіння крохмалю, цукрів і клітковини отримують ацетон, бутиловий спирт та інші цінні хімічні речовини. Масляно-кисле бродіння лежить в основі первинного оброблення конопель, льону: при відокремленні костриці від волокна.

Спиртове бродіння ґрунтується на застосуванні *дріжджів*, які належать до класу грибків. Під дією цих мікроорганізмів з поліцукрів утворюється спирт, гліцерин, оцтовий альдегід. Спиртове бродіння лежить в основі виробництва хліба, вина, етилового спирту.

9.3. Технологічний процес мікробіологічного синтезу

Технологічний процес мікробіологічного синтезу багатостадійний. Найважливішими стадіями є:

- ✓ приготування та стерилізація живильного середовища;
- ✓ зберігання мікроорганізмів та їх розмноження в лабораторії;
- ✓ отримання мікроорганізмів у цеху;
- ✓ бродіння;
- ✓ виділення продукції;
- ✓ пакування та зберігання готової продукції.

Основною стадією є бродіння. Цей процес проходить в агрегатах, де міститься сировина. Тут створено всі необхідні умови для нормального проходження процесу: стерильність середовища, постійне перемішування, аерування, відповідна температура.

Білками називають великомолекулярні сполуки, побудовані з амінокислот.

Білки є природного і штучного походження. У світі відчутно брак природних білків, тому їх отримують штучним способом. Одним із найважливіших напрямків розвитку біотехнології є вдосконалення білків та збільшення їх кількості.

Кормові білки отримують із сировини рослинного та мінерального походження. З рослинної сировини отримують гідролізні дріжджі, а з мінеральної – білково-вітамінний концентрат (БВК).

1. Гідролізні дріжджі. Дріжджі дуже поширені у природі, особливо там, де є цукристі речовини (ягоди, фрукти, молочні продукти тощо).

Для виробництва дріжджів необхідно мати живильне середовище, на якому їх можна було б вирощувати.

Живильне середовище отримують гідролізом рослинної сировини (соломи, костриці, тирси тощо). У процесі гідролізу целюлоза, яка міститься у цій сировині, розщеплюється й переходить у розчин, а лігнін (від лат. «*lignum*» (*ligni*) – дерево: складова частина стовбура дерева, стебел рослин) залишається твердим. Процес гідролізу енергомісткий і незважаючи на присутність каталізаторів (соляної, сірчаної та інших кислот) відбувається за умов нагрівання сировини до температури 180°C і за тиску 1,0–1,2 МПа. Отриманий гідролізат (кислий розчин цукрів) нейтралізують – і живильне середовище готове для вирощування мікроорганізмів у бродильниках. Отриману

дріжджову біомасу концентрують, нагрівають, висушують і пакують. З однієї тонни відходів деревини можна отримати до 250 кг кормових дріжджів, а з такої самої кількості кукурудзяних качанів – до 280 кг.

2. Білково-вітамінний концентрат (БВК). Це комора вітамінів, мінеральних речовин і мікроелементів. У ньому міститься більше протеїну, ніж у білкових кормах рослинного походження. Білково-вітамінний концентрат виробляють з очищених парафінів, природного газу, етилового спирту тощо, до яких додають елементи мінерального живлення: азот, фосфор, калій, залізо, цинк, тощо. Крім того, живильне середовище містить у мікродозах: молібден, мідь, кобальт, кальцій, нікель, сірку тощо. Недостатність у живильному середовищі якого-небудь елемента з групи мінерального живлення спричиняє зміну розвитку клітин і їх склад.

Природний газ є кращою сировиною для виробництва БВК, ніж парафіни, оскільки в біомасі міститься до 70% сирого протеїну (від грецьк. – перше місце). Протеїн – це простий білок. БВК, отриманий з етилового спирту – якісніший.



ПЛАЗМОВІ ПРОЦЕСИ

Плазмовими називають такі технологічні процеси, у ході яких головним рушієм є плазма.

10.1. Плазма та її використання в технології

Плазмою називають іонізований газ, який складається з позитивно та негативно заряджених частинок, нейтральних атомів і молекул.

Кількість позитивних і негативних частинок у плазмі майже однакова. Саме тому плазма є електронейтральною речовиною. На відміну від газових речовин плазма яскраво світиться, має електропровідність і активно взаємодіє з магнітним полем. Прикладом плазми є полум'я, яке виринає із сопла двигуна ракети, іскри в електричних приладах, блискавка, електрична дуга тощо.

Уперше термін «**плазма**» вжив американський учений І. Ленгмюр у 1923 р. для означення стану газу, якого він набуває при електричному розряді.

1. **Види плазми.** Умовно плазму поділяють на «холодну» і «гарячу».

«Холодна» плазма має температуру $10^3 - 10^5$ °С. Температура «гарячої» плазми сягає $10^6 - 10^8$ °С.

Прикладом «гарячої» плазми є Сонце, епіцентри вибухів атомних і водневих бомб. Штучну «гарячу» плазму отримують у дослідних установках і утримують надпотужним магнітним полем. Ця плазма існує частки секунди. У майбутньому (на думку фізиків) «гаряча» плазма буде джерелом термоядерної енергії.

«Холодна» плазма у природі зустрічається у вигляді кульової блискавки.

2. Використання плазми. Штучну «холодну» плазму отримують за допомогою спеціальних пристроїв, які називають *плазмотронами*. У промисловості «холодну» плазму використовують для хімічного синтезу неорганічних і органічних сполук, композиційних матеріалів, виробництва порошків, отримання сталі, вирощування монокристалів, різання та зварювання конструкційних матеріалів, нанесення жаростійких та інших видів покриттів на поверхні виробів, отримання надчистих металів і т. д.

Використання плазми у технології цінне тим, що плазма має велику швидкість потоку, а це дуже важливо при різанні: плазма видуває розплавлений метал із зони різання. Крім того плазмовий потік легко змінює форму та напрям за допомогою зовнішнього магнітного поля. Його можна використовувати для робіт під водою, наприклад, у процесі зварювання.

На сучасному етапі розвитку технології плазма дає можливість отримувати надвисокі температури, яких не можна досягти іншими способами. Це дуже важливо, оскільки для деяких технологічних процесів підвищення температури є вирішальним чинником прискорення хімічних перетворень. Наприклад, швидкість окиснення азоту зростає у 90 млн. разів, якщо температуру процесу підвищити із 1700 до 4000°C. Крім того, використання плазми у хіміко-технологічних процесах дає змогу вибрати дешеву сировину. Наприклад, відомі способи виробництва азотної кислоти окисненням амоніаку громіздкі, крім того, пов'язані із використанням природного газу, якого у земних надрах стає щораз менше. Виробляти оксид азоту (*NO*) з повітря можна лише за умов високих температур (3000°C), які можна отримати у плазмотроні.

Застосування плазми в промисловості, особливо в хімічній технології, зумовлене невеликими розмірами реакторів, великою швидкістю проходження технологічного процесу ($10^{-2} - 10^{-5}$ с) тощо. Обладнання необхідне для проходження плазмових процесів виробляють на заводах серійно. Воно складається з таких основних елементів: плазмотрон, реактор і гартівний пристрій. У плазмотроні за допомогою електродугових або інших розрядів утворюється плазма, тобто потік іонізованого газу (аргону, гелію, азоту тощо), який спрямовується в реактор, куди подають реагуючі речовини (сировину). Після реакції отримана продукція надходить до холодильника, де швидко охолоджується.

10.2. Види плазмових процесів

Реагуючі речовини (сировина) можуть перебувати як у вигляді газу, так і у твердому стані.

За агрегатним станом реагуючих речовин плазмові процеси поділяються на гомо- та гетерогенні.

1. Гомогенні плазмові процеси. Під час гомогенних плазмових процесів реагуючі речовини, як і плазма, перебувають у газовому стані. Такі процеси мають місце при окисненні азоту, отриманні ацетилену з природного газу тощо. Ацетилен є сировиною для отримання полімерів, розчинників та інших органічних речовин.

Часто роль плазмового газу виконує сировина. Наприклад, при отриманні ацетилену (C_2H_2) з природного газу, який містить 90-98% метану (CH_4), останній виконує роль і сировини, і енергоносія (плазмового газу). Поеднання цих функцій знижує витрати енергії, підвищує ступінь перетворення метану на ацетилен і збільшує концентрацію ацетилену.

2. Гетерогенні плазмові процеси. У гетерогенних плазмових процесах сировина та плазма перебувають у різних агрегатних станах: плазма у вигляді газу, а сировина – у вигляді порошку або рідини.

Гетерогенні процеси використовують під час відновлення складних сполук в оксидних рудах; отримання нітридів, карбідів, каталізаторів, вирощування великих монокристалів; нанесення тонких плівок на підкладки при виготовленні продукції мікроелектроніки тощо.

10.3. Плазмотрони, їх будова та принцип роботи

Плазмотронами називають апарати, за допомогою яких отримують плазму.

Основними елементами плазмотрона є електрод і сопло. Для утворення плазми використовують аргон, гелій, азот, амоніак, кисень, повітря тощо. Інертні гази (аргон, гелій) забезпечують добре збудження та горіння дуги, захищають електрод від окиснення. Проте ці гази одноатомні й запас енергії, який вони набули у стовпі дуги, менший, ніж при використанні молекулярних газів, наприклад, азоту (N_2). Для утворення плазми широко використовують азот, а останнім часом і повітря.

При використанні повітря та кисню електроди необхідно захищати від руйнування (окисненням) або виготовляти з цирконію чи гафнію.

Плазмотрони можуть бути різної конструкції. Деякі з них зображено на рис. 15.

Залежно від конструкції плазмотрона на виході із сопла отримують плазмовий потік або плазмову дугу.

Для отримання **плазмового потоку** використовують плазмотрон, схему якого показано на рис. 15, а. У плазмотроні дуга 2 горить між електродом 5 і соплом 4, сюди ж подають плазмотвірний газ. Нагрівання виробів 1 плазмовим потоком, що відокремлюється від дуги застосовують при нанесенні покриттів (плазмове напилення) та гартування виробів, виготовлених із вуглецевих сталей.

Плазмову дугу отримують за допомогою плазмотрона, схема якого показана на рис. 15, б. Тут дуга 2 горить між електродом 5 і виробом 1, а потік плазми збігається із стовпом дуги. Таку плазмову дугу використовують під час різання.

Температура плазми може змінюватись від 10^3 до $5-10^4$ °С. Це залежить від сили струму, виду плазмового газу, його кількості, а також конструкції плазмотрона. Під час роботи плазмотрон безперервно охолоджують водою, яка циркулює каналами 3 сопла 4.

Проте, **слід пам'ятати**, що обладнання, за допомогою якого отримують плазму, має високий рівень шуму. Крім того, для отримання плазми потрібна значно більша напруга, ніж для отримання електричної дуги.

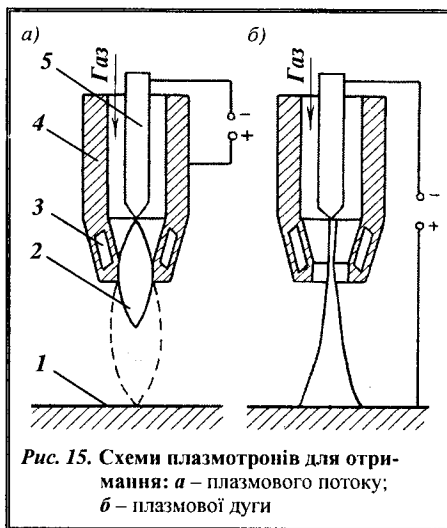


Рис. 15. Схеми плазмотронів для отримання: а – плазмового потоку; б – плазмової дуги



РАДІАЦІЙНО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ

Радіаційно-хімічними називають такі технологічні процеси, в ході яких головним рушієм є α -промені, γ -промені, електрони, протони, нейтрони, α і β -частинки тощо.

Джерелом отримання цих випромінювань є реактори, прискорювачі частинок, радіоактивні ізотопи тощо.

Під дією іонізуючого випромінювання з внутрішніх оболонок атомів сировини вибиваються електрони, що спричиняє глибокі хімічні перетворення у сировині.

Радіаційно-хімічні процеси широко використовують у технології для отримання речовин з наперед заданими властивостями та речовин, яких іншим способом отримати неможливо.

Процеси, що відбуваються при опромінюванні речовин (сировини), поділяються на три стадії.

На *першій стадії* заряджені частинки зіштовхуються з молекулами сировини, унаслідок чого змінюється їх енергетичний стан; молекули сировини набувають енергії, частинки втрачають її.

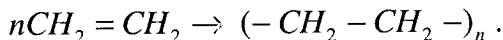
На *другій стадії* збуджені молекули розпадаються або взаємодіють з іншими молекулами, внаслідок чого утворюються іони, атоми та радикали, тобто проміжні активні частинки.

На *третьій стадії* активні частинки, які утворились на другій стадії, взаємодіють між собою або з оточуючими їх молекулами внаслідок чого утворюються молекули продукції.

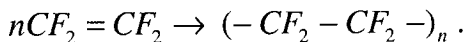
Радіаційно-хімічні процеси використовують у процесі полімеризації та вулканізації великомолекулярних сполук, синтезу деяких речовин, очищення стічних вод, твердих і газових відходів промислових підприємств тощо.

Радіаційну полімеризацію проводять за низьких температур під дією β -частинок і γ -променів. Мономери перебувають у твердій, рі-

динній і газовій фазах. Полімеризацію зарядженими частинками використовують при виробництві надчистих полімерів, необхідних у медицині та напівпровідниковій електроніці. Полімеризують етилен, тетрафторетилен тощо. Внаслідок радіаційної полімеризації етилену отримують термостійкий електроізоляційний матеріал – поліетилен:



Полімеризуючи тетрафторетилен, отримують фторопласт-4:



Радіаційна вулканізація каучуку, порівняно з традиційним способом, який проводять за температури 180–200°C і тиску 15–20 МПа, має велике техніко-економічне значення, оскільки трудомісткість і енергомісткість менші, а якість отриманої продукції ліпша.

Радіаційно-хімічний синтез широко використовують для виготовлення речовин, необхідних у процесі виробництва мийних засобів, поверхнево-активних речовин, мастил, отрутохімікатів тощо.

Радіаційно-хімічне очищення води та побутових і промислових відходів застосовують дуже широко. При опромінюванні природна вода дезінфікується і з неї виходять гази; стічні води очищують від фенолу, поверхнево-активних речовин тощо. Тверді відходи після радіаційно-хімічного очищення використовують у сільському господарстві як добрива. Широко використовують у промисловості радіаційне очищення викидних газів від оксидів сірки, азоту тощо.

Основні *недоліки* радіаційно-хімічних процесів – згубний вплив радіації на працівників, які обслуговують джерела випромінювання, і необхідність обов'язкового схоронення радіоактивних відходів (стронцію, цезію тощо).

Під час роботи з радіоактивними речовинами і експлуатації ядерних реакторів слід дотримуватися усіх правил техніки безпеки щодо захисту від дії радіоактивного випромінювання. Кожний працівник обслуговування повинен мати індивідуальний дозиметр, який контролює дозу випромінювання, що отримує людина. Роботу з радіоактивними речовинами треба виконувати за допомогою спеціальних приладів-маніпуляторів. У приміщеннях, в яких працюють з радіоактивними речовинами, необхідно встановити безперервну вентиляцію.



ФОТОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ

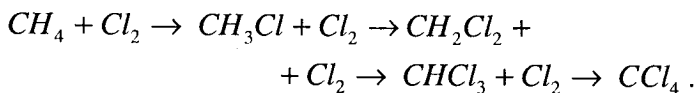
Фотохімічними називають такі технологічні процеси, які спричиняються світлом або відбуваються під його дією.

Механізм фотохімічних процесів ґрунтується на активації молекул реагуючих речовин (складових сировини) при поглинанні ними порцій світлової енергії. При поглинанні світла змінюється електронна структура молекули; електрони на зовнішніх оболонках атомів збуджуються і молекули стають здатними до перетворення.

Фотохімічні процеси поділяють на три групи.

До *першої групи* належать ті процеси, які після поглинання реагуючими речовинами (сировиною) світлової енергії проходять самохіть. Для цих процесів світло є лише збудником. Ці процеси застосовують, наприклад, при хлоруванні вуглеводнів, синтезі полімерів, утворенні хлористого водню тощо.

При фотохімічному хлоруванні вуглеводнів молекули хлору під впливом світлової енергії дисоціюють на атоми і утворюються хлорпохідні вуглеводні. Наприклад, при хлоруванні метану (CH_4) відбуваються ланцюгові реакції з утворенням хлорпохідних метану: хлористого метилу (CH_3Cl), хлористого метилену (CH_2Cl_2), хлороформу ($CHCl_3$), чотирьоххлористого вуглецю (CCl_4):

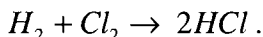


Після конденсації отримані хлорпохідні метану надходять на ректифікацію та відокремлення складників, а гази повертаються на хлорування.

У промисловості хлорування метану проводять у два заходи: спочатку термічним хлоруванням метану отримують хлористий метил

(CH_3Cl) і хлористий метилен (CH_2Cl_2). Потім фотохімічним хлоруванням хлористого метилену (CH_2Cl_2) отримують хлороформ (CHCl_3) і чотирихлористий вуглець (CCl_4).

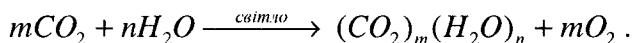
Реакція між воднем (H_2) і хлором (Cl_2) з утворенням хлористого водню (HCl) за звичайних умов проходить дуже повільно:



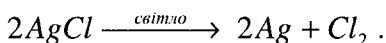
При освітленні сонячним промінням реакція між воднем і хлором відбувається бурхливо і може статися вибух.

Друга група фотохімічних процесів потребує безперервного підведення світлової енергії до реагуючих речовин. Як тільки подача світла припиняється, процес зупиняється. Такі фотохімічні процеси відбуваються у живих організмах, рослинах, сонячних батареях, фотосправі тощо.

Наприклад, процес природного фотосинтезу в рослинах ґрунтується на поглинанні світла хлорофілом і виділенні кисню:



Фотохімічні процеси цієї групи лежать в основі виготовлення фотোগрафій. Світло потрапляє на поверхню фотоматеріалів (плівку чи папір) спричиняє розкладання хлористого срібла:



До третьої групи належать процеси, при яких світло поглинається не реагуючими речовинами, а каталізатором, який прискорює процес. Такі процеси називаються **фотокаталізними**.

Роль **фотокаталізаторів** можуть виконувати оксиди металів. Ці процеси лежать в основі виробництва органічних речовин тощо.

Велика кількість продукції, яку виробляють за допомогою фотохімічних процесів, може бути отримана іншими процесами (наприклад, термічним). Проте перевагу надають фотохімічним, оскільки легко регулюється швидкість реакції, отримують дуже чисту продукцію, малі затрати енергії тощо.



ЛАЗЕРНІ ПРОЦЕСИ

Лазерними називають такі технологічні процеси, в ході яких головним рушієм є монохроматичне проміння.

13.1. Поняття про лазери та їх види

Лазером називають джерело потужного світлового монохроматичного випромінювання.

Лазер (від англ. «*laser*») є скороченням від словосполучення “*light amplification by stimulated emission of radiation*” – посилення світла за допомогою індукованого випромінювання.

Серед наукових досягнень ХХ ст. чільне місце належить лазерам. У 1960 р. доктор Г. Мейман (Каліфорнія) уперше отримав лазерний промінь. У 1964 р. Н.Г. Басов, А.М. Прохоров (інститут фізики ім. П. Лебедева, Москва, тоді Радянський Союз, тепер Росія) і Чарльз Таунс (Массачусетський технологічний інститут, США) були відзначені Нобелівською премією за основні дослідження в квантовій електроніці, які привели до створення лазерів.

На сьогодні відомо понад 350 різних сфер діяльності людини де застосовуються лазери. Це – локація, системи передачі інформації, спектроскопія, телебачення, біологія, медицина, військова справа, синтез нових матеріалів, обробка конструкційних матеріалів різанням, виготовлення отворів у волоках з надтвердих матеріалів (наприклад, з алмазу), за допомогою яких отримують надтонкий дріт, легування приповерхневих шарів виробів для поліпшення їх властивостей, виготовлення мікросхем тощо.

Основними елементами лазера є тіло та система збудження випромінювання. Тіло лазера виготовляють з твердих, рідинних та газових речовин.

Відомо чотири типи лазерів: тверді, напівпровідникові, рідинні та газові.

1. Тверді лазері. Це найпоширеніший вид лазерів, їх виготовляють з монокристалів штучного рубіну, скла, легованого неодимом тощо.

Монокристал *штучного рубіну* – це кристал оксиду алюмінію легований хромом (0,05%). Довжина тіла рубінового лазера дорівнює 45–240 мм, діаметр 3,5–16 мм. Коефіцієнт корисної дії рубінового лазера становить 0,1–0,5%, а інших не перевищує 2%.

Тіло *напівпровідникових* лазерів найчастіше виготовляють з арсеніду галію, сіліцію, легованого індієм, арсеніду індію тощо. Коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) напівпровідникових лазерів становить 40–50%. Крім великого к.к.д. ці лазері мають малі розміри. Тіло напівпровідникового лазера виготовлене з монокристала розміром 1 мм³. Це перспективний тип лазерів. Напівпровідникові лазері вже зайняли чільне місце у зв'язку, голографії, космічній техніці та медицині.

2. Газові лазері. Тілом у цих лазерів є суміш газів $CO_2 + He + N_2$. Оскільки гелій (*He*) дуже дорогий, то ведуться пошуки безгелієвих сумішей. Ось деякі: $CO_2 + N_2 + H_2O$; $CO_2 + N_2 + \text{повітря}$ тощо. Лазери, у яких тіло складається з таких сумішей, називають *CO₂-лазерами*, або *лазерами на CO₂*.

3. Рідинні лазері. Тіло рідинних лазерів виготовляють з розчинів неорганічних сполук рідкісноземельних елементів і органічних барвників, наприклад, оксихлорид селену з домішками неодиму.

На практиці для проведення технологічних процесів використовують тверді та газові лазері.

13.2. Схема та принцип роботи рубінового лазера

На рис. 16 зображено схему рубінового лазера. Великий кристал штучного рубіну **1** у формі стрижня з ретельно відполірованими торцями, покритими шаром срібла, поміщений у середину наповненої ксеноном спіральної лампи **2**, яку називають *лампою нагнітання*. Лампа живиться від батареї конденсаторів **3** і під час розрядження їх періодично спалахує. Рубіновий стрижень **1** вставлений у скляну трубку **4**, в яку безперервним потоком надходить охолодне середовище. Положення стрижня в трубці зафіксоване пружиною **5**. Під час інтенсивного спалахування лампи рубін освітлюється й атоми хрому,

поглинаючи світловий квант, переходять з нормального стану в збуджений унаслідок оптичного нагнітання. У момент, коли більша половина атомів хрому переходить у збуджений стан, рівновага стає нестійкою, атоми повертаються в нормальний стан і з кристала крізь напівпрозорий передній торець випромінюється пучок червоного світла **6**. За допомогою збірної лінзи (на рис. 16 не позначено) цей пучок світла можна сфокусувати на площу діаметром 1 мкм. Велика концентрація енергії дає змогу нагріти поверхню металу до температури у кілька тисяч градусів. Унаслідок цього метал миттєво розплавляється і частково випаровується із зони дії лазерного променя.

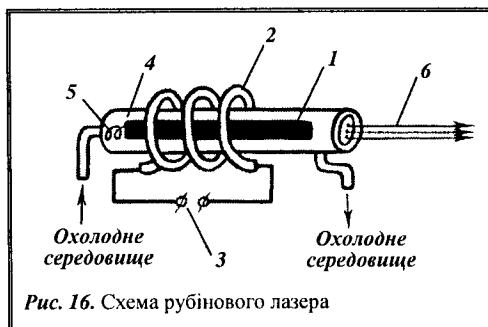


Рис. 16. Схема рубінового лазера

Лазерне випромінювання використовують як новий вид універсального інструмента яким обробляють матеріали різанням.

Порівняно з механічним різанням лазерне різання має такі *переваги*:

- ✓ відсутня механічна дія інструмента на оброблюваний матеріал, що дає можливість обробляти тонкі, крихкі заготовки без побоювання їх пошкодити;
- ✓ відсутні додаткові пристрої для закріплення заготовок (заготовки встановлюють на столі без закріплення);
- ✓ можна обробляти заготовки в важкодоступних або недоступних для звичайного інструмента місцях, завдяки гнучкості лазерного променя-інструмента;
- ✓ велика продуктивність різання завдяки безінерційності під час переміщення лазерного променя відносно заготовки;
- ✓ можна обробляти всі відомі на сьогодні конструкційні матеріали, завдяки можливості керувати нагріванням у зоні дії лазерного променя;
- ✓ повністю автоматизоване;
- ✓ виготовлені вироби мають ліпші властивості (надійність, довговічність тощо);
- ✓ поліпшує умови праці, підвищує культуру виробництва.

Лазерним променем виготовляють отвори у твердих сплавах, кераміці, коштовному камінні та інших матеріалах. За одну хвилину

можна виготовити до кількох тисяч отворів. Зараз досить гостро стоїть проблема економії матеріалів під час їх розкроювання. Лазерний промінь розкроює металевий лист у судно-, авіа-, чи автомобілебудуванні зі швидкістю різання кілька метрів на хвилину, а неметалеві матеріали – тканини, пластмаси, гуму ще швидше.

Керамічні матеріали дуже тверді, але порівняно легко ріжуться лазерним променем.

Перспективним у приладо- та машинобудуванні є лазерне зварювання мікровиробів, виготовлених з різних матеріалів. На відміну від електронно-променевого, лазерне зварювання не потребує складного обладнання та спеціальної вакуумної камери.

Лазерний промінь – універсальний інструмент у багатьох промисловостях. Його використовують навіть у медицині.



УЛЬТРАЗВУКОВІ ПРОЦЕСИ

Ультразвуковими називають такі технологічні процеси, у ході яких головним рушієм є ультразвук.

14.1. Поняття про ультразвук та його властивості

Ультразвуком (УЗ) називають пружні механічні коливання, які поширюються в середовищі з частотою понад 20 кГц.

Ультразвукові хвилі (як і світлові) відбиваються від перешкод, які зустрічаються на шляху їх поширення. Ці хвилі можна збирати у пучок і спрямовувати на об'єкт обробки чи дослідження. Падаючи на межу двох середовищ, наприклад, повітря – вода, кварц – алюміній, ультразвукові хвилі частково відбиваються, а частково проникають у друге середовище. Найкраще УЗ проходить через межу однофазних середовищ, наприклад, із твердої речовини у тверду, значно гірше – через межу різнофазних, наприклад, з рідини у тверду речовину і навпаки, і зовсім погано – із газу у рідину чи тверду речовину і навпаки.

14.2. Джерела ультразвуку

Джерелом ультразвуку є коливне тіло, частота коливань якого перевищує 20 кГц.

За принципом дії джерела УЗ поділяють на електродинамічні, магнетострикційні та п'єзоелектричні (електрострикційні). Вони відрізняються діапазоном частот ультразвуку, які випромінюють.

Так, *електродинамічні джерела* випромінюють УЗ коливання з частотою 30-40 кГц, *магнетострикційні* – до 200 кГц, а *п'єзоелек-*

тричні – від 100 кГц до 50 мГц. Для отримання УЗ коливань найчастіше застосовують магнетострикційні або п'єзоелектричні джерела.

1. Магнетострикційні джерела УЗ. В основі принципу дії *магнетострикційного випромінювача* лежить явище магнетострикції, яке у 1847 р. відкрив англійський фізик Дж. Джоуль. Вивчаючи вплив магнітного поля на лінійні розміри металів, Дж. Джоуль зауважив, що залізний стрижень у слабкому магнітному полі видовжується, а у сильному – скорочується. Нікелевий стрижень тільки скорочується.

Магнетострикцією називають зміну розмірів феромагнітних матеріалів під дією магнітного поля.

Явище магнетострикції сильно проявляється у нікелі, нержавіючій сталі. Великий магнетострикційний ефект має сплав пермендюр, який складається з 49% заліза, 49% кобальту і 2% ванадію. Саме з цього сплаву виготовляють магнетострикційні випромінювачі ультразвуку. Залежно від призначення магнетострикційні випромінювачі можуть мати різну форму. Найчастіше вони мають вигляд стрижня або труби з обмоткою, по якій проходить струм потрібної частоти, торцеві поверхні яких випромінюють ультразвук. Магнетострикційні випромінювачі мають просту будову, велику міцність, тривалий термін служби і є дешевими. Для отримання УЗ коливань великої потужності такі випромінювачі не потребують великих напруг. Проте за допомогою магнетострикційних випромінювачів можна отримати УЗ коливання значної інтенсивності тільки з частотами близько 200 кГц. Для отримання УЗ коливань більших частот довжина стрижня магнетострикційного випромінювача не повинна перевищувати один сантиметр.

2. П'єзоелектричні джерела УЗ. *П'єзоелектричний ефект* відкрито у 1880 р. французькими вченими братами П'єром і Жоржем Кюрі в процесі дослідження властивостей кристалів кварцу. Якщо на кварцеву пластинку подати електричну напругу, то вона змінить свої розміри – стиснеться або розтягнеться. Чим вища напруга, тим більшою буде деформація пластинки. Якщо на грані пластинки подати змінну напругу, то в такт коливанню напруги пластинка буде стискатись або розтягуватися, створюючи навколо себе звукові хвилі. Якщо прикладена напруга змінюватиметься з ультразвуковою частотою, то пластинка буде джерелом УЗ коливань. Крім кварцу, який є дуже крихким, п'єзоелектричні властивості мають інші кристалеві матеріали. Останнім часом усе частіше в різних установках використовую-

ють титанат барію, п'єзоелектричний ефект якого у 200 разів перевищує п'єзоэффект кварцу. Титанат барію дешевший ніж кварц. Випромінювачі УЗ коливань з титанату барію виготовляють способом порошкової металургії.

Ультразвукові перетворювачі живляться електричною енергією. Для цього використовують генератори, які виробляють струм великої частоти. Потужність, розміри та частоту коливань генератора вибирають згідно з його призначенням. Наприклад, в ультразвукових верстатах для механічного оброблення твердих сплавів і очищення поверхонь деталей потрібні генератори потужністю до 20 кВт, а для установок ультразвукової фізіотерапії – потужністю 10–20 Вт.

14.3. Використання ультразвуку

Ультразвук використовують при виконанні певних видів робіт та для прискорення технологічних процесів. Так, намокання у розчині деяких сортів шкіри при дубленні триває 5 діб, а з допомогою УЗ час намокання скорочується у 8 разів.

Важливу роль відіграє УЗ у процесі виробництва цементу: краще подрібнюється цементний клінкер.

Останнім часом усе ширше використовують УЗ для прискорення технологічних процесів у харчовій промисловості: соління м'ясних виробів, виготовлення овочевих консервів, пюре, майонезу, кремів, маргарину, дозрівання сиру тощо.

Широко використовують УЗ і при висушуванні сировини та готової продукції, особливо це дуже важливо у фармацевтичній і хімічній промисловостях, де висушування за високих температур може спричинити розпад та руйнування речовин. При висушуванні УЗ коливання поширюються назустріч рухові висушуваних речовин, тобто мають місце зустрічні процеси.

З кожним днем у машино- та приладобудуванні все ширше використовують тверді та крихкі конструкційні матеріали, такі як надтверді сплави, загартовані сталі, кераміку, скло, алмаз, кварц тощо. Оброблювати їх різанням на верстатах за допомогою інструментів (різців, свердел, фрез тощо) дуже важко, а то й зовсім неможливо. УЗ коливання використовують для різання матеріалів, які проводять електричний струм і які не проводять його: виготовляють отвори, канавки, нарізають різь на виробах, виготовлених в основному з крихких матеріалів (скло, кераміка, коштовне каміння тощо). Економічно

невигідно обробляти за допомогою УЗ в'язкі матеріали, такі як мідь, латунь.

Ультразвук допомагає виявити приховані дефекти у деталях, не руйнуючи їх. Прилади для виявлення дефектів називають *дефектоскопами*.

За допомогою УЗ очищають поверхні виробів перед нанесенням на них покриттів і перед паянням.

У процесі виробництва сірчаної кислоти за допомогою УЗ вловлюють сірчисті гази, які повертають у технологічний процес, а не забруднюють довкілля.

Ультразвук використовують військові моряки для виявлення підводних човнів, а також пошуку затоплених.



ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

15.1. Поняття про оптимізацію

З кожним днем актуальнішими стають економія сировини, палива, енергії, збільшення продуктивності технологічного обладнання, отримання якісної недорогої продукції, охорона довкілля. Досягти цього можна, якщо підтримувати такий технологічний режим (температура, тиск, час, порядок виконання робіт тощо), який був би найкращим з усіх можливих, тобто оптимальним.

Оптимізацією (від лат. «*optimus*» – найкращий) *технологічного процесу* називають спрямовану діяльність людини на пошук такого технологічного режиму, за якого буде отримано найкращий результат.

Таким результатом можуть бути *найменші* витрати сировини, палива, енергії; *найбільша* кількість вироблюваної продукції, *найліпша* її якість тощо.

Розглянемо задачу, яка полягає у пошуку оптимальної економічно вигідної послідовності обробки заготовок на різальних верстатах, за якої час виготовлення деталей буде найменшим.

Задача. Нехай маємо два верстати (токарний і шліфувальний) і дві заготовки, які по чергову переходять від одного верстата до наступного з метою виготовлення з них двох деталей: спочатку заготовку обробляють на токарному верстаті, потім — на шліфувальному. Шліфувати заготовку можна тільки після того, як закінчиться процес точіння.

Для першої заготовки час виконання операції точіння (T_1) становить 2 хв., а шліфування ($Ш_1$) – 5 хв.; для другої — відповідно T_2 – 3 хв. і $Ш_2$ – 6 хв. Виготовлення деталей можна починати з обробки будь-якої з двох заготовок.

Необхідно знайти оптимальну послідовність обробки заготовок, за якої час виготовлення деталей буде найменшим.

Розв'язування. Малюємо систему координат. На осі X відкладаємо час обробки заготовок (рис. 17).

Варіант 1. Виготовлення деталей починаємо з обробки першої заготовки. У верхній частині системи координат графічно зобразимо час виконання кожної операції (T_1 , $Ш_1$, T_2 , $Ш_2$). Як бачимо, загальний час виготовлення двох деталей становить 13 хв.

Варіант 2. Виготовлення деталей починаємо з обробки другої заготовки. Проведемо аналогічне, як у першому варіанті, зображення часу виконання кожної операції (T_2 , $Ш_2$, T_1 , $Ш_1$) у нижній частині системи координат. У цьому випадку загальний час виготовлення двох деталей становить 14 хв., тобто на 1 хв. перевищує тривалість виготовлення деталей за першим варіантом.

Отже, оптимальною буде та послідовність обробки заготовок, за якої роботу починають з першої заготовки, оскільки загальний час виготовлення деталей у цьому разі менший.



15.2. Моделювання технологічних процесів

Для визначення найкращого результату технологічний процес зображують у вигляді певної моделі.

Моделлю називають спрощене зображення досліджуваного об'єкта.

У процесі дослідження модель замінює досліджуваний об'єкт, дає нові пізнання про нього.

Моделі можуть мати вигляд графіків, рисунків, макетів, пристроїв (механічних, електричних) і формул. Модель завжди наближена до досліджуваного об'єкта. Вона може не враховувати деяких явищ, які відбуваються в об'єкті, і в той самий час успішно використовуватись для визначення дії на нього.

Побудова математичної моделі. Процес побудови моделі досліджуваного об'єкта, називають *моделюванням*.

Математична модель складається із системи формул, нерівностей або рівнянь, які з більшою або з меншою точністю описують явища, які відбуваються в об'єкті. У даному випадку досліджуванним об'єктом є технологічний процес (рис. 18).

Побудова математичної моделі технологічного процесу, зображеного на рис. 18, зводиться до знаходження виду залежності *вихідних параметрів* технологічного процесу від *параметрів, які впливають на його хід*.

Параметри, які впливають на хід технологічного процесу. На хід технологічного процесу впливають входні параметри, збурення та керуючі параметри.

Вхідними параметрами є склад сировини, необхідної для виготовлення продукції, її кількість тощо. Позначають їх відповідно $x_1, x_2, \dots, x_n$, а всі разом X .

Збуреннями можуть бути домішки, які містяться в сировині, тощо. Їх значення випадково змінюється з часом. Позначають їх відповідно $z_1, z_2, \dots, z_l$, а всі разом Z .

Керуючі параметри, до яких належить температура, тиск тощо позначають $k_1, k_2, \dots, k_r$, а всі разом K .

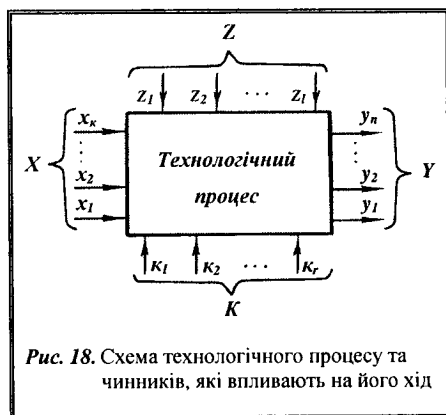
Вихідні параметри, – до них належать кількість проміжної чи готової продукції, побічної продукції, якщо вона є, відходів тощо, – визначаються станом технологічного процесу, який залежить від вхідних і керуючих параметрів та збурень.

Вихідні параметри позначимо відповідно $y_1, y_2, \dots, y_n$, а всі разом Y .

Значення вихідних параметрів, до яких належить кількість проміжної чи готової продукції, її склад тощо, залежать саме від вхідних.

Залежність між вихідними параметрами технологічного процесу та параметрами, які впливають на його хід, можна описати за допомогою функції вигляду:

$$Y = f(X, Z, K).$$



Це є загальний вигляд математичної моделі одиничного технологічного процесу (операції).

За допомогою математичної моделі можна прогнозувати поведінку технологічного процесу в разі зміни параметрів, які впливають на його хід.

Якщо технологічний процес виготовлення певного виду продукції складається з N одиничних технологічних процесів, то для всіх їх будуть подібні залежності. Побудувавши математичні моделі для всіх одиничних технологічних процесів, переходять до побудови математичної моделі складного технологічного процесу виробництва певного виду продукції, оскільки не можна аналізувати хід усього технологічного процесу за результатами окремих процесів.

Загальний вигляд математичної моделі складного технологічного процесу такий:

$$Y_i = F_i (X_i, Z_i, K_i), \quad i=1, N$$

Для кожного одиничного технологічного процесу, який проходить в окремому апараті чи агрегаті, ця функціональна залежність матиме конкретний вигляд, про це свідчить зміна символу функції f на F_i , що означає набір різних функцій для різних процесів.

15.3. Методи оптимізації технологічних процесів

Серед відомих методів оптимізації технологічних процесів найчастіше використовують *методи математичного програмування* (лінійного, нелінійного та динамічного), методи градієнтів, статистичні методи.

Наприклад, за допомогою *лінійного програмування* визначають оптимальний склад шихти, потрібної для виготовлення відливків певної якості за мінімальної собівартості складників шихти. Цей самий метод застосовують також для визначення оптимальної кількості виробів, виготовлених на різальних верстатах, для того, щоб прибуток від реалізації був максимальним.

За допомогою *нелінійного програмування* вибирають оптимальний маршрут перевезення будівельних матеріалів зі складу, який знаходиться на околиці міста, на будівельний майданчик. При цьому вра-

ховують профіль і характер покриття дороги, зношення автомобіля, витрати палива, правила дорожнього руху тощо.

Щоб вибрати метод оптимізації, який найкраще підходить для конкретного технологічного процесу, треба знати природу процесу (детермінований чи стохастичний /від грецьк. – випадковий, імовірний/), характер моделі (графік, рисунок, формула тощо) та мати про нього певну інформацію.

Розглянемо приклад побудови математичної моделі.

§ 15.3.1. Побудова математичної моделі

Задача. З п'яти сплавів різного складу та вартості виготовлених із *Pb*, *Zn*, *Sn* (табл. 1), потрібно виготовити новий.

Скільки треба взяти кожного з п'яти сплавів для виготовлення 1 кг нового сплаву мінімальної собівартості та такого складу: 20% *Pb*, 30% *Zn* і 50% *Sn*?

Згідно з вимогами до вибору методу оптимізації необхідно встановити природу процесу та характер моделі.

Досліджуваний процес (виготовлення сплавів) – *детермінований*. Характер моделі – *формули*.

Інформація про досліджуваний процес – *склад сплавів та їх вартість*.

Побудуємо математичну модель. Для цього введемо такі позначення x_i – кількість сплаву *i*-го виду, де $i = \overline{1, 5}$.

Таблиця 1

Номер сплаву	Склад сплаву, %			Вартість 1 кг сплаву
	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Sn</i>	
1	10	10	80	4,0
2	10	30	60	4,5
3	40	50	10	5,8
4	60	30	10	6,0
5	30	20	50	7,5

Перейдемо до запису математичної моделі:

1. Загальна вартість нового сплаву:

$$Z = 4x_1 + 4,5x_2 + 5,8x_3 + 6x_4 + 7,5x_5 \text{ (min)}. \quad (1)$$

2. Умова про те, що розрахунок ведеться на одиницю нового сплаву, тобто його маса дорівнює 1 кг:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 1. \quad (2)$$

3. Хімічний склад нового сплаву:

$$\begin{aligned} 10x_1 + 10x_2 + 40x_3 + 60x_4 + 30x_5 &= 20; \\ 10x_1 + 30x_2 + 50x_3 + 30x_4 + 20x_5 &= 30; \\ 80x_1 + 60x_2 + 10x_3 + 10x_4 + 50x_5 &= 50; \\ x_i &\geq 0; \quad i = \overline{1, 5}. \end{aligned} \quad (3)$$

Перше рівняння системи рівнянь (3) свідчить про вміст **Pb** в п'яти відомих сплавах і в новому, друге і третє – відповідно **Zn** та **Sn**.

Рівняння 1, 2 і 3 є математичною моделлю досліджуваного технологічного процесу, тобто виготовлення нового сплаву.

Модель у вигляді програми зберігається у пам'яті комп'ютера. Пробуючи різні керуючі дії на модель, вибираємо ті з них, які найбільше задовольняють оптимальний критерій.

Частина III

Технологічні системи

Розділ 16. **ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМИ**

Розділ 17. **ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ
ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ**



ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМИ

16.1. Поняття про системи та їх складові

У Світі все складається з систем. Машина, живий організм, суспільство в цілому або його частина – усе це системи. Одні системи вивчені досить добре, інші тільки починають складати та вивчати. Так, людству давно відома сонячна система; живі організми мають нервову, серцево-судинну та інші системи. Усі машини та механізми належать до технічних і технологічних систем.

Кожна система виконує певну роль, наприклад, двигун перетворює один вид енергії на інший; прядильний верстат переробляє волокна на нитки.

Системою (від грецьк. – ціле, складене з частин) називають сукупність частин (елементів), поєднаних спільною функцією.

Так, якщо автомобіль розглядати як систему, то окремі його деталі будуть елементами цієї системи. Інший приклад, ректифікаційна колона – система, її елементами є тарілки, на яких збираються окремі нафтопродукти. Якщо за систему виберемо цех, то її елементами будуть окремі дільниці тощо.

Між елементами системи існують функціональні зв'язки у вигляді потоків. Потоки бувають матеріальними, тепловими, енергетичними, інформаційними тощо. Фактично вони існують разом.

Залежно від потреби аналізу в системі можна виділити підсистему.

Підсистемою називають виділену за якимись ознаками частину системи, яка має певну мету та взаємозв'язана із системою.

Так, у кровоносній системі підсистемою є серце. Якщо розглядати машину як систему, то двигун буде підсистемою, а деталі – елементами цієї системи. Поняття елемент, підсистема та система взаємопов'язані, дивлячись з якої позиції розглядати їх складові частини. Так, конструктор розглядає машину на рівні деталей. Отже, машина є системою, двигун – підсистемою, а деталі елементами підсистеми та

системи. Матеріалознавець свої дослідження проводить на рівні атомів, які є елементами системи матеріал. Підсистемою в системі матеріал може бути окрема фаза, наприклад, цементит у системі сталь. Розглянемо ще один приклад: виробничо-промислове об'єднання, підприємство і цех відповідно будуть системою, підсистемою та елементом. Якщо розглядати підприємство як систему, то цех буде підсистемою, а його ділянки елементами. Усі складові системи «підприємство» пов'язані з ним єдиною метою – виготовленням продукції.

Кожна система має свої особливості. Так, невід'ємним елементом соціально-економічних систем, до яких належать виробничо-господарські комплекси, підприємства, об'єднання, галузі тощо, є колективи людей. Людина активно бере участь у формуванні названих систем, впливає на характер їх зв'язків і відношень, функціонування та роз-

виток.

Кожна система має оточення. Теоретично – це все, що її охоплює, але не входить до складу. Структура системи складається з множини елементів (E) і зв'язків між ними, які виражені у вигляді потоків (Π) (рис. 19). Середовище та система взаємодіють через вхідні (X_1, X_2) та вихідні (Y) канали зв'язку. Через входи система сприймає вплив інших систем або їх складових, а через виходи сама діє на них.

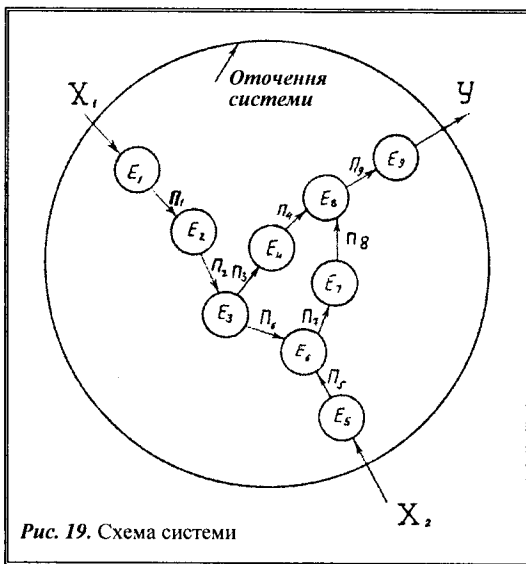


Рис. 19. Схема системи

16.2. Класифікація систем

Усі системи поділяють на класи за певними ознаками: походженням, ієрархією, складністю, зв'язками з оточенням тощо.

1. **За походженням.** За цією ознакою усі системи поділяють на природні та штучні. Природні системи існують у Природі, штучні системи створила Людина для задоволення своїх потреб. До штучних систем належать виробничі, технологічні, технічні, хімічні та ін.

Виробничі системи створені людиною для виготовлення необхідної продукції. Їм властиві зміни, які спричинені науковими винаходами, зміною форми організації виробництва, впливом людини тощо. Ці зміни спрямовані на підвищення техніко-економічних показників виробничої системи.

Технологічні системи є складовими частинами виробничих систем. Вони створені для перероблення сировини у проміжну або готову продукцію.

Технічні системи – це машини, апарати, агрегати, печі, прилади, транспортні засоби тощо. Технічні системи можуть існувати окремо або входити до складу елементів технологічних систем.

Технічні системи менш рухливі ніж інші. Вони повільніше адаптуються до зовнішнього середовища. Однак це не означає, що вони незмінні. Саме на них має великий вплив науково-технічний прогрес.

Технічні системи дуже дорогі. Їх замінюють у двох випадках: коли є кошти на їх заміну і, коли є щось краще. Це залежить від розвитку науково-технічного прогресу.

Якщо порівняти між собою аналогічні технічні системи, які створені у різний час, то легко можна виявити певні тенденції у змінах. Для прикладу розглянемо легковий автомобіль. З часу винайдення автомобіля поліпшилась його форма, зменшився розмір двигуна, внаслідок чого збільшилась швидкість і надійність автомобіля, зменшилися витрати палива та забруднення довкілля.

Попит на технічні системи, навіть після винайдення нових, більш ефективних не завжди спадає до нуля. Наприклад, плуг і трактор, серп, коса і косарка тощо. Винахід нових високопродуктивних систем не викреслив з людського життя їх простих попередниць.

Час переходу технічних систем від задуму до готових виробів є дуже різним. Якщо у минулому він тривав кілька десятків років, то у XX ст. ці терміни скоротилися до кількох років. Наприклад, ідея фотографії пробивала собі дорогу 112 років, радіо – 35, телевізора – 12, транзистора – 5, інтегральної мікросхеми – 3 роки. У майбутньому буде тенденція на ще більше скорочення часу впровадження нових ідей у виробі.

2. За ієрархією (за поділом на вищий і нижчий рівень). За цією ознакою системи поділяють на макро- та мікросистеми.

Поняття «**елемент**» і «**система**» відносні, оскільки одна система може бути елементом іншої системи більшого масштабу, а елемент системи можна поділити на складові частини, отже, він може бути системою, але нижчого рівня. Саме тому введено поняття ієрархії систем.

Система нижчого рівня знаходить більш універсальне застосування, ніж вищого. Наприклад, гвинт застосовується в машинобудуванні скрізь, електричний двигун – часто, а вже технологічна лінія – лише для певних потреб.

3. За складністю структури. Складність системи визначається її структурою, числом елементів і зв'язків, обсягом інформації, закладеної в систему тощо.

Отже, за складністю структури системи поділяють на *безмежно складні* (наприклад, людський мозок); *дуже складні* (повністю автоматизоване підприємство); *складні* (університетська бібліотека, легковий автомобіль) та *прості* (з'єднання двох деталей у вузол за допомогою прогонича).

4. За зв'язками з оточенням. За цією ознакою системи поділяють на відкриті, які мають принаймні один вхід і вихід; замкненні без зв'язку з оточенням; комбіновані.

Крім описаних ознак класифікації систем існують ще інші, але під час вивчення основ даної дисципліни їх розглядати не будемо.

16.3. Технологічна система та її складові

Технологічною системою називають об'єкт, який взаємодіє із зовнішнім середовищем, складається з великої кількості елементів, які взаємопов'язані між собою потоками і функціонують як єдине ціле із спільною метою – забезпечити економічно доцільну переробку сировини на потрібну продукцію.

Елемент технологічної системи складається з технічної системи, і технологічного процесу (операції), який відбувається у технічній системі або за її допомогою.

Прикладом технічної системи може бути млин, піч, прес-форма, верстат, ніж тощо. У цих технічних системах відбуваються відповідні технологічні процеси, наприклад, у млині – подрібнення, у печі – випалення тощо. Ще один приклад: на токарному верстаті (технічна система) різанням (технологічний процес) заготовці надають певної форми, розмірів та шорсткості поверхні.

Підсистема технологічної системи складається з одного або кількох елементів. Підсистема функціонує як самостійна частина системи.

Зв'язок між складовими системи (підсистемами і елементами) відбувається за допомогою потоків.

Потоки відображають перенесення сировини чи проміжної продукції, енергії тощо від одного елемента до іншого.

Технологічна система із довкіллям зв'язана входами і виходами, через які обмінюється сировиною, проміжною або готовою продукцією, відходами, побічною продукцією, енергією та інформацією.

Через входи система сприймає дію інших систем та підсистем виробництва. Через виходи сама діє на них.

Технологічні системи **складні і багатостадійні**: складні, оскільки складаються з великої кількості підсистем і елементів; багатостадійні, оскільки перехід від сировини до готової продукції в багатьох випадках потребує багаторазового перероблення попередньо отриманої продукції або проміжною продукції.

Основними стадіями у технологічній системі є підготовка сировини до переробки; перетворення сировини; виведення з системи напівготової і побічної, якщо вона є, продукції та відходів.

На **першій стадії** мають місце лише фізичні та механічні процеси, а тому підготовлена сировина без хімічних змін переходить на другу стадію для перетворення.

На **другій стадії** проходять фізико-хімічні та хімічні процеси, внаслідок яких утворюються проміжна або готова і побічна продукція та відходи.

На **третьій стадії** (виведення продукції із системи) хімічних перетворень немає. Тут проходить розділення на проміжну, готову і побічну продукцію та відходи. Часом має місце вилучення сировини, яка не потрапила у взаємодію.

Наприклад, виробництво чавуну: на **першій стадії** має місце подрібнення руди, флюсу і підготовка шахти; на **другій** – горіння палива, відновлення заліза та домішок із їх сполук, науглецювання заліза тощо; на **третьій** – розділення отриманої продукції на: чавун, шлак, доменний газ, пил тощо.

За ієрархією технологічні системи поділяються на макро- та мікросистеми. Відповідно до цього поділу технологічні системи аналізують на макро- та мікрорівні. До макросистем належать, наприклад, територіально-промислові комплекси та галузі. Технологічні системи, які розглядають на рівні об'єднання чи підприємства, належать до мікросистем. Технологічні системи обох рівнів взаємопов'язані. На сьогодні найкраще піддаються аналізу мікросистеми. Щоб виявити економічність системи, треба проаналізувати її кожную складову частину.

За зв'язками з оточенням технологічні системи поділяють на відкриті, замкнені та комбіновані.

Відкриті системи складаються з елементів, в яких сировина повністю перетворюється на готову продукцію за час перебування в елементі. На виході із системи отримують готову продукцію. Наприклад, виробництво сталі у кисневому конвертері (англ. від лат. «*convertio*» – перетворюю).

У замкненій (циркуляційній) системі передбачено багаторазове повернення сировини або одного з її компонентів до того самого елемента для перетворення на продукцію. Такі системи використовують у виробництві поліетилену високого тиску, під час якого лише 20% етилену перетворюється у поліетилен, решта етилену після очищення знов повертається до того самого елемента.

У комбінованих системах одна зі складових сировини послідовно проходить усі елементи, а друга циркулює багато разів через окремі елементи системи. Такі системи використовують, наприклад, при виробництві бензину: для відновлення активності каталізатор постійно циркулює між контактним апаратом, де відбувається каталітичний процес і регенератором, в якому його поверхня очищується від вуглецю.

Замкнені та комбіновані системи компактніші, ніж відкриті. У них менші витрати електричної енергії, палива, повніше використовується сировина, менше утворюється побічної продукції, взаємодія реагуючих речовин проходить з великою швидкістю, внаслідок чого повніше використовується об'єм агрегату. Отримана продукція якісніша.

Замкнені і комбіновані системи є основою створення маловідходних і безвідходних технологій.



ТЕХНОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА ЦУКРУ

17.1. Основні відомості про цукор та сировину, з якої його виробляють

Цукром називають солодку на смак речовину, яка легко розчиняється у воді та швидко засвоюється організмом людини.

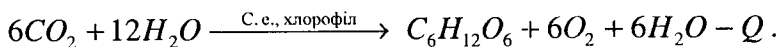
Цукор є високопоживним продуктом харчування. Його назва походить від німецького слова «*Zucker*».

За хімічним складом цукор майже повністю складається з цукрози ($C_{12}H_{22}O_{11}$). Цукроза міститься у рослинах. Найбільший вміст цукрози є у цукровій тростині (до 18%) та коренеплодах цукрових буряків (до 25%). Саме з цих рослин виробляють цукор у світі. З цукрової тростини виробляють цукор у Мексиці, Бразилії, Кубі, Філіппінах та інших країнах Америки, Азії, а також у Австралії. У країнах Європи і США цукор виробляють із коренеплодів цукрових буряків. З цукрової тростини виробляють більше цукру, ніж з коренеплодів цукрових буряків.

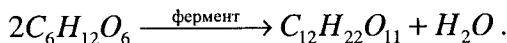
В Україні цукор виробляють з коренеплодів цукрових буряків.

Для виробництва цукру необхідно мати: коренеплоди цукрових буряків, воду, вапняк, сірку тощо.

1. Цукрові буряки. У листках цукрових буряків унаслідок реакції фотосинтезу під дією сонячної енергії (*С.е.*) і CO_2 , що є в повітрі, утворюється фруктоза та глюкоза:



Фруктоза та глюкоза з листя цукрових буряків переходять у коренеплоди і під дією ферменту перетворюється на цукрозу:



Цукроза поступово нагромаджується у коренеплодах цукрових буряків, які є сировиною для отримання цукру. У середньому у коренеплодах цукрових буряків міститься 16–17% цукрози.

Цукроза – кристалічна речовина солодка на смак, добре розчиняється у воді, кристалізується з перенасичених розчинів у блискучі кристали.

2. Вода. Виробництво цукру потребує великої кількості води: для миття коренеплодів цукрових буряків, отримання дифузійного соку, вапняного молока, водяної пари, охолодження обладнання тощо. До кожного виду води ставлять певні вимоги. На багатьох дільницях цукрового заводу використовують оборотну воду.

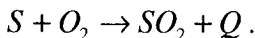
Для очищення дифузійного соку від домішок, які погіршують кристалізацію цукрози і надають цукрові жовтуватого забарвлення використовують вапняне молоко, сатураційний і сульфітаційний гази.

3. Вапно і сатураційний газ. Ці речовини отримують при випаленні вапняку (CaCO_3) безпосередньо на цукровому заводі. Для цього вапняк випалюють у печі, у нижній частині якої вибирають вапно (CaO), а у верхній — виходить газ складу: 30–36% CO_2 , 60% N_2 , 0,5–4% CO і до 0,5% O_2 . Цей газ називають *сатураційним* (від лат. «*saturatio*» – насичення, наповнення).

З вапна отримують вапняне молоко. Для цього до вапна додають воду з розрахунку: на 1 кг CaO витрачається 5,3 кг H_2O .

Вапняне молоко і сатураційний газ перед використанням очищують від домішок.

4. Сульфітаційний газ. На цукровому заводі сульфітаційний (від лат. «*sulphur*» – сірка) газ отримують спалюванням сірки на повітрі:



Сульфітаційний газ складається із суміші SO_2 (10–15%) і *повітря* (85–90%). Перед використанням сульфітаційний газ очищують від твердих частинок. Внаслідок сульфітації зменшується забарвлення дифузійного соку.

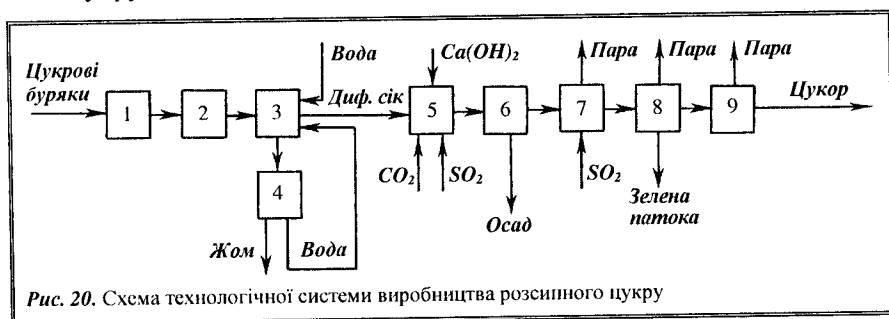
17.2. Технологічна система виробництва розсипного цукру

Як засвідчує відомий дослідник вітчизняної історії цукрової промисловості академік Г.К. Воблий, перший цукровий завод (цукроварню) в Україні побудовано в 1824 р. в селі Макошин на Чернігівщині.

Цукровий завод (цукроварня) є великим, добре оснащеним сучасною технікою підприємством, яке працює цілодобово. Цукрові заводи працюють сезонно: починають 10-20 вересня, коли починають викопувати цукрові буряки, а закінчують в першому кварталі наступного року. Великі заводи за добу переробляють 5-6 тис. тонн коренеплодів цукрових буряків.

Технологія отримання цукру є безперервною, складною і багато-стадійною. На кожній стадії проходять одиничні технологічні процеси. Основними з них є: миття та подрібнення коренеплодів; отримання дифузійного соку та його очищення від домішок; випарювання дифузійного соку; кристалізація цукрози; висушування і пакування готової продукції (цукру). Ці процеси відбуваються у певних апаратах і разом з ними становлять елементи технологічної системи.

Спрощену схему технологічної системи (ТС) виробництва розсипного цукру подано на рис. 20. У тексті складові *елементів* виділено.



Елемент 1. Коренеплоди цукрових буряків *миють* у воді в *мийній машині*. В одній машині можна помити за добу до 1,5 тисячі тонн коренеплодів буряків. Є і потужніші машини.

Елемент 2. Помиті коренеплоди цукрових буряків (*Б*) надходять до *різальної машини* для подрібнення.

На початку розвитку цукроваріння коренеплоди подрібнювали на тертках і з подрібненої маси на потужних пресах витискали сік. При цьому способі отримання соку багато цукрози залишалося в жомі.

Тепер помиті буряки зважують на автоматичних порційних вагах і подають у бункер, з якого буряки надходять до машин для подрібнення. Найкраще подрібнені буряки є тоді, коли довжина стружки становить 9–15 см, а її товщина 0,5–1,0 мм.

Елемент 3. У цьому елементі отримують дифузійний сік. Для цього стружку нагрівають до температури 60°C і стрічковим транспор-

тером подають у *дифузійний апарат* для *вимочування*, в якому назустріч стружці надходить гаряча вода. При контакті стружки з водою цукристі та інші речовини із стружки переходять у воду. Оскільки цей перехід відбувається за рахунок *дифузії*, то утворений розчин називають *дифузійним соком*. На сучасних цукрових заводах дифузійні апарати працюють безперервно. За добу у них вимочують 1,5–4,5 тис. тонн бурякової стружки. Час вимочування стружки у воді не повинен перевищувати 65–70 хв. Якщо тривалість вимочування буде довшою, то у стружці та дифузійному соку почнуть розмножуватись мікроорганізми, які споживають цукрозу внаслідок чого кількість цукру зменшиться. Щоб запобігти цьому у дифузійний апарат через кожні дві години подають 40%-ний розчин технічного формаліну (10 л на 100 тонн стружки).

Елемент 4. Знецукрену стружку *відтискають* на *шнекових* (нім. «*Schnecke*» – слимак) *пресах* і отримують буряковий жом.

Залишок від бурякової стружки після вимивання цукристих і нецукристих речовин називають *жомом*.

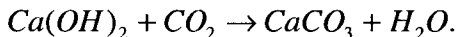
Після висушування за температур 800–850°C у сушарнях або сирим жом використовують для відгодівлі тварин. Воду, що залишилася після відтискання жому, очищують від завислих частинок і стерилізують. Якщо вміст домішок великий, то до них додають сульфат алюмінію ($Al_2(SO_4)_3$), в присутності якого завислі частинки легко осідають на дно. Після очищення і стерилізації воду повертають у дифузійний апарат 3.

Елемент 5. Дифузійний сік складається з води, цукрози, нецукристих речовин; у ньому є забарвлюючі речовини, які легко окислюються на повітрі і надають йому темного кольору. Крім того у соку містяться білки, пектинові речовини, солі фосфорної та інших кислот, завислі частинки тощо. У присутності великої кількості нецукрів цукроза кристалізується повільно, і вміст її в малясі зростає, що спричиняє менший вихід цукру.

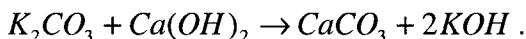
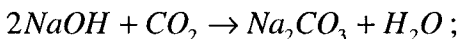
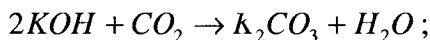
Для отримання максимального виходу цукру дифузійний сік очищують від нецукристих та інших речовин. Елемент 5 об'єднує у собі *різне обладнання* (трубові нагрівачі; апарати, в яких очищується сік; змішувачі, відстійники, фільтри тощо) і *процеси*, які проходять у ньому. З усіх речовин, які використовуються для очищення дифузійного соку, найпридатнішим і дешевим є гашене вапно, яке додають до дифузійного соку у вигляді вапняного молока. До соку, нагрітого до 85–90°C, додають 12–15% вапняного молока. У розчині відбуваються

хімічні та фізико-хімічні процеси: реакції обміну, коагуляція колоїдів, нецукристих речовин і випадання в осад продуктів реакції.

Надлишок Ca(OH)_2 у дифузійному соку осаджують сатураційним газом, який містить в собі CO_2 :



Одночасно з очищенням соку від Ca(OH)_2 сік очищується від інших лугів, а також солей:



Щоб зменшити забарвлення дифузійного соку його продувають сірчистим газом (SO_2). Процес сульфатації проводять за температури 85°C протягом 5 хв.

Для очищення дифузійного соку і сиропу на практиці затрачають близько 40 кг сірки на 1000 тонн цукрових буряків.

За допомогою вапняного молока з соку виводять лише 40% нецукристих речовин. Для повнішого очищення соку застосовують іонообмінники (аноніти і катоніти), які діють за принципом очищення води (див. § 2.2.3).

Очищений сік пропускають через активоване вугілля для дальшого знебарвлення, а потім через онообмінники.

Застосування онообмінників збільшує вихід цукру близько 8-10% до ваги цукру у буряках і зменшує кількість відходів.

Елемент 6. Для відокремлення осаду і завислих частинок від дифузійного соку використовують *відстійники, фільтрпреси, вакуум-фільтри і механічні преси*. У цьому обладнанні відбуваються *відповідні технологічні процеси*. Для прискорення цих процесів дифузійний сік нагрівають до $98\text{--}100^\circ\text{C}$. У відстійниках тверді частинки осідають під дією сили тяжіння.

Фільтри виготовляють з корозієстійкої сталі або кольорових металів, тканин із синтетичних і природних волокон тощо. Фільтри у порівнянні з відстійниками мають більшу продуктивність, оскільки відокремлення осаду відбувається під тиском 0,07 МПа, внаслідок чого швидкість згущення осаду зростає. У фільтраційному осаді міститься 75–80% CaCO_3 і 20–25% органічних та мінеральних нецукристих ре-

човин, серед них білок, кальцієві солі щавелевої, лимонної, яблучної та інших кислот тощо. Його використовують у сільському господарстві для удобрення і вапнування кислих ґрунтів. Випалений осад можна використовувати знов для очищення дифузійного соку.

Елемент 7. Очищений дифузійний сік – це ненасичений розчин цукрози і нецукристих речовин у воді. Для отримання цукру дифузійний сік випарюють до сиропу, а потім до пересиченого розчину, в якому зароджуються центри кристалізації, навколо яких ростуть кристалики цукру. Дифузійний сік *випаровують* у два заходи: спочатку у *випарниках*, а потім у *вакуум-апаратах*. Двоступеневе випарювання соку знижує витрату палива майже у 2,5 рази у порівнянні з одноступеневим. Крім того отриманий цукор якісніший.

Щоб зменшити витрати палива, а отже і водяної пари, якою підігрівають дифузійний сік, пару використовують багаторазово у кількох випарниках, які працюють безперервно. Температура кипіння соку у першому випарному апараті не перевищує 126–128°C, а в останньому не може бути нижчою за 60°C. Тиск також знижується при переході соку від першого до останнього випарника.

Сироп, що утворився після випарювання соку, має забарвлення. Щоб отримати білий цукор сироп *продувають* сірчистим газом і *фільтрують*.

Елемент 8. Очищений сироп надходить у *вакуум-апарат*, де відбувається подальше *випаровування* води і *кристалізація* цукрози. Отримана проміжна продукція складається з кристалів цукрози (55–60%) і води (7,5%).

З вакуум-апарату продукцію випускають у *мішалку*, де продовжується *ріст кристалів*, а потім у *центрифуги*. Під дією відцентрових сил кристали цукру відокремлюються від розчину, в якому містяться нецукристі речовини. Цей розчин називають *зеленою патокою*.

Із зеленої патоки після додаткового вилучення цукру отримують *харчову патоку* (майже чорного кольору). Харчова патока (*маляс*) містить 48–50% цукру і 32–34% нецукристих речовин. Її використовують для виготовлення етилового і бутилового спиртів, лимонної і молочної кислот, хлібопекарських дріжджів, частково для здобрювання грубих кормів для тварин тощо.

На виробництво етилового спирту використовується 70% малясу; для дріжджів і здобрення грубих кормів для тварин – 25%, з решти виробляють інші речовини.

Кристали цукру залишаються на стінках центрифуги. Їх промивають водою і пропарюють. Рідину, що утворилася після промивання кристалів цукру, називають *білою патокою*. Її повертають до сиропу.

Елемент 9. Вибраний з центрифуги цукор подають у *сушарні* або у *печі* з «псевдокиплячим шаром» для *висушування*. Висушений цукор має бути сухим, не липким на дотик, сипким, без грудочок і сторонніх домішок.

Розсипний цукор – це суміш кристалів різної величини. Розмір кристалів цукру коливається від 0,55 до 0,95 мм. В одному грамі маси цукру міститься від 1500 до 5000 кристалів. Кристали мають блискучі грані.

Розчин розсипного якісного цукру у воді є прозорим. Він не містить мікроорганізмів і не пінитися.

Висушений цукор зважують і пакують у мішки з тканини або у паперові чи поліетиленові торбинки.

Зберігають цукор у сухих приміщеннях, де відносна вологість повітря не перевищує 70%.

17.3. Технологічні системи виробництва кускового цукру

З метою підвищення якості цукру та надання йому певної форми розсипний цукор переробляють на кусковий. Виробляють кілька видів кускового цукру. Серед них кусковий пресовано-колотий. Куски цього виду цукру мають форму паралелепіпеда.

Кусковий цукор можна виробляти на тих самих заводах, де й розсипний, якщо забезпечити їх потрібним обладнанням.

Для виготовлення кускового цукру розсипний цукор розчиняють у чистій, нагрітій до 90°C, воді. Отриманий сироп фільтрують через шар гравію для вилучення великих механічних домішок, потім через щільну тканину. Профільтрований сироп очищують від нецукристих речовин і знебарвлюють. Для знебарвлення сиропу використовують деревне вугілля, іоніти та інші речовини. Дальше очищення сиропу відбувається у процесі кристалізації, як і при виробництві розсипного цукру. Тому цей процес називають *перекристалізацією*, при якій сироп уварюють у вакуумних апаратах.

Кусковий цукор виробляють у різних технологічних системах. Ці системи відрізняються між собою елементами, у яких надають цукрові певної форми і розмірів.

Елементи, у яких формують кусковий цукор, складаються з різного обладнання, у якому проходять різні технологічні процеси. Так, при виробництві кускового пресовано-колотого цукру, елемент у якому формують куски, складається з преса, в якому з очищеного розсипного цукру (вологістю від 2,25 до 3%) пресують цукрові бруски. Отримані бруски висушують у тунельних сушарнях потоком гарячого повітря. Після охолодження бруски цукру розколюють на шматки відповідної форми, пакують у паперові пачки або мішки. Зберігають цукор у приміщеннях, де вологість не перевищує 80%.

Книга друга

ВИРОБНИЦТВО ПРОДУКЦІЇ

Частина IV

Основи матеріалознавства

Розділ 18. МЕТАЛИ ТА СПЛАВИ

Розділ 19. ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВІ СПЛАВИ

Розділ 20. СПЛАВИ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

*Розділ 21. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ
І СПЛАВІВ ТА СПОСОБИ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ*

*Розділ 22. КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ
ТА СПОСОБИ ЇХ ЗАХИСТУ*

*Розділ 23. ТЕРМІЧНА ТА ХІМІКО-ТЕРМІЧНА
ОБРОБКА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ*

Розділ 24. ПЛАСТМАСИ

*Розділ 25. КЕРАМІКА, МЕТАЛОКЕРАМІКА
ТА МІНЕРАЛОКЕРАМІКА*

Розділ 26. КОМПОЗИТИ

Матеріалознавством називають науку, яка вивчає зв'язки між складом, будовою, обробкою та властивостями конструкційних матеріалів.

Вивчення цих зв'язків є надзвичайно важливим оскільки знання їх полегшує пошук вибору конструкційного матеріалу для виготовлення технологічного обладнання, яке працюватиме за певних експлуатаційних умов.

Цими умовами можуть бути: висока або низька температура, тиск, навантаження, дія різних агресивних середовищ тощо. Не всі конструкційні матеріали можуть їх витримувати, а це призведе до аварій, які завжди супроводжуються матеріальними втратами і часто людськими жертвами.

Крім того, знання зв'язків між складом, будовою, обробкою та властивостями конструкційних матеріалів дає можливість замінити дорогі матеріали на дешевші, а також зменшити масу технологічного обладнання, що знизить його вартість.

Відомі на сьогодні конструкційні матеріали поділяють на такі групи: метали та сплави на їх основі; пластмаси; кераміка та металокераміка; композити. Важливе місце займають напівпровідникові та інші види матеріалів, які широко використовують у машинобудуванні.



МЕТАЛИ ТА СПЛАВИ

18.1. Будова металів і сплавів

Основна продукція металургійної промисловості – метали та сплави на їх основі. Використання металів потребує знання їх властивостей: фізичних, хімічних, механічних і технологічних. Властивості металів залежать не тільки від складу, а й від будови їх кристалічних комірок та структури. Тому, змінюючи внутрішню будову та структуру металів і сплавів, можна значно поліпшити їх властивості.

§ 18.1.1. Метали

Із 107 відомих на сьогодні хімічних елементів понад 85 – метали.

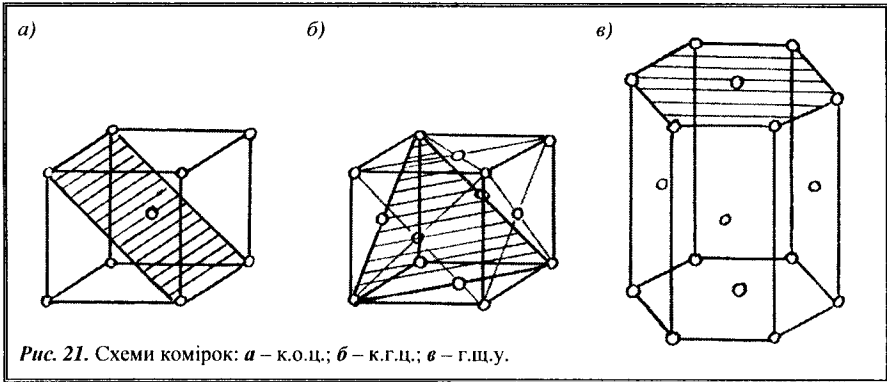
Металами називають хімічні елементи, які мають загальні спільні властивості: «металевий» блиск, пластичність, тепло- й електропровідність.

Ці властивості металів залежать від їх чистоти. У чистіших металах електропровідність і пластичність більші, але міцність менша. Так, титан, хром, вольфрам і деякі інші метали довгий час вважали крихкими. Після очищення від домішок до 10^{-6} – $10^{-5}\%$ ці метали легко оброблюються тиском навіть за низьких температур.

Метали в твердому стані можуть мати як кристалічну, так і аморфну будову. Кристалічна будова металів ґрунтується на закономірному розміщенні атомів¹ у просторі з утворенням елементарних комірок. Такі метали і сплави називають *кристалічними*. В аморфних металах комірки відсутні.

Для металів найхарактерніші три типи елементарних комірок: кубічна об'ємоцентрована (к.о.ц.), кубічна гранецентрована (к.г.ц.) і гексагональна щільно упакована (г.щ.у.). Схеми цих комірок зображено на рис. 21.

¹ Тут і далі вживатимемо термін «атом», «атоми», хоча насправді там є позитивно заряджені іони, а між ними рухаються вільні електрони.



Комірки кожного типу утворені певною кількістю атомів. Так, **кубічна об'ємноцентрована комірка** побудована з дев'яти атомів: вісім з них розміщені в вершинах куба, а дев'ятий – у центрі на однаковій відстані від шести граней. Таку комірку мають хром, молібден, вольфрам, ванадій, залізо (за температур: 0-911; 1392-1539°C) та інші.

Кубічна гранецентрована комірка побудована з 14 атомів, розташованих так: вісім – у вершинах куба, шість – у центрах граней. Саме таку комірку мають нікель, мідь, алюміній, залізо (за температур 911-1392°C) та інші.

Гексагональна щільно упакована комірка побудована з 17 атомів: 12 з них розміщені у вершинах верхньої та нижньої основ шестигранної призми, 2 – у центрі цих основ і 3 – усередині призми. Така комірка характерна для берилію, кадмію, цинку тощо.

Відстань між найближчими паралельними атомними площинами, які утворюють елементарну комірку називають **параметром комірки**. Її вимірюють у нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Для прикладу: параметр комірки хрому дорівнює 0,288 нм, алюмінію – 0,404 нм, міді – 0,36 нм.

Комірки об'єднуються в **кристаліти**. Метали – тіла полікристалітні. Місце дотику кристалітів один до одного називають **межею кристалітів**.

Реальні кристали, на відміну від ідеальних, будову яких описано раніше, мають багато дефектів: точкових, лінійних і поверхневих.

До **точкових дефектів** (рис. 22, а) належать вакансії **1**; атоми **2**, зміщені зі свого основного положення в міжвузля, і атоми домішок **3**.

Вакансіями називають вільні від атомів вузли кристалічної комірки.

Домішками можуть бути атоми металів і неметалів.

Основним видом *лінійних дефектів* є дислокації. *Крайову дислокацію* показано на рис. 22, б у вигляді краю «зайвої» півплощини 4 у комірці. Навколо дислокації комірка втрачає ідеальність. У разі іншого характеру зміщення атомів може утворитися *гвинтова дислокація*. Дислокації утворюються в процесі кристалізації. Цьому сприяють домішки, які є в розплаві. Існують також інші причини утворення дислокацій.

Експериментально встановлено, що межі кристалітів мають велику густину дислокацій. Утворенню дислокацій сприяють термічна обробка і особливо деформування. Наявність лінійних дефектів впливає на механічні властивості металів.

Наочним прикладом *поверхневих дефектів* є межі кристалітів. Через недосконалість меж кристалітів між кристалітами збираються домішки. Межі кристалітів істотно впливають на всі властивості металів.

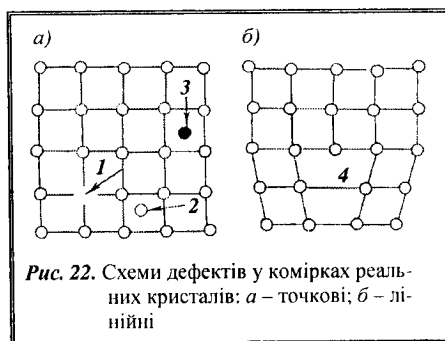


Рис. 22. Схеми дефектів у комірках реальних кристалів: а – точкові; б – лінійні

§ 18.1.2. Сплави

Чисті метали застосовують обмежено, в основному в електро- та радіотехніці. Основними конструкційними матеріалами є сплави. Порівняно з чистими металами сплави мають ліпші властивості.

Сплавами називають складні конструкційні матеріали, які отримують сплавленням або спіканням (можна й іншими способами) двох або більше металів чи металів з неметалами.

Прикладом сплавів є латунь – сплав міді та цинку, чавун – сплав заліза й вуглецю.

Сплави є складними системами. Елементами у системі сплав є компоненти і фази. Компонентами (від лат. «*componens*» (*componentis*) – той, що складає) можуть бути окремі хімічні елементи або їх сполуки.

За *кількістю компонентів* сплави поділяються на подвійні, потрійні тощо.

Фаза може складатися з двох і більше компонентів і виступати як підсистема або окрема система.

Фазою називають окрему однорідну складову частину сплаву, яка відмежована від інших частин (фаз) поверхнею розділу, у разі переходу через яку хімічний склад або структура змінюються.

Наприклад, у процесі кристалізації сплаву є дві фази: розплав (рідинний розчин) і утворені кристаліти.

Після кристалізації в твердих сплавах можуть утворитися кілька фаз. Такими фазами можуть бути кристаліти чистого металу, твердого розчину та хімічної сполуки.

За *характером взаємодії* компонентів сплаву за умов кристалізації та охолодження розрізняють три види простих сплавів: тверді розчини, хімічні сполуки та механічні суміші.

1. Тверді розчини. *Твердим розчином називають сплав, компоненти якого розчиняються в комірці одного з них.*

У процесі утворення твердих розчинів атоми розчиненого компонента стають на місце (заміщують) атомів розчинника в його комірці або втілюються у міжвузля. У першому випадку утворюються тверді розчини *заміщення*, а в другому – *втілення*.

Тверді розчини заміщення утворюють срібло й золото, нікель і мідь, молібден і вольфрам тощо.

Тверді розчини втілення утворюються в разі взаємодії металів з неметалами, які мають малі атомні радіуси, наприклад, сплав заліза та вуглецю. Утворені тверді розчини називаються *ферит* й *аустеніт* (див. § 19.1.2).

Тверді розчини не мають постійного хімічного складу, а відповідно й властивостей. Тверді розчини залежно від складу мають різні властивості. Вони менш пластичні, твердіші та міцніші за чисті метали. Тверді розчини не мають постійної температури плавлення та кристалізації: починають плавитися за нижчої температури, а закінчують за вищої; у процесі кристалізації навпаки (див. § 19.1.3, *Сплав І*).

2. Хімічні сполуки. При кристалізації сплавів деякі компоненти взаємодіють між собою з утворенням сполук, які мають постійну температуру плавлення (дисоціації) й особливий (відмінний від компонентів) тип комірки. Такі сполуки називають *хімічними*. Хімічні сполуки утворюються в разі взаємодії як металів з неметалами, так і самих металів. Прикладом взаємодії металів з неметалами є взаємодія заліза з вуглецем: $3Fe + C \rightarrow Fe_3C$, а металів з металами – міді з алюмінієм: $Cu + 2Al \rightarrow CuAl_2$. Отже Fe_3C (цементит – див. § 19.1.2) і $CuAl_2$ – хімічні сполуки. Хімічні сполуки мають певний хімічний склад, а також характерні фізико-механічні властивості: велику твердість і крихкість. У сплавах хімічні сполуки виділяються у вигляді включень, розміщених у кристалітах або по їх межах.

3. Механічні суміші. *Механічною сумішшю називають сплав, який складається із кристалітів різних фаз: чистих компонентів, твердих розчинів, хімічних сполук.*

Наприклад, сплав свинцю та стибію. Після кристалізації цей сплав складається з кристалітів чистих компонентів: стибію та свинцю, які зберігають свої комірки.

Евтектикою (від грецьк. – легкоплавкий) називають механічну суміш, складові якої одночасно кристалізуються з розплаву чи розчину.

Евтектичний сплав порівняно з компонентами має найнижчу температуру плавлення. Наприклад, сплав свинцю (87%) і стибію (13%) плавиться за температури 246°C, тоді як компоненти свинець та стибій – за температури відповідно 327 і 630°C. Прикладом евтектичних сплавів є перліт і ледебурит (див. § 19.1.3). Механічні суміші мають добрі ливарні властивості.

Структурні складові сплавів (кристаліти чистих металів, твердих розчинів і хімічних сполук) добре видно за допомогою металографічного мікроскопа при збільшенні від 50 до 2000 разів.

§ 18.1.3. Поліморфізм

Поліморфізмом (від грецьк., що означає різноманітний) називають здатність деяких металів змінювати свою кристалічну будову, тобто тип комірки, залежно від температури.

Таких металів є понад 30 (кобальт, залізо, титан та ін.).

Перехід металу з однієї модифікації (лат. «*modificatio*» – видозміна) в іншу називають **поліморфним перетворенням**.

Поліморфні модифікації позначають літерами грецького алфавіту α (альфа), β (бета), γ (гамма), δ (дельта), які ставлять перед назвою металів, наприклад, α -залізо (α -Fe), або додають до їх символів Fe α . При цьому літерою α називають ті модифікації, які існують до температури першого поліморфного перетворен-

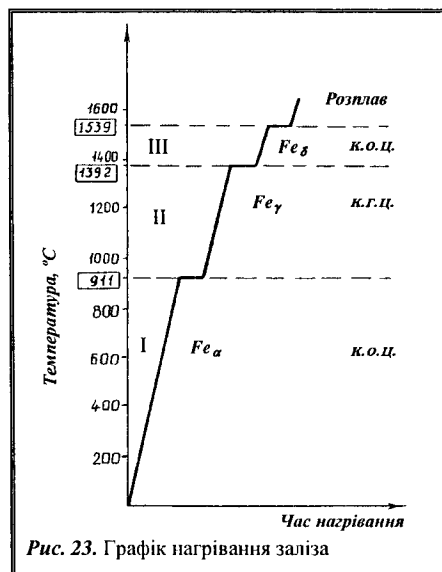


Рис. 23. Графік нагрівання заліза

ня; β – до температури другого тощо. Наприклад, залізо має три модифікації: Fe_{α} , Fe_{γ} , Fe_{δ} (рис. 23). До температури 911°C залізо має к.о.ц. комірку; його називають *альфа-залізом* (Fe_{α}). За температури 911°C комірка заліза змінюється з к.о.ц. на к.г.ц. Таке залізо називають *гамма-залізом* (Fe_{γ}). За температури 1392°C к.г.ц. комірка знову перетворюється на к.о.ц., яка зберігається до температури плавлення – 1539°C . Таке залізо називають *дельта-залізом* (Fe_{δ}).

Разом із зміною комірки металу змінюються його об'єм і властивості: пластичність, здатність розчиняти в собі інші елементи в різній кількості тощо. Наприклад, у альфа-залізі (Fe_{α}), яке має к.о.ц. комірку, розчиняється до 0,02% вуглецю, в той час, як у гамма-залізі (Fe_{γ}), яке має к.г.ц. комірку, розчиняється аж до 2,14%.

Перехід металу з однієї модифікації в іншу відбувається за сталої температури, яку називають *температурою поліморфного перетворення* або *критичною точкою*. Залізо має дві температури поліморфного перетворення: перша – 911 , друга – 1392°C .

Поліморфізм має велике практичне значення. Він лежить в основі термічної та хіміко-термічної обробки металів і сплавів, використовується в процесі легування металів і сплавів та під час оброблення тиском.

§ 18.1.4. Анізотронія

Анізотронією називають зміну властивостей металу чи сплаву залежно від напрямку його дослідження.

На заштрихованих площинах рис. 21 бачимо, що в різних площинах кристалічної комірки число атомів і відстань між ними різні. Відповідно і властивості цих металів у різних напрямках також відрізнятимуться. Якщо взяти великий кристаліт, вирощений спеціальним способом, вирізати з нього кілька однакових за розміром, але по-різному орієнтованих зразків і визначити їх властивості (наприклад, міцність), то іноді спостерігається значна їх відмінність. Наприклад, у процесі випробування зразків, виготовлених із монокристалу міді, відносне видовження змінювалося від 10 до 50% для різних зразків.

Метали, які затверділи за звичайних умов, складаються із безлічі кристалітів, по-різному орієнтованих один до одного. Тому властивості полікристалітних металів у різних напрямках приблизно однакові.

Якщо полікристалітні метали обробляти тиском (вальцюванням, волочінням тощо), то кристаліти орієнтуються в напрямі дії сили, і тоді

властивості металу вздовж і поперек утворених кристалітів будуть різними.

18.2. Аморфні метали та сплави

Аморфні метали та сплави – це один із видів нових конструкційних матеріалів. Їх отримують у разі дуже швидкого охолодження розплавів. Швидкість охолодження в основному становить 10^3 - 10^{10} °C/с. Таких великих швидкостей охолодження досягають у розплавах, товщина шарів яких не перевищує десятки мікрометрів. У разі більших товщин розплавів отримати аморфні метали та сплави неможливо, оскільки відведення теплоти з середини на зовні спричинить нагрівання аморфних шарів, унаслідок чого формуються кристали. Тому аморфні метали і сплави виробляють у вигляді фольги, тонких стрічок та дроту.

Аморфні метали і сплави – це метастабільні матеріали. У разі нагрівання вони легко перетворюються у кристалічні. Чим вища температура нагрівання аморфних металів, тим швидше вони перебудовуються в кристалічні. Проте за кімнатної температури навіть найменш стабільні аморфні метали за теоретичними розрахунками можуть пролежати до 200000 р.

Оскільки аморфні метали та сплави не мають кристалічної будови, то вони не мають комірок, дефектів, меж кристалітів тощо. Саме тому аморфні метали і сплави корозієстійкіші, ніж однакові за хімічним складом кристалічні сплави. Так, аморфний сплав, який складається із заліза, нікелю та хрому, не руйнується в розчині соляної кислоти, тоді як нержавіюча сталь такого самого складу в такому самому розчині руйнується зі швидкістю 10 мкм за рік. З аморфних металів і сплавів можна виготовляти фільтри, деталі кабелів, які працюють у морській воді. Їх можна використовувати для виготовлення медичної апаратури тощо.

Аморфні метали та сплави мають добрі механічні властивості. Велика міцність зумовлює їх використання для армування шин, виготовлення трубок, у яких протікають речовини під високим тиском тощо.

Оскільки аморфні метали мають велику твердість, зносостійкість і корозієстійкість, з них виготовляють леза різальних інструментів.

На відміну від металів, що мають форму кристалів аморфні метали практично не наклепуються в разі деформації в процесі вальцю-

вання, штампування, волочіння за температури 20°C, а тому вироби після виготовлення не потребують відпалювання.

Ведуться пошуки промислових способів виробництва аморфних сплавів, перетворення їх на вироби та отримання на їх основі композиційних матеріалів з унікальними властивостями.

Уже впроваджено в промислове виробництво спосіб захисту виробів від корозії аморфізацією їх приповерхневих шарів. Для цього приповерхневі шари виробів нагрівають потужними електронними або іонними пучками і швидко охолоджують. Унаслідок таких дій приповерхневі шари стають аморфними.

18.3. Класифікація металів і сплавів

§ 18.3.1. Класифікація металів

Метали класифікують за такими ознаками, як колір, фізичні та хімічні властивості, характер залягання в земній корі, ступінь чистоти тощо.

1. За **кольором** метали поділяють на чорні та кольорові.

Чорні метали мають темно-сірий колір, схильні до поліморфних перетворень. До чорних металів належить залізо. На сьогодні його використовують найбільше.

Кольорові метали найчастіше мають червоний, жовтий і білий кольори. Вони дуже пластичні, деякі з них мають відносно низькі температури плавлення.

2. За **фізичними та хімічними властивостями**, а також характером залягання в земній корі кольорові метали поділяють на:

- ✓ **легкі** (алюміній, берилій, титан, літій, натрій, калій тощо);
- ✓ **важкі** (мідь, кобальт, нікель, свинець, цинк, кадмій, стибій, ртуть);
- ✓ **благородні** (золото, срібло, платина та платиноїди);
- ✓ **трудноплавкі** (вольфрам, молібден, ніобій, тантал, ванадій, хром тощо);
- ✓ **розсіяні** (галій, індій, талій);
- ✓ **рідкісноземельні** (ітрій, скандій, лантан і всі лантаноїди);
- ✓ **радіоактивні** (технецій, францій, уран тощо).

3. За **ступенем чистоти** метали поділяють на **технічно чисті** (містять до 0,1–0,5% домішок), **хімічно чисті** (містять до 0,01–0,1%

домішок) і *надчисті*. Дуже чисті метали використовують у ракетній техніці, надзвуковій авіації, а також у хімічній промисловості та медицині. Проте чисті метали не завжди задовольняли вимоги техніки, а тому людство здавна використовує сплави.

§ 18.3.2. Класифікація сплавів

Для виготовлення машин і технологічного обладнання використовують дуже велику кількість сплавів. Най-

головнішими з них є сплави на основі заліза, алюмінію, міді. Сплави на основі цинку, титану, ніобію, цирконію, та інших металів використовують рідше. Усіх сплавів налічується кілька тисяч, їх кількість постійно збільшується, оскільки різні галузі промисловості ставлять перед конструкційними матеріалами все нові вимоги щодо властивостей.

І. За *кольором* сплави, як і метали, поділяють на чорні та кольорові. До *першої групи* належать сплави на основі заліза, до *другої* – на основі кольорових металів.

На *основі заліза* виробляють сплави, які називають *чавунами* та *сталями*.

Сплави на *основі кольорових металів* поділяють на сплави на основі алюмінію, міді, нікелю тощо. На практиці найчастіше використовують алюмінієві та мідні сплави.

2. За *властивостями* сплави поділяють на легкі, важкі, легкоплавкі, трудноплавкі, жаростійкі, жароміцні, магнітні, немагнітні та ін.

Легкі сплави мають малу густину (це сплави на основі алюмінію, берилію тощо), *важкі* – велику (сплави на основі свинцю, олова тощо).

Легкоплавкі сплави мають низьку температуру плавлення. Це сплави на основі натрію, калію та інших металів.

Трудноплавкі сплави отримують на основі металів, які мають високу температуру плавлення (вольфрам, молібден, ніобій, тантал).

Жаростійкі сплави витримують нагрівання до високих температур без навантаження, *жароміцні* – з навантаженням.

Магнітні сплави мають магнітні властивості, *немагнітні* їх не мають.



ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВІ СПЛАВИ

Залізовуглецеві сплави (чавуни і сталі) є найпоширенішими конструкційними матеріалами. Немає жодної галузі промисловості, де не використовували б сплави на основі заліза. Саме тому вивченню залізовуглецевих сплавів приділяють таку велику увагу.

19.1. Діаграма стану залізо-вуглець

§ 19.1.1. Поняття про діаграму стану сплавів та її побудову

Діаграмою стану сплавів називають графічне зображення залежності їх фазового складу від температури та концентрації за умов рівноваги.

Якщо сплав складається з двох компонентів, то діаграму стану будують у двох вимірах: температура – концентрація (рис. 24). На осі ординат відкладають: температуру плавлення, кристалізації, поліморфних перетворень, якщо вони є, компонента чи сплаву; а на абсцис – концентрацію кожного компонента у сплаві. Загальний вміст обох компонентів у кожному сплаві становить 100%. Кожна точка на осі абсцис свідчить про певний вміст обох складових у сплаві. Так, у точці *A* міститься лише компонент *A* і відсутній компонент *B*. У точці *C* сплав містить 40% компонента *B* і 60% – компонента *A*. Чим далі відходимо вправо від точки *A*, тим збільшується у сплавах вміст компонента *B* і зменшується вміст компонента *A*, і навпаки. У точці *B* вміст компонента *B* дорівнює 100%, а компонент *A* відсутній. У кожній точці, яка відповідає складу сплаву, умовно ставимо вісь температур, на якій позначено всі критичні точки для цього сплаву. Для прикладу на рис. 24 це показано штриховою лінією. Кожна точка на

діаграмі стану показує склад сплаву даної концентрації за вибраної температури.

Залежність агрегатного та фазового станів сплавів від їх складу та температури встановлюють експериментально за допомогою термічного аналізу – визначення критичних точок перетворень за кривими нагрівання (охолодження). У ряді випадків для визначення критичних точок поряд із термічним аналізом застосовують металографічний, структурний та ін. За отриманими даними будують діаграми стану, які відображають зв'язок між станом сплавів, їх складом і температурою, а також фазові перетворення, які відбуваються в сплавах під час нагрівання й охолодження.

На основі діаграми стану сплавів можна зробити висновки про властивості всіх сплавів. За допомогою діаграми стану можна вибрати температуру нагрівання сплаву в процесі термічної та хіміко-термічної обробки, оброблення тиском. Діаграму стану використовують також у ливарному виробництві для вибору оптимальної температури розплавів при отриманні відливків, а також при виготовленні сплавів.

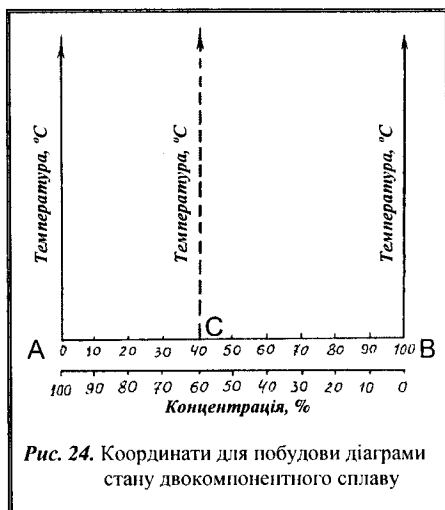


Рис. 24. Координати для побудови діаграми стану двокомпонентного сплаву

§ 19.1.2. Складові залізо-вуглецевих сплавів

При взаємодії заліза з вуглецем утворюються тверді розчини (ферит і аустеніт) та хімічні сполу-

ки (Fe_3C , Fe_2C , FeC), з яких найстійкішою є цементит (Fe_3C).

Залізо. Властивості заліза залежать від його чистоти. Технічно чисте залізо плавиться за температури $1539 \pm 5^\circ C$, має густину 7850 кг/м^3 . Залізо має невелику твердість і міцність та велику пластичність. У разі нагрівання та охолодження залізо змінює свою кристалічну будову, тобто йому властивий поліморфізм.

Вуглець належить до неметалів. У природі він зустрічається у двох модифікаціях: у формі алмазу та графіту густиною 2250 кг/м^3 .

Феритом (Φ) називають твердий розчин вуглецю в α -залізі (Fe_α).

Ферит позначають $Fe_\alpha(C)$. Максимальна розчинність вуглецю в α -залізі досягає 0,02% за температури 727°C. Механічні властивості фериту незначно відрізняються від механічних властивостей заліза.

Аустенитом (A) називають твердий розчин вуглецю в γ -залізі (Fe_γ).

Назва аустеніту походить від прізвища англійського металурга У. Робертса–Аустена. Його позначають $Fe_\gamma(C)$. Максимальна розчинність вуглецю в γ -залізі становить 2,14% за температури 1147°C. Із пониженням температури розчинність вуглецю в γ -залізі зменшується і при 727°C дорівнює 0,8%. Аустеніт має велику пластичність, але не має магнітних властивостей.

Цементитом (Fe_3C) називають хімічну сполуку, яка містить 6,67% вуглецю, має складну ромбоєдричну комірку, високу температуру розпаду (1600 °C), велику твердість (HB 8000) і крихкість.

До 217°C цементит зберігає феромагнітні властивості. У залізо-вуглецевих сплавах є три види цементиту: первинний Π_I (утворюється з розплаву), вторинний Π_{II} (виділяється з аустеніту) і третинний Π_{III} (виділяється з фериту). Будова, хімічний склад і властивості всіх видів цементиту однакові.

§ 19.1.3. Діаграма стану залізо-цементит і перетворення, які відбуваються у залізо-вуглецевих сплавах

Оскільки стійку хімічну сполуку на діаграмі стану сплавів розглядають як компонент, то діа-

граму стану залізо-вуглець можна поділити на дві: залізо-цементит і цементит-вуглець. Практичне значення має діаграма стану залізо-цементит. Компонентами, з яких складаються сплави цієї системи, будуть, з одного боку (зліва), чисте залізо (Fe), а з іншого (справа) – цементит (Fe_3C). Сплави, які мають більше вуглецю, ніж міститься в цементиті, дуже крихкі, а тому, на практиці не використовуються.

Спрощену діаграму стану залізо-цементит зображено на рис. 25. На осі X є дві шкали: одна показує вміст вуглецю ($y\%$), друга – цементиту ($y\%$). На ординатах позначено температуру плавлення заліза та розпаду цементиту, критичні точки заліза та сплавів.

Перехід сплаву з рідинного стану (розплаву) у твердий стан починається за температур, які утворюють лінію ACB . Її називають *ліквідус* (від лат. «*liquidus*» – рідинний). За температур, що утворили лі-

нію ліквідус (*ACB*) зароджуються центри кристалізації: на лінії *AC* – аустеніту (*A*), на лінії *CB* – цементиту первинного (*Ц_I*). Вище лінії *ACB* залізовуглецеві сплави перебувають у вигляді розплавів. Лінію *AECF* називають лінією *solidus* (від лат. «*solidus*» – твердий). За температур, які утворили цю лінію, закінчується кристалізація, почата на лінії ліквідус. Між лініями ліквідус і солідус залізовуглецеві сплави перебувають у вигляді розплаву та кристалітів. Так, між лініями *AC* і *AEC* міститься розплав і кристаліти аустеніту (*A*), а між лініями *CB* і *CF* – міститься розплав і кристаліти цементиту первинного (*Ц_I*). У сплаві, що містить 4,3% вуглецю (точка *C*) за температури 1147°C одночасно зароджуються центри кристалізації аустеніту (*A*) та цементиту первинного (*Ц_I*), навколо них ростуть кристаліти. У процесі кристалізації утворюється механічна суміш, яка складається з кристалітів аустеніту і цементиту. Цю суміш називають *ледебурит* (назва походить від прізвища німецького металурга А. Ледебурга). Серед залізовуглецевих сплавів ледебурит має найнижчу температуру плавлення 1147°C. Його називають *евтектичним сплавом*.

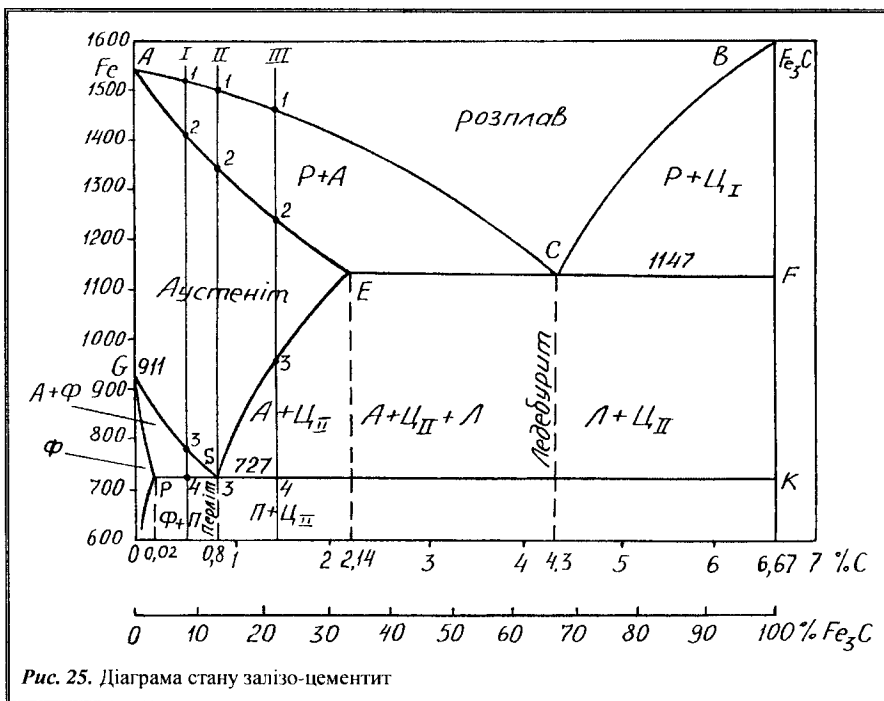


Рис. 25. Діаграма стану залізо-цементит

Зона діаграми стану **AESGA** займає аустеніт. У разі охолодження сплавів аустеніт розкладається з виділенням фериту (Φ) (лінія **GS**) і вторинного цементиту (Π_{II}) (лінія **SE**). Точку **S** називають *евтектоїдною*. У сплаві, що містить 0,8% вуглецю (точка **S**) за температури 727°C увесь аустеніт перетворюється на механічну суміш, яка складається з кристалітів фериту та цементиту вторинного (Π_{II}). Цю суміш називають *перлітом*. Свою назву суміш отримала за перламутровий блиск, якого набуває зразок після полірування та травлення. Перетворення аустеніту на перліт починається із зародження центрів кристалізації цементиту на межі кристалів аустеніту. Центрами кристалізації можуть бути неметалеві включення. Навколо центрів кристалізації ростуть кристаліти цементиту. У процесі росту кристалітів цементиту зона аустеніту, яка прилягає до центрів кристалізації, збіднюється вуглецем, змінюється будова комірки заліза з *к.з.ц.* на *к.о.ц.* й утворюється ферит. Кристаліти перліту складаються з маленьких кристалітів цементиту та фериту, чим вони менші, тим перліт твердіший.

Перетворення, які відбуваються в точках **C** і **S** є подібними:

- над точкою **C** маємо розчин вуглецю у розплавленому залізі, а над точкою **S** – розчин вуглецю в твердому залізі, який називають *аустеніт*;
- у точці **C** перетинаються лінії **AC** і **BC**, які утворені з температур початку кристалізації аустеніту та цементиту первинного з розплаву (рідинного розчину). Цей процес називають *первинною кристалізацією*;
- у точці **S** перетинаються лінії **GS** і **ES**, які утворені з температур початку зародження кристалітів фериту і цементиту вторинного у твердому розчині, яким є аустеніт. Цей процес називають *вторинною кристалізацією*;
- у точці **C** розплав, який містить 4,3% вуглецю, кристалізується з утворенням евтектики, яка складається з кристалітів аустеніту і цементиту первинного. Цю евтектичну суміш називають *ледебуритом*;
- у точці **S** твердий розчин, який містить 0,8% вуглецю (аустеніт), перекристалізовується з утворенням кристалітів фериту і цементиту вторинного. Утворену евтектоїдну суміш називають *перлітом*.

Для докладнішого ознайомлення зі структурою сплавів простежимо за змінами, які відбуваються внаслідок охолодження сплавів.

Температури, за яких відбуваються перетворення в сплавах, позначимо цифрами **1, 2, 3, 4**.

Сплав I (див. рис. 25). Вище температури **1** цей сплав перебуває в рідинному стані (розплаві). За температури **1** в розплаві зароджуються центри кристалізації аустеніту і навколо них ростуть кристаліти. Ріст кристалітів триває до температури **2**. Отже, у діапазоні температур **1-2** сплав складається з кристалітів аустеніту та розплаву. Чим нижча температура, тим менше залишається розплаву і більше стає кристалітів аустеніту. За температури **2** закінчується кристалізація аустеніту. У діапазоні температур **2-3** аустеніт охолоджується. За температури **3** аустеніт починає перетворюватись на ферит. Перетворення триває до температури **4** (727°C). За температури **4** відбувається евтектоїдне перетворення $A \rightarrow \Phi + \text{Цл}$, тривалість якого залежить від вмісту вуглецю у сплавi: чим більше вуглецю, тим довше триватиме перетворення, а в структурі сплаву буде більше перліту. Після охолодження структура сплаву складається з кристалітів фериту та перліту.

Описаний процес кристалізації й охолодження сплаву **I** властивий для всіх залізвуглецевих сплавів, які містять 0,02-0,8% вуглецю.

Сплав II містить 0,8% вуглецю. Вище температури, позначеної цифрою **1**, сплав перебуває у вигляді розплаву. За температури, позначеної цифрою **1**, у розплаві зароджуються центри кристалізації і навколо них ростуть кристаліти аустеніту. У процесі кристалізації об'єм розплаву зменшується, а об'єм кристалітів, навпаки, зростає. Так триває аж до температури, позначеної цифрою **2**. За температури **2** первинна кристалізація закінчується й аустеніт починає охолоджуватись. Це триває до температури, позначеної цифрою **3**. За температури **3** (727°C) аустеніт перетворюється на евтектоїдну суміш – перліт.

Сплав III. Кристалізація цього сплаву починається за температури, позначеної цифрою **1**, а закінчується за температури **2**. У діапазоні температур **2-3** сплав (аустеніт) охолоджується, а за температури **3** починається вторинна кристалізація: в аустеніті зароджуються центри кристалізації цементиту, навколо них ростуть кристаліти і перетворюється комірка заліза з *к.з.ц.* на *к.о.ц.*, тобто утворюється ферит. За температури **4** закінчується перетворення аустеніту. Структура сплавів, які містять понад 0,8% вуглецю, складається з кристалітів перліту та цементиту вторинного (надлишкового). Надлишковий цементит утворює тонку сітку. Його дуже мало. Сплави, які містять понад 0,8% вуглецю, в основному складаються з перліту.

19.2. Чавуни

Чавунами називають сплави заліза з вуглецем, у яких міститься теоретично (згідно з діаграмою стану залізо-цементит) 2,14-6,67% вуглецю та домішки (*P, S, Mn, Si та ін.*).

У легованих (нім. «*legieren*» – сплавляти від лат. «*ligo*» – з'єднує) чавунах додатково міститься *Cr, Ni* та інші елементи.

§ 19.2.1. Класифікація чавунів

Усі чавуни поділяють за такими ознаками, як: призначення, стан виділення вуглецю, форма графіту тощо.

1. За призначенням. Усі чавуни поділяють на переробні, ливарні та спеціальні.

1. Переробні чавуни. Це основна сировина для виробництва сталі. Тому їх називають переробними. Переробні чавуни мають малу пластичність, тому з них не можна виготовляти вироби із застосуванням тиску (куванням, штампуванням, вальцюванням тощо).

У доменних печах виплавляють три види переробних чавунів: коксовий, фосфористий, дуже якісний. Найбільше виготовляють коксових чавунів. Ці чавуни містять 3,8–4,4% *C*; 0,5–1,4% *Si*; 0,5–1,5% *Mn*; 0,15–0,3% *P*; 0,02–0,06% *S*. Із них варять сталь у мартенівських печах і кисневих конвертерах. Із фосфористих чавунів, які містять 1–2% фосфору, варять сталь у мартенівських рухомих печах. Дуже якісні чавуни мають найменшу кількість шкідливих домішок ($P \leq 0,02\%$; $S \leq 0,015\%$). З цих чавунів варять дуже якісні сталі в дугових електропечах.

2. Ливарні чавуни. Ці чавуни мають добрі ливарні властивості. Тому їх називають *ливарними*. З них виготовляють вироби литтям. Звичайні ливарні чавуни містять 0,1–0,3% *P*. Чавуни, з яких виготовляють художні вироби, містять 1,2% *P*. Сірка погіршує ливарні властивості розплаву та механічні властивості відливків, тому чавун, з якого виготовляють відливки, очищають від сірки. Із ливарного чавуну виготовляють корпусні деталі, станини верстатів тощо.

3. Спеціальні чавуни. До них належать леговані чавуни та феросплави. *Легованими чавунами називають чавуни леговані хромом, нікелем, кремнієм та іншими елементами.*

Вироби виготовлені з легованих чавунів, придатні для роботи в корозійних середовищах і за високих температур. Корозієстійкими є

чавуни, леговані кремнієм, хромом тощо. Леговані чавуни дешевші, ніж нержавіючі сталі, мають добрі ливарні властивості. Вироби з них отримують литтям.

Феросплавами називають сплави заліза, які мають збільшений вміст **Mn**, **Si**, **Cr** та інших елементів.

До феросплавів належать дзеркальні чавуни (10–25% **Mn**), фероманган (70–75% **Mn**), феросіліцій (9–13% **Si** та до 3% **Mn**). Ці сплави використовують для легування та розкислення сталей, у процесі хіміко-термічної обробки металів і сплавів тощо.

II. За станом виділення вуглецю (зв'язаний або вільний). За цією ознакою чавуни поділяють на білі та сірі.

1. Білі чавуни. У білих чавунах місце злому має білий колір із металевим блиском. У цих чавунах за нормальної температури весь вуглець знаходиться у вигляді цементиту (Fe_3C). Структура білих чавунів складається з перліту, ледебуриту та цементиту.

2. Сірі чавуни. У цих чавунах місце злому має сірий колір унаслідок великої кількості графіту. У сірих чавунах майже весь вуглець знаходиться у вигляді графітових включень. Частина вуглецю ($\leq 0,8\%$) може бути зв'язана у цементиті (Fe_3C). Сірі чавуни отримують повільним охолодженням розплаву, що сприяє розпаду цементиту. Сірі чавуни мають добрі ливарні властивості. Із них виготовляють станини верстатів, корпуси редукторів, помп, трибові колеса тощо. Найширше використовують чавуни, які містять 2,4–3,8% вуглецю.

III. За формою графіту. Чавуни поділяють на пластинчасті, кулясті та пластівчасті. **Пластинчасту** форму графіту мають сірі чавуни, **кулясту** – міцні, а **пластівчасту** – ковкі.

Міцні чавуни отримують із сірих чавунів, додаючи до них перед розливанням невелику кількість **Mg**. При цьому утворюється графіт кулястої форми, унаслідок чого міцність, пластичність і в'язкість чавунів значно зростають.

Ковкі чавуни отримують з білих, внаслідок тривалого нагрівання їх за температури 950°C. У разі нагрівання цементит, який міститься в білих чавунах, розпадається з утворенням графіту в формі пластівців.

19.3. Сталі

Сталлями називають сплави, які містять понад 50% заліза.

Крім заліза в сталях міститься вуглець і домішки, а у легованих сталях ще й легуючі елементи, які поліпшують властивості сталі.

Сталі є основними конструкційними матеріалами. Їх використовують у різних промисловостях для виготовлення інструментів, машин, обладнання тощо.

§ 19.3.1. Класифікація сталей

Щоб полегшити пошук потрібної сталі з урахуванням її властивостей, усі сталі класифікують за такими озна-

ками: способом виробництва, хімічним складом, якістю, призначенням тощо.

1. **За способом виробництва.** За цією ознакою усі сталі поділяють на мартенівські (їх виплавляють у мартенівських печах), киснево-конвертерні (у кисневих конвертерах) й електросталі (в електричних дугових та індукційних печах).

2. **За хімічним складом.** Усі сталі поділяють на вуглецеві та леговані.

3. **За якістю.** В основі цієї класифікації лежить вміст шкідливих домішок (сірки, фосфору, азоту, кисню, водню тощо) у сталях, які значно погіршують їх властивості. Чим менше домішок у сталі, тим вона якісніша.

4. **За призначенням.** За цією ознакою сталі поділяють на конструкційні, інструментальні та спеціальні.

§ 19.3.2. Вуглецеві сталі

Вуглецеві сталі – це основні конструкційні матеріали. З них виробляють машини, прилади, інструменти. Їх використовують у будівництві.

Вуглецевих сталей виробляють близько 80% загальної кількості. Вони дешевші ніж леговані, і мають задовільні механічні властивості, крім того, добре обробляються тиском і різанням.

Вуглецевими сталями називають залізовуглецеві сплави, які містять теоретично (згідно з діаграмою стану залізо-цементит) 0,02-2,14% вуглецю та домішки (**P, S, Si, Mn** тощо).

Вуглець є другим після заліза компонентом у сталі та залежно від його вмісту змінює механічні та технологічні властивості сталі.

Домішками в сталі є **P, S, Si, Mn** тощо. Фосфор і сірка належать до шкідливих домішок, оскільки погіршують властивості сталі. Вони потрапляють у сталь разом із сировиною.

Сірка спричиняє крихкість сталі нагрітої вище 988°C. Це відчутно під час оброблення нагрітих сталевих заготовок куванням, вальцюван-

ням тощо. Крім того, сірка знижує пластичність, міцність та корозієстійкість сталі. Вміст сірки в сталі не повинен перевищувати 0,06%.

Фосфор надає сталі крихкості за звичайної та зниженої температури. Особливо шкідливим є вплив фосфору за збільшеного вмісту вуглецю. Чим більше вуглецю в сталі, тим сильніше фосфор впливає на її крихкість. Допустимий вміст фосфору в сталі – 0,045%.

Кремій і **манган** потрапляють до сталі під час її розкислення (для виведення з розплаву FeO). У допустимих межах (Si – не більше 0,4%, а Mn – 0,8%) ці елементи істотно не впливають на властивості сталі. Із збільшенням їх вмісту понад норму така сталь уже вважається легованою.

5. За вмістом вуглецю. За цією ознакою сталі поділяють на *маловуглецеві* (до 0,25% вуглецю), *середньовуглецеві* (0,3-0,6% вуглецю) та *багатовуглецеві* (0,6 і більше % вуглецю).

Маловуглецеві сталі використовують для виготовлення відповідальних зварних конструкцій. *Середньовуглецеві* сталі використовують для виготовлення різних деталей у машинобудуванні. *Багатовуглецеві* сталі мають підвищену міцність, зносостійкість і пружність. З них виготовляють деталі які працюють за умов тертя – це пружини, ресори тощо.

§ 19.3.3. Леговані сталі

У легованих сталях крім вуглецю та домішок містяться спеціально додані перед виплавленням або під час його легуючі елементи. У період кристалізації легуючі елементи взаємодіють із залізом і вуглецем, а також між собою, утворюючи нові фази, що й приводить до зміни хімічного складу, структури та разом із тим властивостей сталі.

Легованими називають такі сталі, в яких крім заліза та вуглецю містяться спеціально додані елементи для поліпшення їх властивостей.

Ці елементи називають *легуючими*. До них належать Cr , Ni , Mo , V , Ti тощо.

1. Класифікація легованих сталей. Ці сталі класифікують за такими ознаками, як: назва основних легуючих елементів, вміст легуючих елементів у сталі тощо.

1. За назвою основного легуючого елемента. Леговані сталі поділяють на хромисті, хромонікелеві тощо. Основними легуючими елементами у цих сталях є хром, нікель.

2. *За вмістом легуючих елементів.* Леговані сталі поділяють на *малолеговані* (вміст легуючих елементів не перевищує 2,5%), *середньолеговані* (2,5–10%) і *багатолеговані* (понад 10%).

II. Маркування легованих сталей. Маркують леговані сталі за допомогою великих літер і цифр. Літерою позначають назву легуючого елемента, який міститься в сталі, цифра після літери означає його середній вміст у відсотках. Якщо у сталі міститься менше як 1% даного елемента, то пишуть лише літеру.

Кожний легуючий елемент позначають великою літерою, наприклад: Н – нікель; Г – манган; С – кремній; П – фосфор; Ю – алюміній; Б – ніобій; Х – хром; М – молібден; К – кобальт; Т – титан; Ф – ванадій тощо.

Середній вміст вуглецю в сталі позначають цифрами, які ставлять на початку марки. Якщо вміст вуглецю в сталі близько 1%, то цифри не ставлять, якщо десяті чи соті частки, то відповідно ставлять одну або дві цифри. Наприклад, сталь марки 12ХНЗ містить близько 0,12% вуглецю, 1% хрому та 3% нікелю.

§ 19.3.4. Конструкційні сталі

Конструкційними називають сталі, з яких виготовляють деталі машин (машинобудівні сталі), конструкцій і споруд (будівельні сталі).

Основним критерієм вибору потрібної сталі для виготовлення деталей машин, конструкцій і споруд є механічні властивості сталі та їх стабільність в умовах експлуатації виробів. Крім того, конструкційні сталі повинні мати добрі технологічні властивості: легко оброблятися тиском (куванням, штампуванням, вальцюванням тощо), різанням і добре зварюватися.

Вуглецеві конструкційні сталі поділяють на сталі звичайної якості та якісні.

Сталі *звичайної якості* містять підвищену кількість сірки (до 0,05%), фосфору (до 0,04%) й азоту (до 0,008%). Їх варять у мартеновських печах скрап-рудним процесом або в кисневих конвертерах. Цих сталей виробляють найбільше – близько 80% вуглецевих сталей.

Якісні сталі містять меншу кількість домішок, ніж сталі звичайної якості: сірки – $\leq 0,04\%$, фосфору – $\leq 0,035\text{--}0,04\%$. Крім того, вони менше забруднені неметалевиими включеннями.

Леговані конструкційні сталі виплавляють в основному якісними ($\leq 0,035\% P$ і $\leq 0,035\% S$).

Дуже якісні сталі містять менше шкідливих домішок, ніж якісні ($\leq 0,025\% P$ і $\leq 0,025\% S$).

У будівництві для виготовлення конструкцій і споруд використовують вуглецеві і леговані сталі. Оскільки деталі будівельних конструкцій з'єднують зварюванням, то для їх виготовлення використовують маловуглецеві сталі звичайної якості.

Міцність будівельних сталей збільшується внаслідок їх легування невеликою кількістю недорогих легуючих елементів.

Малолеговані будівельні сталі містять до 0,22% **C** і легуючі елементи: до 1,8% **Mn**; 1,2% **Si**; 0,8% **Cr**, 0,8% **Ni**; 0,5% **Cu**; 0,15% **V**; 0,03% **Ti**; 0,15% **N** та інші окремо або разом узяті хімічні елементи.

Будівельні сталі використовують для армування бетонних конструкцій, під час виготовлення залізобетону тощо.

§ 19.3.5. Інструментальні сталі

Інструментальними називають сталі, з яких виготовляють інструменти для оброблення кон-

струкційних матеріалів різанням, штампи для виготовлення заготовок тиском, вимірювальні інструменти тощо.

Інструментальні сталі повинні мати велику твердість (60-65 HRC), міцність, зносостійкість, теплостійкість (тобто здатність зберігати велику твердість у процесі нагрівання під час роботи) тощо.

За **теплостійкістю** інструментальні сталі поділяють на три групи: 1 – **нетеплостійкі**; 2 – **напівтеплостійкі** (витримують нагрівання до 400–500°C), 3 – **теплостійкі** (витримують нагрівання до 550–650°C).

До **першої групи** належать вуглецеві та леговані сталі, які містять 3–4% легуючих елементів; до **другої** – сталі, які містять понад 0,6–0,7% **C** і 4–18% **Cr**; до **третьої** – багатолеговані сталі, які містять **Cr**, **W**, **V**, **Mo**, **Co**. Їх називають **швидкорізальними**.

Із вуглецевих інструментальних сталей виготовляють різальні інструменти (фрези, свердла та ін.), які працюють лише за невеликих швидкостей різання, оскільки під час нагрівання понад 200°C твердість вуглецевої сталі зменшується.

Із легованих інструментальних сталей виготовляють різальні інструменти, якими можна різати конструкційні матеріали з швидкістю різання 0,8–1,3 м · с⁻¹ (розвертки, ручні свердла тощо). Інструменти, виготовлені з цих матеріалів, витримують нагрівання до 200–250°C.

На відміну від вуглецевих і легованих сталей швидкорізальні є теплостійкими, твердими і зносостійкими за високих температур. Вони не змінюють своїх різальних властивостей аж до температури 600–650°C. У разі використання інструментів, виготовлених із цих сталей, швидкість різання збільшується в 2–4 рази порівняно з інструментами, виготовленими з легованих сталей.

Для виготовлення інструментів, за допомогою яких виробляють з конструкційних матеріалів вироби тиском (штампи, пуансони, матриці, валки тощо), використовують сталі, які називають *штамповими*. Оскільки названі інструменти працюють за умов високих температур та механічних навантажень, то вибір сталі зумовлений саме цими чинниками.

Для виготовлення *вимірювальних інструментів* (лінійки, шаблони, шкали тощо), які протягом тривалого часу зберігають форму і розміри, використовують сталі великої твердості та зносостійкості з мінімальним коефіцієнтом лінійного розширення. Це багатовуглецеві хромисті сталі.

§ 19.3.6. Спеціальні сталі

Спеціальними сталями називають сталі з особливими властивостями.

Сучасні промисловості (хімічна, ракетна техніка, атомне та космічне машинобудування) ставлять дуже великі вимоги до конструкційних матеріалів: вони повинні бути корозієстійкими в агресивних середовищах (твердих, рідинних, парових і газових), жаростійкими тощо. Ці вимоги задовольняють нержавіючі, корозіє-, кислото- та жаростійкі, жароміцні й інші сталі та сплави.

Жаростійкі сталі не руйнуються в газовому середовищі за температур понад 550°C. На поверхні виробів, виготовлених із цих сталей, утворюються оксидні плівки, товщина яких з часом збільшується. На інтенсивність окиснення впливають склад і будова оксидних плівок. Якщо плівки *пористі*, вироби окиснюються дуже швидко; якщо *щільні*, то з часом окиснення сповільнюється і навіть припиняється. Для отримання щільної захисної плівки сталі легують хромом, кремнієм, алюмінієм окремо чи разом узятих. У процесі нагрівання на поверхні сталевих виробів утворюються захисні плівки з оксидів $(Cr, Fe)_2O_3$, $(Al, Fe)_2O_3$. Додавання до сталі 5–8% хрому підвищує її жаростійкість до 700–750°C, збільшення вмісту хрому до 15–17% робить сталь жаростійкою до 950–1000°C. Подальше збільшення вмісту

хрому до 25% підвищує жаростійкість сталі до 1100°C. Якщо до 25% **Cr** додати 5% **Al**, то сталь витримає нагрівання до температури 1300°C. Із жаростійких сталей виготовляють деталі печей, газових турбін тощо, які працюють за високих температур.

Жароміцні сталі витримують одночасно нагрівання до високих температур та навантаження. З них виготовляють деталі газових турбін, реактивних двигунів, ракет тощо, які працюють за умов високих температур і навантажень. Вироби, виготовлені із жаростійких сталей, витримують нагрівання до температур 500-750°C.

Корозістійкі сталі належать до конструкційних матеріалів, здатних не піддаватися дії агресивних середовищ. Це хромисті та хромонікелеві сталі. Вміст хрому в сталях не може бути меншим, як 12,5%.

З хромистих сталей виготовляють предмети домашнього вжитку, хірургічні інструменти, обладнання для харчової промисловості тощо.

Хромонікелеві сталі мають вищу корозієстійкість, ніж хромисті. Із них виготовляють обладнання для хімічної, нафтохімічної та харчової промисловості. Хромонікелеві сталі дорогі, оскільки дорогий нікель. Саме тому нікель у цих сталях частково замінюють на манган.



СПЛАВИ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

У сучасному машинобудуванні кольорові метали і сплави на їх основі займають важливе місце, а в електро-, радіотехніці, радіоелектроніці, авіації, космічній техніці вони є основними конструкційними матеріалами.

20.1. Мідні сплави

Мідними називають сплави, основним компонентом яких є мідь. Найпоширенішими сплавами на основі міді є латуні та бронзи.

§ 20.1.1. Латуні

Латунями називають сплави міді з цинком та іншими легуючими елементами.

Легуючі елементи поліпшують властивості латуней.

Класифікація латуней. Латуні класифікують за такими ознаками: кількість легуючих елементів у сплаві, способи виготовлення виробів зі сплавів.

1. За кількістю легуючих елементів. Латуні поділяють на прості та складні.

Прості латуні – це двокомпонентні сплави, які складаються лише з міді та цинку. Максимальний вміст цинку у латунях становить 45%. Чим більше цинку входить до складу латуні, тим вона має більшу міцність і меншу пластичність. Найпластичнішими є латуні, які містять 30% цинку. Із збільшенням вмісту цинку до 42–45% збільшується міцність латуней, але збільшується крихкість. Саме тому латуні, які містять понад 45% цинку, на практиці не використовують.

Складні латуні – це багатокомпонентні сплави, до складу яких крім міді та цинку входять легуючі елементи (нікель, олово, залізо, свинець, алюміній тощо). Легування впливає на механічні властивості сплавів: збільшує міцність і зменшує пластичність. Свинець полег-

шує оброблення латуні різанням, алюміній, кремній, манган і нікель поліпшують її корозієстійкість.

2. За способом виготовлення виробів. Латуні поділяють на деформівні та ливарні.

Деформівні латуні пластичні, а тому вироби з них виготовляють вальцюванням, волочінням тощо. Так отримують труби, дрiт і т. ін.

Ливарні латуні мають добрі ливарні властивості. Саме тому вироби з них отримують литтям у спеціальні, наперед виготовлені, форми.

§ 20.1.2. Бронзи

Бронзами називають сплави міді з Sn, Al, Be, Si, Mn, Pb тощо.

Бронзи мають добрі ливарні властивості. Серед бронз є пластичні та корозієстійкі. Із бронз в давнину виготовляли зброю, засоби праці тощо. Оскільки вони мають добрі ливарні властивості, з них виготовляли дзвони, гармати, ужиткові речі тощо.

У наш час бронзи використовують у машино- та приладобудуванні. Малий коефіцієнт тертя та стійкість до зносу роблять бронзи поки що незамінними для виготовлення вальниць, труб та інших деталей відповідальних і точних приладів.

За способом виготовлення виробів бронзи поділяють на ливарні та деформівні. З *ливарних* бронз вироби виготовляють литтям. З *деформівних* – тиском і різанням.

Відповідно бронзи поділяють на ливарні та деформівні. Найбільшого поширення набули олов'яні бронзи ливарні, які містять 6% олова та деформівні, вміст олова в яких більший. З них виготовляють пружини та інші деталі, які працюють за складних умов: великі навантаження та корозійні середовища. Олово – дорогий та дефіцитний метал.

Останнім часом усе ширше застосовують безолов'яні бронзи. До них належать сплави міді з алюмінієм, свинцем, нікелем, берилієм та іншими хімічними елементами. Ці бронзи порівняно з олов'яними мають кращі механічні властивості. Вони корозієстійкіші в агресивних середовищах. Так, алюмінієві бронзи корозієстійкі в морській воді та тропічній атмосфері, мають добрі механічні властивості, але гірші ливарні властивості, ніж олов'яні. Берилієві бронзи є міцнішими, пружнішими, повільніше окислюються на повітрі порівняно з іншими бронзами, саме тому з них виготовляють деталі для точних приладів, мембрани, пружини та інші пружні елементи. Це дорогі

бронзи. Свинцеві бронзи мають добрі антифрикційні (фрикційний – від лат. «*frictio*» – тертя) властивості та велику теплопровідність. З них виробляють складові вальниць ковзання.

20.2. Алюмінієві сплави

Алюмінієвими називають сплави, основним компонентом яких є алюміній.

Щоб поліпшити властивості алюмінію, до нього додають **Cu, Mg, Mn, Zn, Si, Be, Ti** тощо.

Для алюмінієвих сплавів характерні мала густина та велика питома міцність, яка для деяких марок сплавів наближається до питомої міцності дуже міцних сталей. Алюмінієві сплави використовують майже в усіх промисловостях, а найширше – в літако-, судно- та автомобілебудуванні, а також у будівництві.

За способом виготовлення виробів алюмінієві сплави поділяють на деформівні, ливарні та спечені.

§ 20.2.1. Деморфні алюмінієві сплави

Ці сплави є пластичними, добре зварюються, стійкі проти дії агресивних середовищ. Вироби з цих сплавів

отримують штампуванням, пресуванням, волочінням, рідше – різанням та литтям.

Деформівні алюмінієві сплави поділяють на дві групи.

До *першої групи* належать сплави, які не зміцнюються термічною обробкою. До *другої групи* належать сплави, міцність яких зростає після термічної обробки.

I. Алюмінієві сплави, які не зміцнюються термічною обробкою. Їх структура складається з кристалітів однорідного твердого розчину. Міцність алюмінію можна підвищити легуванням. Щоб отримати сплави, які не зміцнюються термічною обробкою, алюміній легують **Mn** або **Mn** і **Mg**. Отримані сплави мають більшу міцність, але меншу пластичність, ніж алюміній. Магній збільшує міцність сплавів, а манган – ще й корозієстійкість.

Із цих сплавів виготовляють баки для бензину, азотної та інших кислот, труби. Їх використовують у літако- та суднобудуванні.

II. Алюмінієві сплави, які зміцнюються термічною обробкою. До них належать дуралюміни, міцні, жароміцні, ковкі та інші сплави.

Міцність цих сплавів підвищують термічною обробкою: гартуванням з подальшим старінням.

Старінням називають процес збільшення міцності сплавів під час нагрівання або після нього.

Відповідно старіння поділяють на природне та штучне.

У процесі **природного старіння** міцність сплавів зростає після нагрівання та тривалого витримування на повітрі.

У процесі **штучного старіння** міцність сплавів зростає під час нагрівання.

1. **Дуралюміни. Дуралюмінами** (від лат. «*durus*» – твердий і алюміній) називають сплави алюмінію з міддю (2,2-4,8% *Cu*), магнієм (0,4–2,4% *Mg*) і манганом (0,4–0,8% *Mn*).

Типовим дуралюміном є сплав **ДІ**. В основі маркування дуралюмінів лежить перша літера назви сплаву «*Д*», після якої йдуть цифри, які означають умовний номер сплаву. Для з'ясування хімічного складу сплаву треба звернутися до довідкової літератури.

2. **Міцні алюмінієві сплави.** Ці сплави мають більшу міцність, але меншу пластичність, ніж дуралюміни. Їх використовують у літакобудуванні.

3. **Жароміцні алюмінієві сплави.** Їх використовують для виготовлення деталей, які працюють за температури 300°C. Це поршні, головки циліндрів, лопаті та диски компресорів турбореактивних двигунів тощо. Жароміцні сплави мають складніший порівняно з попередніми хімічний склад. Ці сплави досягають жароміцності за рахунок великої кількості *Cu*, *Mn* та *Ti*.

4. **Ковкі алюмінієві сплави.** Ці сплави є пластичними. З них виготовляють деталі складної форми та середньої міцності для літаків. Вони добре зварюються контактним і аргонно-дуговим способами.

§ 20.2.2. Ливарні алюмінієві сплави

Вироби з ливарних алюмінієвих сплавів отримують литтям, оскільки вони мають добрі ливарні властивості. Добрі ливарні властивості мають такі сплави, у структурі яких є **евтектика**. Саме тому кількість легуючих елементів у ливарних сплавах більша, ніж у деформівних. До ливарних сплавів належать сілюміни (від. *сіл(іцій)* та (*алюмін(ій)*)).

Сілюмінами називають сплави сіліцію з алюмінієм та іншими легуючими елементами.

Найчастіше використовують сілюміни, які містять 5–14% *Si*. Структура сілюмінів складається з твердого розчину і евтектики, яка містить 11,6% *Si*. Чим більше евтектики у сплаві, тим він має кращі ливарні властивості.

Крім сілюмінів добрі ливарні властивості мають сплави алюмінію з міддю, магнієм та іншими легуючими елементами

§ 20.2.3. Алюмінієві сплави, отримані спіканням

Алюмінієві сплави отримують спіканням порошків алюмінію та оксиду алюмінію або порошків алюмінію чи алюмінієвого сплаву з

порошками легуючих елементів. Їх поділяють на спечені алюмінієві порошки і спечені алюмінієві сплави.

1. **Спечені алюмінієві порошки (САП).** Ці сплави отримують спіканням порошків алюмінію та оксиду алюмінію.

Із збільшенням вмісту оксиду алюмінію зростають міцність і жароміцність сплавів. Вироби, отримані із сплавів **САП**, добре зварюються, мають вищу жаростійкість, ніж звичайні алюмінієві сплави. Вони можуть довгий час працювати за температур 350–500°C.

Сплави **САП** використовують у літако- та суднобудуванні, електротехніці, хімічній промисловості. З них виготовляють лопаті компресорів, теплообмінники тощо.

2. **Спечені алюмінієві сплави (САС).** Ці сплави отримують спіканням порошку алюмінію або порошку алюмінієвого сплаву (наприклад, дуралюміну) і порошків легуючих елементів (заліза, хрому, нікелю тощо).

За кімнатної температури **САС** мають вищу міцність, ніж **САП**. Із підвищенням температури – навпаки. Вироби із сплавів **САС** витримують нагрівання до температур 350–400°C.

20.3. Магнієві сплави

Магнієвими називають сплави, основним компонентом яких є магній.

Магній – найлегший серед конструкційних матеріалів. Його густина дорівнює 1700 кг/м³. Він має незначні механічні властивості. Саме тому з чистого магнію не виготовляють конструкцій.

Для виготовлення конструкцій використовують сплави. На практиці використовують сплави магнію з алюмінієм, цинком, манганом та іншими елементами. Магнієві сплави легко ріжуться, добре зварюються, мають порівняно велику пластичність і міцність, а також задовільні ливарні властивості. Істотний недолік цих сплавів – мала корозієстійкість.

Залежно від способу виготовлення виробів магнієві сплави поділяють на ливарні та деформівні.

Із магнієвих сплавів виготовляють корпуси приладів, фотоапаратів, деталі літаків, двигунів тощо.

Для підвищення корозієстійкості, вироби з магнієвих сплавів окислюють. На окисдовану поверхню наносять лакофарбові покриття.

20.4. Нікелеві сплави

***Нікелевими** називають сплави, основним компонентом яких є нікель.*

Нікель має велику міцність, пластичність і корозієстійкість. Відповідно ці властивості мають також сплави на його основі. Сплави, які містять понад 55% *Ni*, мають вищу жароміцність, ніж кращі жароміцні сталі. Вироби, виготовлені з них, витримують нагрівання до температур 800–1000°C.

Представниками нікелевих сплавів є ніхроми, німоніки, монель-метали тощо.

***Ніхромами** називають нікелеві сплави, основним легуючим елементом яких є хром.*

Ніхроми дуже жаростійкі. Тому з них виготовляють нагрівні елементи, які працюють без навантаження в окиснюючому середовищі.

***Німоніками** називають нікелеві сплави, до складу яких крім хрому, входять титан, алюміній, молібден, вольфрам тощо.*

Із цих сплавів виробляють деталі газових турбін, які працюють за температур 650–850°C.

***Монель-металами** називають сплави нікелю з міддю, залізом та манганом.*

Із них виготовляють монети, хірургічні інструменти.

***Сплавами, які пам'ятають свою форму** називають такі сплави, які в процесі нагрівання здатні відновлювати початкову форму виробів, виготовлених з них.*

Першим сплавом, який «запам'ятав» свою форму, є нітинол. Цей сплав складається з 50% нікелю та 50% титану.

Суть ефекту «пам'яті форми» полягає у відновленні початкової форми виробу нагріванням. Отже, якщо виробу, виготовленому з такого сплаву, надати потрібної форми, а потім за нижчої температури змінити цю форму на іншу, то в процесі нагрівання виріб набуде початкової форми. Пам'ять – дуже цінна властивість сплавів.

Із нітинолу виготовляють пристрої для космічних апаратів та інші вироби.

Щоб знизити температуру, за якої відновлюється «пам'ять», нітинол легують 3–4% заліза.

Якщо з легованого нітинолу, який складається з 50% титану, 46–47% нікелю, 3–4% заліза, за кімнатної температури виготовити деталі, наприклад, з'єднуючі муфти, заклепки тощо, і zdeформувати їх у рідинному азоті, то, відігрівшись, вони «згадають» свою попередню форму і муфта охопить труби, герметично з'єднавши їх. Як бачимо, легко можна уникнути таких операцій, як зварювання чи паяння. Крім того, отримане з'єднання надійніше.

За допомогою ефекту «пам'яті форми» встановлюють заклепки в важкодоступних місцях. Для цього заклепку з одного боку розрізають уздовж осі на певну глибину, кінці розводять і заклепку нагрівають. Потім за кімнатної температури кінці заклепки вирівнюють і встановлюють в отвір. Повторне нагрівання призводить до розведення кінців заклепки, унаслідок чого деталі з'єднуються.

Сплав нітинол застосовують у медицині, оскільки він має добру корозійостійкість, добру «пам'ять» і добру сумісність з живими тканинами організму. Його використовують у хірургії, при переломах кісток.

Науковці та інженери шукають нові сфери використання сплавів, які «пам'ятають» свою форму. Це і двигуни прямого перетворення теплоти на механічну енергію, і терморегулятори, і виконавчі механізми, наприклад, силова деталь приводу, виготовлена з нітинолу, випрямляючись у процесі нагрівання, може перемістити вантаж, замкнути електричні контакти, увімкнути автоматичний пристрій для гасіння пожежі тощо. А як зручно буде автомобілебудівникам або ремонтникам: пошкоджену деталь (наприклад, двері чи кузов) досить трохи нагріти, щоб повернути їй втрачену форму.

Проте широкому впровадженню сплавів з «пам'яттю форми» перешкоджає недосконалість технології отримання сплавів точного хімічного складу та структури.



ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ ТА СПОСОБИ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

Метали та сплави на їх основі є основними конструкційними матеріалами.

Деталі машин і механізмів у процесі роботи перебувають під дією механічних навантажень, теплоти, агресивних середовищ, унаслідок чого властивості металів і сплавів змінюються, а відповідно змінюється і довговічність машин. Саме тому до конструкційних матеріалів ставляться найрізноманітніші вимоги. Наприклад, для виготовлення різальних інструментів необхідні матеріали, які мають велику міцність, твердість, зносостійкість; для електропроводів – велику електричну провідність, а для нагрівних електроприладів – малу; для побудови літаків і ракет потрібні міцні та легкі сплави. У деяких випадках необхідні матеріали, які не окислюються за високої температури, мають магнітні властивості і, навпаки, не мають їх.

Усі властивості металів і сплавів можна поділити на такі групи: фізичні, хімічні, механічні, технологічні та експлуатаційні.

21.1. Фізичні та хімічні властивості металів і сплавів

1. Фізичні властивості металів і сплавів. Ці властивості металів і сплавів зумовлені їх складом і структурою. До *фізичних властивостей* належать колір, густина, температура плавлення, теплопровідність, теплове розширення, електрична провідність, здатність намагнічуватися тощо.

Густиною називають кількість речовини, що міститься в одиниці об'єму.

Кожний метал або сплав має свою густину. Так, вольфрам має густину 19300 кг/м^3 , залізо – 7850 кг/м^3 , алюміній – 2700 кг/м^3 , берилій – 1820 кг/м^3 тощо.

Температурою плавлення називають температуру, за якої метал або сплав чи інша речовина переходить у рідинний стан (розплав).

Наприклад, залізо плавиться за температури 1539°C , алюміній – 660°C .

Температура плавлення має велике практичне значення в процесі зварювання, у ливарному виробництві, під час виготовлення сплавів тощо.

Метали, хімічні сполуки та механічні суміші мають сталі температури плавлення. Наприклад, мідь плавиться за температури 1083°C , срібло – 960°C , ртуть – $38,9^\circ\text{C}$; механічна суміш ледебурит плавиться за температури 1147°C .

Тверді розчини починають плавитись за однієї температури, а закінчують за іншої, значно вищої. Знаючи температури плавлення компонентів, можна виплавляти легкоплавкі сплави, які застосовують для паяння в радіо- та електротехніці тощо.

Теплопровідністю називають здатність металів із різною швидкістю проводити теплоту під час нагрівання й охолодження.

Ця властивість дуже важлива при виборі матеріалів для виготовлення конструкцій, які в процесі роботи нагріваються. Це деталі радіаторів у автомобілях, літаках тощо. Найкращу теплопровідність мають срібло, мідь, алюміній.

Тепловим розширенням називають здатність металів і сплавів розширюватися у процесі нагрівання. У процесі охолодження має місце обернене явище.

Ця властивість дуже важлива при виборі матеріалів для побудови мостових ферм (франц. «*ferme*» від лат. «*firmus*» – міцний), рейок для залізниці тощо.

Теплове розширення металів різне. Відповідно різним буде теплове розширення сплавів.

Електричною провідністю називають здатність металів проводити електричний струм.

Цю властивість металів використовують при передаванні електричної енергії на значні відстані до споживачів: електродвигунів, нагрівних і освітлювальних приладів тощо. Метали, які добре проводять електричний струм, є також добрими провідниками теплоти. До них належать срібло, мідь, алюміній.

Магнітними властивостями називають здатність металів намагнічуватись і зберігати цю властивість.

Ці властивості має залізо і більшість його сплавів, нікель, кобальт. Магнітні властивості добре виявляються за низьких температур. Під час нагрівання вони зменшуються, а за температури Кюрі зникають зовсім. Температура Кюрі для заліза становить 768°C . Залізо, розігріте до температури понад 768°C , не має магнітних властивостей.

2. Хімічні властивості металів і сплавів. Ці властивості відображають здатність металів взаємодіяти з іншими металами, неметалами та хімічними речовинами. У процесі перебування металів і сплавів на повітрі або в іншому середовищі вони руйнуються. Різні метали і сплави мають різну стійкість у середовищах. Наприклад, залізо на повітрі ржавіє, мідь покривається зеленим нальотом, свинець тьмяніє тощо. Вироби з них з часом руйнуються. Саме тому, вибираючи метал чи сплав для конструкції, слід урахувати умови, за яких во працюватиме.

21.2. Механічні властивості металів і сплавів

До *механічних властивостей* належать твердість, пружність, пластичність, міцність, в'язкість. Знаючи ці властивості конструкційних матеріалів, з них можна вибрати такий матеріал, який забезпечить надійність і довговічність машин та технологічного обладнання.

Механічні властивості визначають на спеціальних зразках, до яких прикладають навантаження. Для визначення механічних властивостей зразки розтягують, згинають, стискають, крутять тощо.

Навантаження може бути статичним або динамічним. Статичне навантаження характеризується повільним зростанням зусилля від нуля до деякого максимального значення, а динамічне – короточасним.

§ 21.2.1. Випробування на розтяг

Для металів і сплавів найчастіше застосовують випробування на розтяг, яке дає досить повну характеристику механічних властивостей матеріалу. При цьому можна визна-

чити пружність, пластичність, міцність, а також в'язкість металу чи сплаву.

Для випробування на розтяг застосовують спеціально виготовлені круглі або плоскі зразки стандартних розмірів (рис. 26), до яких прикладають навантаження.

Під дією навантаження в матеріалі виникають напруження, які спричиняють деформацію.

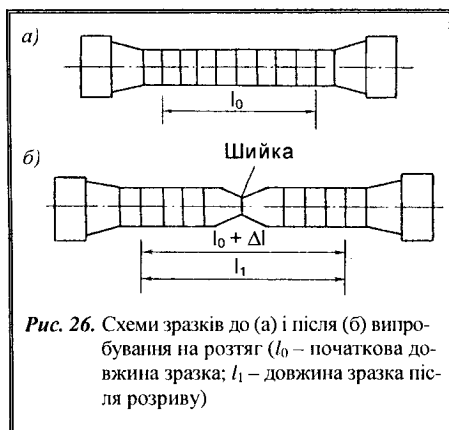
Деформацією називають зміну форми та розмірів зразка під впливом зовнішніх або внутрішніх (фазові перетворення, усадка тощо) сил.

Деформація може бути **пружною** (зникає після зняття навантаження) та **пластичною** (залишається). У разі збільшення навантаження пружна деформація переходить у пластичну, а далі досліджуваний зразок руйнується.

Для визначення механічних властивостей у розривну машину закладають кілька або декілька зразків, виготовлених із досліджуваного конструкційного матеріалу. Попередньо вимірюють їх початкову довжину (l_0) і площу, поперечного перерізу (S_0). До кожного зразка прикладають різне навантаження F і вимірюють зміну їх довжини (Δl). На рис. 27 показано діаграму розтягу маловуглецевої відпаленої сталі. По осі ординат позначено навантаження, прикладені до зразків, а по осі абсцис – видовження зразків.

На діаграмі розтягу можна побачити кілька характерних точок: a , b , c , d , B , K . Ділянка $0-a$ є відрізком прямої, який показує, що до точки a видовження пропорційне до навантаження. Навантаження в точці a , яке визначає кінець прямолінійної ділянки діаграми розтягу, відповідає границі пропорційності.

Границю пропорційності називають максимальне наванта-



ження, до якого зберігається лінійна залежність між навантаженням і деформацією.

У разі подальшого навантаження на зразок спостерігається відхилення від пропорційності: на діаграмі з'являється криволінійна ділянка $a-b$. До точки b деформація зразка пружна.

Пружністю називають здатність конструкційного матеріалу змінювати форму під дією зовнішнього навантаження і відновлювати її після припинення його дії.

Точкою c на діаграмі позначено початок горизонтального відрізка, який показує, що зразок видовжується без збільшення навантаження. Цю властивість називають **границею плинності**. Плинність характерна лише для маловуглецевих відпалених сталей і деяких марок латуней. Багатовуглецеві сталі та інші сплави не мають горизонтального відрізка на діаграмі розтягу. Для таких конструкційних матеріалів визначають умовну границю плинності в разі залишкового видовження, яке дорівнює 0,2%.

Умовною границею плинності називають навантаження, при якому досліджуваний зразок дістає залишкове видовження, що дорівнює 0,2% його початкової довжини (l_0).

У разі подальшого збільшення навантаження від точки d пластична деформація зростає і рівномірно поширюється на весь об'єм зразка.

Пластичністю називають здатність матеріалу змінювати форму під дією зовнішнього навантаження і зберігати її після припинення його дії.

У разі досягнення точки B деформація зосереджується в місці найменшого опору і подальше видовження зразка відбувається за рахунок утворення «шийки» – звуження поперечного перерізу. Точка B показує, найбільше навантаження, яке може витримати зразок. Це навантаження відповідає **границі міцності** (σ) матеріалу, з якого виготовлені досліджувані зразки.

Границею міцності називають напруження, яке відповідає найбільшому навантаженню, що витримує зразок до руйнування.

Її визначають за формулою:

$$\sigma_B = \frac{F_B}{S_0},$$

де: F_B – найбільше навантаження, прикладене до зразка;

S_0 – початкова площа поперечного перерізу зразка.

Чим більша міцність конструкційного матеріалу (зразка), тим меншими можуть бути розміри деталі виготовленої з нього, а це значить, що менше матеріалу витратиться на виготовлення машин та технологічного обладнання. У точці K в разі навантаження F_K зразок руйнується.

Отже, з діаграми розтягу можна визначити пружність, пластичність, міцність та інші механічні властивості конструкційних матеріалів.

§ 21.2.2. Визначення в'язкості

В'язкістю називають здатність матеріалу чинити опір дії ударних навантажень.

Ця властивість дуже важлива, оскільки більшість матеріалів в'язкі. За умов статичного навантаження вони стають крихкими, коли навантаження прикладають у вигляді удару. До удару дуже чутливі великокристалітні сплави. Отже, виготовляти деталі з цих матеріалів не можна. Щоб вибрати матеріал для виготовлення таких деталей, їх випробовують на ударний вигин. Для таких випробувань виготовляють спеціальні зразки у вигляді брусків довжиною 55 мм (рис. 28, а).

Поперечний переріз зразка має вигляд квадрата зі стороною 10 мм. По середині зразка 2 зроблено надріз 3 глибиною 2 мм і радіусом 10 мм.

Випробування на ударний вигин проводять на машинах, які називають *маятниковим копером*.

Зразок 2 вставляють на опори маятникового копера (рис. 28, б) надрізом 3 до середини. Маятник 1 масою Q підіймають на висоту H . У цьому положенні він

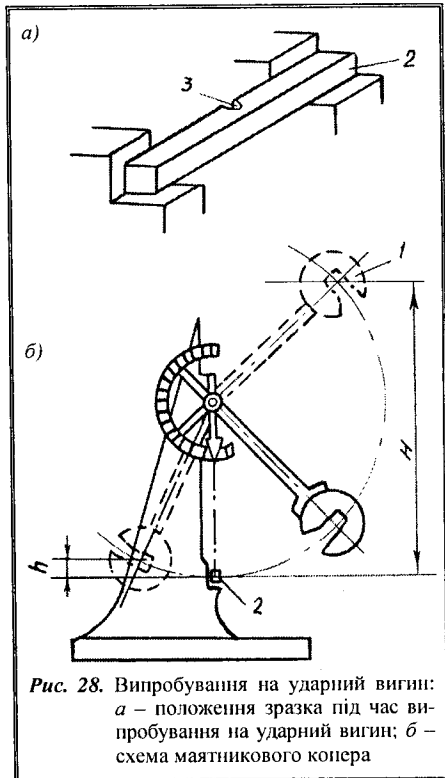


Рис. 28. Випробування на ударний вигин: а – положення зразка під час випробування на ударний вигин; б – схема маятникового копера

має запас потенціальної енергії. Потім маятник опускають, і він, по-вільно падає, вдаряє по зразку і руйнує його. На це витрачається частина енергії. Після удару маятник піднімається на меншу висоту h , яку визначають за шкалою копера.

Роботу удару, поглинену матеріалом, з якого виготовлено зразок, обчислюють за формулою:

$$A = Q (H - h).$$

Ударною в'язкістю називають роботу, яка поглинається в разі руйнування зразка.

Ударну в'язкість (γ) вираховують за формулою:

$$\gamma = \frac{A}{S_o},$$

де: A – робота удару, затрачена на руйнування зразка;

S_o – площа поперечного перерізу зразка в місці надрізу.

Чим більша в'язкість конструкційного матеріалу, тим більшу роботу виконує маятник у разі його руйнування і відповідно на меншу висоту підніметься після руйнування зразка.

Ударна в'язкість дуже чутлива до вмісту домішок і структури сплавів.

§ 21.2.3. Визначення твердості

Твердістю називають здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого тіла, виготовленого з твердішого матеріалу.

Цим тілом можуть бути сталева кулька, конус, виготовлений із алмазу або з твердого сплаву, алмазна пірамідка.

Твердість металу, як і міцність, має дуже велике значення, оскільки впливає на тривалість роботи деталей, виробів тощо. Від твердості залежить вибір матеріалів для виготовлення конструкцій або інструментів. Твердість впливає на вибір способу оброблення металів. Чим твердіший метал, тим більше зусилля потрібно прикласти для його оброблення різанням чи тиском.

На твердість випробовують усі відповідальні деталі двигунів внутрішнього згоряння – колінчасті вали, шатуни, поршні, клапани тощо. Відомо багато способів визначення твердості. Проте на практиці найширше застосовують способи Брінелля, Роквелла, Віккерса і спосіб визначення мікротвердості.

1. Визначення твердості за способом Брінелля. Для визначення твердості досліджуваного конструкційного матеріалу у тіло зразка 1, виготовленого з цього матеріалу, втискають сталеву кульку 2 діаметром D (рис. 29). Твердість матеріалу HB^1 визначають відношенням навантаження (F), прикладеного до кульки, до площі поверхні відбитка (S) діаметром (d) зробленого кулькою:

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}.$$



Рис. 29. Схема випробування конструкційних матеріалів на твердість за способом Брінелля

Навантаження на кульку (F), діаметр кульки (D) і час витримування кульки під навантаженням (t) найчастіше беруть такими: (F) = 3000 Н; (D) = 10 мм; (t) = 10 с. Діаметр відбитка вимірюють за допомогою лупи.

Отримані значення твердості можна використати для визначення границі міцності під час розтягу.

Для маловуглецевої сталі цей зв'язок виражається рівнянням:

$$\delta_B \cong 0,36 HB.$$

2. Визначення твердості за способом Роквелла. За цим способом твердість матеріалів визначають втисненням у зразок алмазного конуса або сталевий кульки. Цей спосіб застосовують для визначення твердості загартованих сталей та інших матеріалів, що мають велику твердість.

Твердість, визначену цим способом, позначають літерами HR із додаванням індексу шкали, за якою виконували вимірювання, наприклад, HRB (для випробування сталевий кулькою) або HRC (для випробувань алмазним конусом).

3. Визначення твердості за способом Віккерса. За цим способом твердість визначають втисненням у зразок вершини алмазної пірамід-

¹ У цьому позначенні H – початкова літера слова *Hardness* – твердість; B – перша літера прізвища автора способу *Brinell*.

ки. Цей спосіб дає точні показники твердості. Його можна використати для визначення твердості всіх металів і сплавів. Він придатний також для визначення твердості тонких приповерхневих шарів, дифузійних покриттів, які отримують хіміко-термічною обробкою тощо.

4. **Визначення мікротвердості.** Для визначення твердості окремих складових структури сплавів, дуже тонких приповерхневих шарів, різних покриттів тощо необхідні інші способи, оскільки описані не придатні для дослідження таких малих об'єктів.

Визначення мікротвердості полягає у втисненні в досліджуваний об'єкт, яким є включення або покриття, вершини алмазної пірамідки за невеликих навантажень (0,2–1,96 Н). Поверхня досліджуваного зразка має бути ретельно підготовленою: полірованою і травленою для виявлення об'єктів дослідження (кристаліти, включення, покриття тощо).

21.3. Технологічні та експлуатаційні властивості металів і сплавів

1. **Технологічні властивості** характеризують здатність конструкційних матеріалів оброблятися різними способами: литтям, тиском, різанням, зварюванням тощо. Для цього метали та сплави повинні мати відповідні властивості.

До **ливарних властивостей** належать плинність розплаву, усадка, схильність до ліквідації тощо.

Така властивість, як **ковкість**, характеризує здатність металів і сплавів оброблятися тиском. Ковкість визначається пластичністю і залежить від температури нагрівання металів і сплавів перед обробленням тиском.

Для отримання якісних швів необхідно, щоб метали та сплави мали добру **зварюваність**.

Якщо не зважати на технологічні властивості, то з металообробних цехів і дільниць виходитимуть вироби з дефектами, тобто браковані.

Добрі технологічні властивості конструкційних матеріалів визначають, на скільки економічно ефективно може бути виготовлена та чи інша деталь, конструкція, машина.

2. **Експлуатаційні властивості** характеризують здатність металів і сплавів працювати за умов високих або низьких температур, різних тисків, середовищ, радіації тощо.



КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ ТА СПОСОБИ ЇХ ЗАХИСТУ

22.1. *Поняття про корозію та агресивні середовища*

Метали та сплави на їх основі є основними конструкційними матеріалами. З них виготовляють найвідповідальніші деталі та механізми. Внаслідок взаємодії із зовнішнім середовищем деталі та механізми втрачають свою довговічність, що спричинює простоювання обладнання, втрату сировини, продукції, а часом навіть призводить до аварій з людськими жертвами.

Корозією (лат. «*corrosio*» від «*corrodo*» – роз’їдаю, гризу) називають руйнування виробів, виготовлених з металів і сплавів, під дією зовнішнього середовища.

Середовища, в яких руйнуються метали та сплави, називають **агресивними** або **корозійними**.

Прикладом цих середовищ є повітря, розчини солей, кислот, лугів, розплави металів, викидні та промислові гази, бензин, пил тощо. Ці середовища можуть **розчиняти** метали та сплави або **утворювати сполуки** з ними: оксиди, нітриди тощо. Так, на поверхні виробів, виготовлених із сплавів на основі заліза (вуглецеві сталі, чавуни), утворюються оксиди у вигляді іржі бурого кольору.

На практиці мають місце випадки, коли на поверхні виробів не утворюються продукти корозійного руйнування, тоді виявити пошкодження виробів дуже важко.

Корозійні середовища поділяють на електроліти та неелектроліти.

Середовища-електроліти проводять електричний струм. До них належать розчини солей, кислот, лугів, морська вода тощо.

Середовища-неелектроліти не проводять електричного струму. Прикладом таких середовищ є викидні та промислові гази, спирт, бензин, мастила тощо.

22.2. Види корозії

У разі взаємодії корозійних середовищ з металами та сплавами спостерігається кілька видів корозії, які класифікують за такими ознаками, як: механізм взаємодії, умови взаємодії тощо.

І. За механізмом взаємодії. Залежно від механізму взаємодії зовнішнього середовища з металами та сплавами корозію поділяють на хімічну й електрохімічну.

1. Хімічна корозія. *Хімічною корозією називають руйнування виробів, виготовлених з металів і сплавів, у середовищах-неелектролітах.*

Прикладом такого виду корозії є руйнування деталей нагрівних печей, казанів, турбін, двигунів внутрішнього згорання, сопел реактивних двигунів тощо. У разі взаємодії газового середовища (пічні та викидні гази) з металевими виробами на їх поверхні утворюються різні хімічні сполуки (наприклад, оксиди, сульфіді тощо) у вигляді плівок.

Чим вища температура середовища, тим інтенсивніше кородує метал, оскільки зростають швидкість дифузії газів через плівку до металу і зустрічна дифузія атомів металу. У разі утворення не дуже щільної та міцної плівки газове середовище може різко прискорити руйнування виробів. Прикладом металів, на поверхні яких утворюється нещільна (крихка) оксидна плівка, є залізо, вуглецеві сталі та чавуни. Вони надзвичайно швидко руйнуються під дією газових середовищ, оскільки їх оксидні плівки неміцні, а в разі незначної зміни температури або навантаження ці плівки відшаровуються. Поверхня виробу «оголюється» і кисень чи інший газ знову взаємодіє з металом виробу. З часом виріб тоншає, оскільки утворена плівка знову обсіпається.

Отже, оксидні плівки, які утворюються на поверхні виробів, виготовлених з вуглецевих сталей і чавунів, не можуть захистити їх від корозійного руйнування. Те саме спостерігається з виробами, виготовленими з ніобію, молібдену, вольфраму тощо, які працюють в атмосфері повітря чи кисню за температур 400–500°C.

Якщо на поверхні виробів утворюються міцні та щільні оксидні плівки, то корозійне руйнування сповільнюється. Прикладом таких металів є хром, алюміній та сплави на їх основі. Саме тому на практиці використовують леговані сталі, які витримують дію газових середовищ до 900°C, у той час, як вуглецеві легко руйнуються за тем-

ператур понад 500°C. Легування сталі хромом, алюмінієм, нікелем підвищує корозієстійкість сталей до температури 850–900°C.

Рідини-неелектроліти руйнують нафтогони й обладнання каталізного та термічного крекінгів нафтопродуктів та інші металеві вироби. Швидкість корозії в рідинах-неелектролітах (спирти, бензин, гас, нафта тощо) невелика, але зростає за наявності в них домішок, особливо сірки та кисню й підвищення температури середовища. Рідини неорганічного походження агресивні, тому важливо не помилитись у виборі матеріалу для виготовлення конструкцій або захисного покриття. Так, для рідин із вмістом броду придатне обладнання, виготовлене з танталу, а з вмістом сірки – з алюмінію.

2. Електрохімічна корозія. *Електрохімічною корозією називають руйнування виробів, виготовлених з металів і сплавів у середовищах-електролітах.*

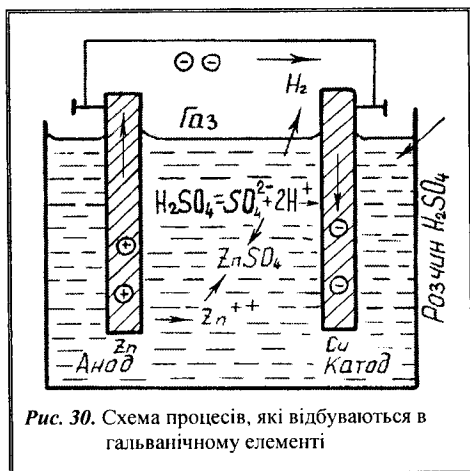
Це найпоширеніший вид корозії. Електрохімічна корозія характеризується протіканням електричного струму в електроліті, переходом атомів металу в іонізований стан та іншими електрохімічними процесами. Прикладом електрохімічної корозії є руйнування металевих конструкцій і виробів, які перебувають у середовищі вологого повітря, в морській та річковій воді тощо.

Якщо в контакті з електролітом перебувають два метали, то механізм корозії нагадує роботу гальванічного елемента, в якому метал із меншим електродним потенціалом (анод) безперервно розчиняється, а з більшим (катод) – відновлюється.

Запишемо ряд металів, розміщених у порядку зменшення їх електродних потенціалів:

Метал	Au	Pt	Ag	Cu	H	Sn	Ni
Електродний потенціал	+1,42	+1,20	+0,80	+0,34	0	–0,14	–0,25
Метал	Fe	Zn	Cr	Mn	Al	Mg	...
Електродний потенціал	–0,44	–0,76	–0,91	–1,18	–1,66	–2,36	...

Якщо в розчин сірчаної кислоти (середовище-електроліт) помістити пластини, виготовлені з міді та цинку і з'єднати їх зовнішні кінці електричним провідником (рис. 30), то утвориться гальванічний елемент, в якому мідь, що має більший електродний потенціал (+0,34), ніж цинк (–0,76), не розчиняється, а є лише місцем нейтралізації іонів електроліту. Позитивно заряджені іони цинку (Zn^{2+}) перейдуть в електроліт, а електрони потечуть по зовнішньому електричному провід-



днику до мідної пластинки, де нейтралізують позитивно заряджені іони водню (H^+). Атоми водню з'єднуються в молекули (H_2) і у вигляді бульбашок виходять з розчину електроліту. Ця модель дає можливість пояснити причину руйнування поверхні металу, який має неоднорідну будову (різні компоненти, фази, неметалеві включення, зони з різними залишковими напруженнями тощо).

Отже, поверхня металу – це множина мікроелементів (анодних і катодних ділянок), коротко замкнених через сам метал. Кожна ділянка має певний електродний потенціал.

Робота мікрогальванічних пар починається під час контакту з електролітом: ділянки сплаву з меншим потенціалом (аноде) руйнуються, а з більшим (катоде) – залишаються без зміни.

Однофазні сплави стійкіші в середовищах-електролітах, ніж багатофазні, але менш стійкі, ніж чисті метали.

Швидкість корозійного руйнування тим більша, чим далі стоять один від одного метали у ряді електродних потенціалів.

II. За умовами взаємодії. Залежно від умов, в яких працюють машини, агрегати та перебувають металеві конструкції, розрізняють кілька видів корозії: газову, атмосферну, підземну, біологічну, корозію під дією струмів тощо.

Газова корозія спричинюється дією на металеві вироби викидних і промислових газів та теплоти, оскільки ці гази завжди нагріті до високих температур.

У разі **атмосферної корозії** агресивним середовищем є сконцентрована на поверхні металевого виробу волога, агресивність якої зростає із збільшенням у ній газів: O_2 , CO_2 , SO_2 тощо. Цей вид корозії найпоширеніший, оскільки близько 80 % металовиробів і конструкцій експлуатуються і зберігаються під «відкритим небом».

У разі **підземної (грунтової) корозії** середовищем, яке руйнує металеві конструкції (труби, кабелі та інші підземні комунікації), є ґрунтова волога. Швидкість корозії зростає в торф'янистих і болотистих ґрунтах.

стих ґрунтах. Наявність мікроорганізмів і продуктів їх життєдіяльності руйнують навіть захисні покриття конструкцій.

Вивчення морських глибин, добування нафти з дна морів, створення потужного надводного та підводного морського флоту призводять до великих втрат металів у дуже агресивному середовищі, яким є *морська вода*. Вода крім хлоридів металів містить кисень та інші речовини, які спричинюють корозію.

Великих втрат завдає корозія під дією *блукаючих струмів*. Особливо небезпечним є постійний струм. Спостерігається цей вид корозії навколо трамвайних ліній і ліній електропоїздів. Під час руху трамваїв та електропоїздів частина електричного струму проникає в ґрунт, доходить до труб, якими транспортують нафту, воду, газ та інших підземних металевих конструкцій, анодні ділянки яких руйнуються. Це дуже небезпечний вид корозії: струм силою 1 А за рік «з'їдає» 9 кг заліза, 3 кг алюмінію, 11 кг цинку і міді, 34 кг свинцю. Радіус дії цього виду корозії досягає десятків кілометрів.

22.3. Види корозійного руйнування

Корозійне руйнування металів і сплавів починається з поверхні, тобто на межі металевий виріб – середовище, і поступово поширюється в глибину металу.

Найпоширеніші види корозійного руйнування металів і сплавів – суцільне, місцеве (рис. 31).

1. Суцільне руйнування. При суцільному корозійному руйнуванні середовище взаємодіє з металевими виробами по всій поверхні, але з різною швидкістю. Саме тому цей вид руйнування поділяють на *рівномірне* та *нерівномірне*. У разі *рівномірного* руйнування (рис. 31, а) швидкість взаємодії середовища з металом однакова, а в разі *нерівномірного* (рис. 31, б) – різна на різних ділянках поверхні виробів. Відповідно середовище поширюється в глибину металу на однакову або різні відстані.

2. Місьцеве руйнування. При цьому виді руйнування середовище взаємодіє з металами на окремих ділянках поверхні виробів.

Місьцеве руйнування поділяють на плямисте, виразкове, точкове, підповерхнєве, вибіркєве, міжкристалічне, транскристалічне тощо.

Плямисте руйнування (рис. 31, в) спостерігається на виробах, виготовлених із латуні, які перебували в морській воді. На поверхні латунних виробів утворюються плями. Глибина плям невелика.

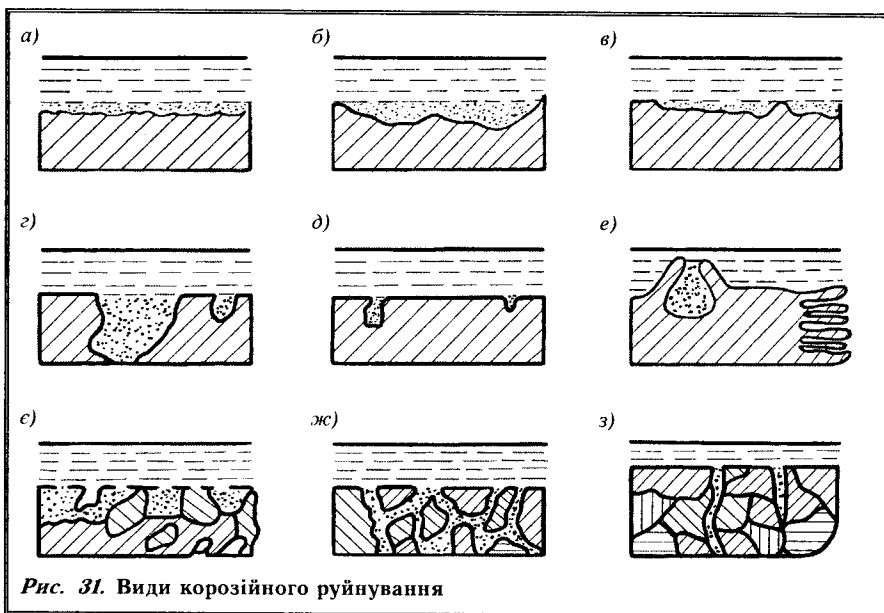


Рис. 31. Види корозійного руйнування

Якщо середовище проникає на велику глибину, то кажуть, що має місце **виразкове руйнування** (рис. 31, г). Так руйнується сталь, вироби з якої довгий час перебували у ґрунті.

Точкове руйнування (рис. 31, д) характеризується утворенням вузьких кратероподібних (аж до наскрізних) заглиблень. Цей вид руйнування спостерігається на поверхні виробів, виготовлених із нержавіючої сталі, після дії на них морської води.

Підповерхневе руйнування (рис. 31, е) спостерігається тоді, коли вироби покриті захисними покриттями (лаком, фарбою тощо). Продукти корозійного руйнування не можуть виноситися в середовище, оскільки поверхня виробу прикрита покриттям. Це спричиняє здуття покриття та розшарування металу.

Суть **вибіркового руйнування** (рис. 31, ж) полягає в тому, що середовище взаємодіє з певними хімічними елементами або фазами матеріалів, з яких виготовлені вироби. Так, у сірих чавунах руйнується ферит і перліт, а графітовий каркас залишається; у латунях середовище взаємодіє із цинком і приповерхневий шар латунних виробів складається з губчастої міді.

Міжкристалічне руйнування (рис. 31, з). Середовище взаємодіє спочатку з домішками, які перебувають на межах кристалітів, а потім

приступає до розчинення металів. Це дуже небезпечний вид руйнування, який може спричинити раптову аварію. Це саме стосується також *транскристалічного руйнування* (рис. 31, з).

22.4. Корозієстійкість металів і сплавів

Корозієстійкістю металів і сплавів та інших конструкційних матеріалів називають здатність їх чинити опір дії зовнішніх агресивних середовищ.

Корозієстійкість металів і сплавів оцінюють візуально та кількісно.

У разі *візуального способу* оцінки корозієстійкості вироби, які перебували під дією агресивного середовища, оглядають. Під час огляду визначають стан поверхні (блискуча чи тьмяна). Наявність на поверхні продуктів корозії, міцність з'єднання продуктів корозії з поверхнею виробів.

Кількісне визначення корозієстійкості ґрунтується на визначенні швидкості зміни маси виробів після перебування їх в агресивному середовищі, яку визначають з формули:

$$V = \frac{m_1 - m_2}{S \times t},$$

де: V – швидкість корозії;

m_1, m_2 – маса виробу, відповідно, до і після перебування у середовищі;

S – площа поверхні виробу;

t – час дії середовища.

Корозієстійкість металів і сплавів можна визначити також за зміною їх механічних властивостей та електричного опору.

22.5. Способи захисту металів і сплавів від корозії

Проблемою захисту металів і сплавів від корозії вчені займаються давно. Проте й досі вона є і залишається актуальною: з'являються нові корозійні середовища, а також нові конструкційні матеріали.

Найпоширенішими способами захисту металів і сплавів від корозії є легування (створення сплавів з антикорозійними властивостями).

ми); захисні покриття (металеві, дифузійні, неметалеві); використання інгібіторів тощо.

Вибір того чи іншого способу захисту визначається умовами роботи та зберігання виробів.

§ 22.5.1. Легування

Вироби, виготовлені з вуглецевих сплавів (чавунів, сталей) мають малу корозієстійкість в агресивних середовищах. Щоб збільшити корозієстійкість цих конструкційних матеріалів їх легують хромом, нікелем, титаном та іншими хімічними елементами. На поверхні виробів, виготовлених із легованих сталей, утворюються щільні оксидні плівки, які захищають вироби від руйнування. До таких сталей належать хромісті та хромонікелеві.

Щоб запобігти появі міжкристалічного руйнування, до складу сталі додають титан. Хромонікелеві сталі корозієстійкіші ніж хромісті. Їх широко використовують у хімічній промисловості. Хромонікелеві сталі, які містять 17% хрому та 9% нікелю, є корозієстійкими на повітрі, в киплячих розчинах азотної та фосфорної кислот.

§ 22.5.2. Покриття

Легування є дорогим способом захисту металевих виробів від дії агресивних середовищ, оскільки дуже часто металеві вироби мають великі розміри, а легуючі елементи дорогі. Саме тому наносити покриття на поверхні металевих виробів економічно вигідніше.

Покриття є металеві, дифузійні і неметалеві.

1. Металеві покриття. Для захисту виробів металевими покриттями вибирають такі метали, які мають велику корозієстійкість у середовищі. Покриття наносять на поверхні виробів тонким шаром.

Металеві покриття наносять на поверхні виробів різними способами: з розплавів, електрохімічним (електролізним) способом, розпиленням, плазмовим напиленням тощо.

За **механізмом захисної дії** металеві покриття поділяють на катодні й анодні.

Катодні покриття наносять із металів, які мають більший електродний потенціал у даному середовищі, ніж основний метал (виріб). Проте незначне порушення суцільності покриття (риски, тріщини, пори тощо) роблять його навіть шкідливим. У місця порушення суціль-

ності покриття проникає агресивне середовище і утворюється гальванічна пара, в якій метал виробу виконує роль анода й швидко руйнується, наприклад, олов'яне покриття на поверхні виробу, виготовленого з вуглецевої сталі (рис. 32, а). Крім олова використовують мідь, нікель та інші метали.

Суть захисту металевих виробів **анодним покриттям** полягає в тому, що в середовищі саме покриття руйнується (рис. 32, б). Поверхню виробів покривають металами, які мають великий від'ємний електродний потенціал. У разі пошкодження покриття виникають гальванічні пари, в яких метал виробу виконує роль катода й не руйнується. Наприклад, для залізо-вуглецевих сталей такими покриттями є кадмієве, цинкове. Цинкові покриття широко використовують для захисту труб, резервуарів від дії води та гарячих рідин.

2. Дифузійні покриття дорожчі ніж металеві, оскільки технологія їх нанесення складніша (див. § 23.2). Ці покриття використовують для захисту металевих виробів від дії агресивних середовищ, які нагріті до високих температур (наприклад, нагрівні елементи в електричних печах, газові турбіни тощо).

3. Неметалеві покриття. Це найпростіший і відносно дешевий захист металевих виробів від дії деяких агресивних середовищ. Їх наносять з лаків, фарб, пластмас, емалей та інших речовин. Порівняно з іншими видами покриттів їх легко наносити на поверхні виробів зануренням, розпиленням або за допомогою помазка. Неметалеві покриття міцно зчеплені з поверхнею виробів, є корозієстійкими і добрими електроізоляторами. Майже 90% усіх металевих виробів захищають від корозії за допомогою саме цих покриттів.

Для зберігання та перевезення металевих виробів їх поверхні покривають мастилами.

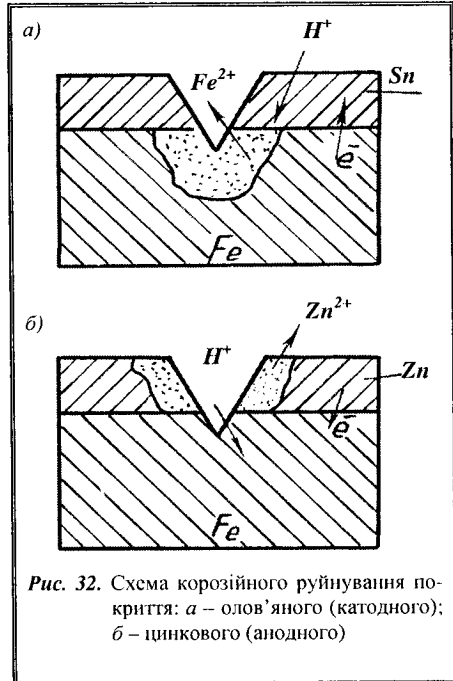


Рис. 32. Схема корозійного руйнування покриття: а – олов'яного (катодного); б – цинкового (анодного)

§ 22.5.3. Використання інгібіторів

Зменшити агресивність середовищ можна за допомогою спеціальних речовин, які називають *інгібіторами* (від лат. «*inhibeo*» – сповільною, зупиняю).

Ці речовини, не змінюючи властивостей середовища, пасивують (від лат. «*passivus*» – недіяльний) метали та сплави. Концентрація інгібітора в середовищі залежить від складу, властивостей, температури середовища тощо.

Оскільки інгібітори взаємодіють не із середовищем, а лише з металами, їх кількість незначна і становить 0,01–1% кількості розчину.

Механізм дії інгібіторів різний: одні адсорбуються на всій поверхні, інші вибірково на окремих ділянках. У першому випадку від середовища ізолюється уся поверхня, в іншому – порушується дія мікрогальванічних пар.

Інгібітори, які діють вибірково, поділяють на анодні та катодні.

До *анодних* належать інгібітори, які мають окиснюючі властивості (хромати, нітриди тощо) й утворюють на поверхні металу пасивні, переважно окисні, плівки товщиною близько 0,01 мкм.

Катодні інгібітори гальмують корозійне руйнування, скорочуючи кількість катодних ділянок, або поглинають кисень, який перебуває в розчині.

Інгібітори застосовують для захисту металів і сплавів тільки в нейтральних і лужних середовищах.

Для захисту від дії атмосфери використовують леткі сповільнювачі, наприклад, аміни. Їх вносять в атмосферу розпиленням або змоченням паперу. Таким папером обгортають металеві вироби.

Для продовження часу дії інгібітора поверх цього паперу виріб обгортають парафіновим папером або целофаном.

Для захисту від корозії сталевих виробів найчастіше використовують розчин нітриту натрію й уротропіну.

Інгібітори не універсальні, вони можуть захистити лише певні групи металів. Проте відомі інгібітори, які добре захищають як чорні, так і кольорові метали та сплави на їх основі. До них належить хроматдициклогексиламоній.



ТЕРМІЧНА ТА ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Термічна та хіміко-термічна обробка металів і сплавів – це два способи підвищення їх довговічності. У процесі термічної та хіміко-термічної обробки метали та сплави змінюють деякі свої властивості, наприклад, збільшується міцність, твердість, пластичність, корозієстійкість. Міцність потрібна усім деталям машин; твердість – в основному металорізальним інструментам і деталям, які працюють у контакті, тобто труться поверхнями одна об одну; пластичність потрібна в основному лише заготовкам для полегшення виготовлення з них виробів тиском і різанням; корозієстійкість потрібна усім металевим виробам, які перебувають під впливом корозійного середовища.

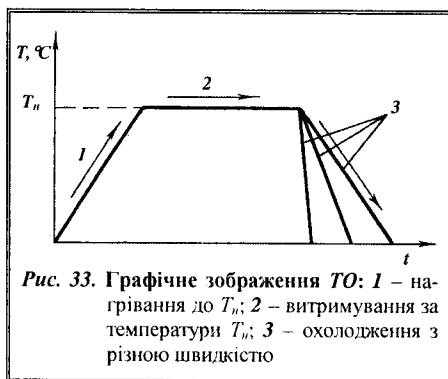
Дослідженню термічної і хіміко-термічної обробки металів і сплавів присвячені наукові праці багатьох вчених Світу. Серед перших з них був українець – уродженець (1884 р.) м. Чуднів, що на Житомирщині Іван Феценко–Чопівський. Найважливіші наукові праці Івана Феценка–Чопівського зібрані у трьохтомній монографії «Металознавство», перший том якої вийшов у 1930 р. Професор Феценко–Чопівський здійснив неоціненний внесок у формування української та польської наукової термінології. Помер 2 вересня 1952 р. в Абазі (табір смерті в СРСР).

23.1. Термічна обробка металів і сплавів

Термічною обробкою (ТО) називають процес нагрівання заготовки або готових виробів (деталей) до певної температури, витримання їх за цієї температури певний час та охолодження з відповідною швидкістю.

Графічно термічну обробку зображено на рис. 33.

Температуру нагрівання (T_n) заготовок або готових виробів (деталей) вибирають за допомогою діаграми стану сплавів, з яких вони



виготовлені. Для вуглецевих сталей користуються діаграмою стану залізо-цементит (див. рис. 25).

Час нагрівання (t) виробів залежить від їх розмірів і теплопровідності сплаву, з якого вони виготовлені. Його визначають експериментально або користуються довідковими даними.

Швидкість охолодження виробів залежить від виду *ТО*. Вироби охолоджують разом з піччю, на

повітрі або у воді чи в інших охолоджувачах. Найбільша швидкість охолодження у воді; найменша – разом із піччю.

Мета термічної обробки – надати виробам (заготовкам чи деталям), для яких це потрібно, пластичності, твердості, міцності, корозієстійкості.

У процесі *ТО* змінюється фазовий склад металів і сплавів, хімічний склад залишається майже такий самий, як і до термічної обробки.

Термічну обробку проводять для виливків, відливків, зварних з'єднань, деталей, машин, інструментів тощо.

§ 23.1.1. Перетворення у вуглецевих сталях в процесі нагрівання та охолодження

В основі термічної обробки лежать фазові та структурні перетворення, які відбуваються в металах, сталях і сплавах у процесі на-

грівання та охолодження. А тому в разі проведення *ТО* користуються діаграмами стану сплавів. Для прикладу розглянемо діаграму стану залізо-цементит та ознайомимось із перетвореннями, які відбуваються у вуглецевих сталях у процесі нагрівання та охолодження (рис. 34).

1. Перетворення в сталі в процесі нагрівання. Нагрівання вуглецевих сталей за температури 727°C (лінія **PK**) призводить до утворення в перліті (на межі фаз ферит-цементит) зародків майбутніх кристалітів аустеніту, які ростуть, а нові зароджуються доти, поки весь перліт не перетвориться на аустеніт. Це триває в процесі нагрівання до температур, які позначені лініями **GS** і **SE**.

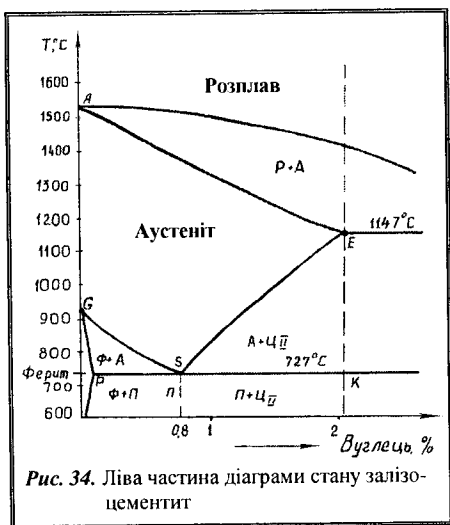


Рис. 34. Ліва частина діаграми стану залізо-цементит

Вище цих температур усі вуглецеві сталі мають структуру аустеніту. Перетворення перліт – аустеніт супроводжується зменшенням об'єму на 1%. Швидкість гомогенізації аустеніту зростає з підвищенням температури.

Нагрівання до високих температур призводить до *перегрівання* сталі, яке можна виправити повторною термічною обробкою (відпалюванням).

За температур, які наближаються до лінії солідус *AE*, відбувається окиснення меж кристалітів. Це явище називають *перепаленням* сталі. Це – брак, який не виправляється. Браковані вироби перепалюють (детальніше про перегрівання і перепалення сталі йдеться у § 33.2).

2. Перетворення в сталі в процесі охолодження. Під час повільного охолодження аустеніт перетворюється на перліт, який складається з ферито-цементитних частинок. У разі збільшення швидкості охолодження сталь переохолоджується і розміри феритоцементитних частинок зменшуються.

Якщо швидкість охолодження дорівнює $1^{\circ}\text{C}/\text{с}$, то аустеніт переохолоджується дуже мало і під час його розпаду утворюється *перлітна суміш* (HB 150).

У разі збільшення швидкості охолодження до $10^{\circ}\text{C}/\text{с}$ аустеніт переохолоджується більше. У результаті розпаду аустеніту утворюється дрібніша, ніж перліт, суміш фериту та цементиту вторинного, яку називають *сорбіт* (від прізвища англійського природознавця Г.-К. Сорбі). Твердість цієї суміші HB 230-320.

Якщо швидкість охолодження збільшити до $100^{\circ}\text{C}/\text{с}$, то утворюються ще дрібніші (невидимі в оптичному мікроскопі) частинки феритоцементитної суміші, яку називають *трусит* (від прізвища французького хіміка Л. Труста). Твердість труситу становить HB 330-420.

У разі збільшення швидкості охолодження понад $220^{\circ}\text{C}/\text{с}$ аустеніт перетворюється на *мартенсит* (від прізвища німецького металознавця А. Мартенса).

Мартенситом називають пересичений твердий розчин вуглецю в α -залізі.

Твердість мартенситу залежить від вмісту вуглецю в сталі й становить HB 600–650. Мартенсит дуже крихкий.

Отже, із збільшенням швидкості охолодження вуглецевої сталі змінюється її структура та збільшується твердість.

§ 23.1.2. Основні види термічної обробки вуглецевої сталі

Залежно від режимів нагрівання й охолодження є такі види термічної обробки: відпалювання, гартування та відпускання.

1. Відпалювання. *Відпалюванням* називають такий вид ТО, внаслідок якого вироби нагрівають до певної температури, витримують деякий час і повільно охолоджують.

У процесі відпалювання сталеві заготовки (вироби) звільняються від залишкових напружень, підвищується їх пластичність.

У більшості випадків відпалювання є підготовчою операцією. Відпалюють вироби, отримані литтям і тиском.

Знижуючи твердість, відпалювання полегшує оброблення заготовок різанням.

Відомо кілька видів відпалювання. Для вуглецевих сталей найчастіше застосовують дифузійне, повне, неповне та нормалізаційне відпалювання.

1. Дифузійне відпалювання проводять для поліпшення хімічної однорідності або, інакше, гомогенності. Тому цей вид відпалювання називають *гомогенізацією*. Для цього вироби (відливки, виливки тощо), виготовлені з вуглецевих сталей, нагрівають до температури 1100–1200°C, витримують протягом 10–15 год. і повільно охолоджують (див. рис. 34). Великі вироби витримують >100 год. Для скорочення витрат палива й енергії виливки та відливки завантажують у піч зразу після звільнення від форм і виливниць, коли вони ще гарячі.

2. Повне відпалювання застосовують для виробів, виготовлених із доєвтектоїдних сталей. Ці сталі містять вуглецю менше за 0,8%. Заготовки нагрівають до температури на 30–50°C вище лінії *GS*, витримують за цієї температури для повного прогрівання і закінчення фазових перетворень в об'ємі сталевих заготовок і повільно охолоджують разом із піччю.

Відпалена сталь є в'язкою і пластичною.

3. *Неповне відпалювання* застосовують для виробів, виготовлених з усіх вуглецевих сталей. Їх нагрівають до температур на 10–30°C вище лінії *PK* (див. рис. 34), витримують за цієї температури і повільно охолоджують.

Неповне відпалювання економічніше, ніж повне, оскільки температура нагрівання нижча.

4. *Нормалізаційне відпалювання* (нормалізація) застосовують для виробів, виготовлених з усіх вуглецевих сталей. Сталі нагрівають до температур на 30–50°C вище ліній *GS* і *SE*, витримують за цієї температури певний час і охолоджують на повітрі (див. рис. 34).

Отже, нормалізаційне відпалювання проводять з дещо більшою швидкістю охолодження.

Нормалізаційне відпалювання застосовують для поліпшення властивостей виробів, отриманих литтям, тиском тощо, виправлення структури перегрітої сталі. Дуже часто нормалізаційне відпалювання проводять перед гартуванням для отримання дрібнокристалітної структури та відповідно великої міцності виробів.

II. Гартування. *Гартуванням* називають такий вид *ТО*, внаслідок якого вироби із багатовуглецевої сталі нагрівають до температури на 30–50 °C вище ліній *GS* і *SK*, витримують деякий час, а потім швидко охолоджують.

У наслідок таких операцій (нагрівання та охолодження) в сталі формується ферито-цементитна або мартенситна структура, тому твердість виробів, виготовлених із багатовуглецевих сталей, є великою.

Процес гартування складається з двох операцій – *нагрівання* й *охолодження*. Чим більші розміри виробів і складніша їх форма, тим повільніше треба їх нагрівати. Інакше у виробах можуть виникнути великі внутрішні напруження і, як наслідок, утворення тріщин і навіть розтріскування виробів.

Важливим моментом у процесі гартування є швидкість охолодження, оскільки вона визначає характер структури сталі, яка утворюється при цьому. Швидкість охолодження сталі в процесі гартування визначається охолодною здатністю середовища, яким найчастіше є вода, водні розчини солей і лугів або мінеральні мастила.

Вода кімнатної температури охолоджує сталь в інтервалі температур 650–550°C із швидкістю – 660°C/с. Проте в момент аустеніто-мартенситного перетворення, яке відбувається за температур 300–200°C, вона охолоджує сталь також із великою швидкістю (300°C/с), а це

спричиняє виникнення внутрішніх напружень, внаслідок яких утворюються тріщини у виробах.

Мінеральні мастила під час аустеніто-мартенситного перетворення охолоджують сталь приблизно в 10 разів повільніше, ніж вода, що унеможливорює виникнення великих внутрішніх напружень, а разом з ними утворення тріщин і навіть розтріскування виробів. Після охолодження в мастилах вуглецеві сталі мають трустито-мартенситну структуру.

Способи охолодження при гартуванні. Залежно від складу сталі, з якої виготовлено виріб, його форми та розмірів застосовують різні способи охолодження: в одному охолоднику, у двох охолодниках тощо.

Охолодження в *одному охолоднику* застосовують для виробів простої форми. Виріб, нагрітий за температури гартування, швидко переносять в охолодне середовище, де витримують до повного застигання. *Недоліком* цього способу є нерівномірне охолодження виробу по перерізу, внаслідок чого виникають великі термічні напруження, які спричиняють деформування і навіть руйнування виробу.

Охолодження у *двох охолодниках* проводять для виробів складнішої форми. У процесі цього способу охолодження нагрітий виріб спочатку занурюють у воду, а потім переносять у мастило, де закінчується охолодження. Цей спосіб охолодженняощадніший порівняно з попереднім. Його застосовують під час гартування інструментів, виготовлених із багатовуглецевих сталей. Проте він, як і попередній, не позбавлений недоліків, оскільки важко визначити потрібний момент перенесення виробу з одного охолодника в інший. Внаслідок охолодження у двох охолодниках не можна отримати стабільних результатів гартування партії виробів.

Поверхнєве гартування. У випадку, коли поверхня виробів повинна бути твердою, а серцевина має залишатися в'язкою, то для них проводять поверхнєве гартування. При цьому способом гартування приповерхнєві шари виробів нагрівають за допомогою полум'я, яке отримують під час згоряння ацетилену в атмосфері кисню, або за допомогою струмів великої частоти. Звідси походить і назва способів поверхнєвого гартування: полум'яневе та великочастотне.

1. Полум'яневе гартування. У процесі полум'яневого гартування (рис. 35) приповерхнєві шари виробу *1* нагрівають полум'ям, отриманим за допомогою газового пальника *2*. Полум'я переміщують з певною швидкістю вздовж виробу, який гартують. Слідом за полум'ям з

пристрою для подання охолодника 3 на поверхню виробу надходить вода. Нагрітий приповерхневий шар (А) швидко охолоджується.

Цей спосіб застосовують у випадку гартування виробів, які мають велику поверхню, наприклад, для валів вальцівень або під час ремонту чи гартування окремих виробів. Товщина загартованого шару А може становити 2-4 мм.

Основним *недоліком* цього способу гартування є складність регулювання температури.

2. Великочастотне гартування. У процесі цього способу гартування вироби нагрівають в індукторі, по якому йде струм великої частоти (с.в.ч.). На практиці використовують струми частотою $5 \cdot 10^2 - 10^6$ Гц. Чим більша частота струму, тим на меншу глибину прогріється виріб. У діапазоні зазначених частот глибина прогрівання не перевищує 2 мм. Індуктори виготовляють з мідних трубок, усередині яких безперервно циркулює вода для їх охолодження. Форма індуктора відповідає зовнішній формі виробу. Відстань між індуктором і поверхнею виробу витримується постійною. Виріб нагрівають с.в.ч. протягом 5–7 с. Після нагрівання його швидко переміщують у спеціальний пристрій, в якому через отвори на нагріту поверхню надходить охолодник. Іноді нагріті вироби виштовхують в бак з охолодником.

Цей спосіб поверхневого гартування характеризується великою продуктивністю, відсутністю знеуглецьовування й окиснення приповерхневих шарів виробів, можливістю регулювання та контролю режиму ТО, а також повною автоматизацією всього процесу.

Недоліком цього способу нагрівання є велика вартість індукційних установок та індукторів, оскільки для кожної форми деталі виготовляють окремі індуктори. Його доцільно використовувати тільки в разі масового виробництва однотипних деталей простої форми.

Гартування не є кінцевою операцією ТО. Після гартування проводять відпускання.

III. Відпускання. *Відпусканням* називають такий вид ТО, внаслідок якого сталеві вироби нагрівають до температур, нижчих за лі-

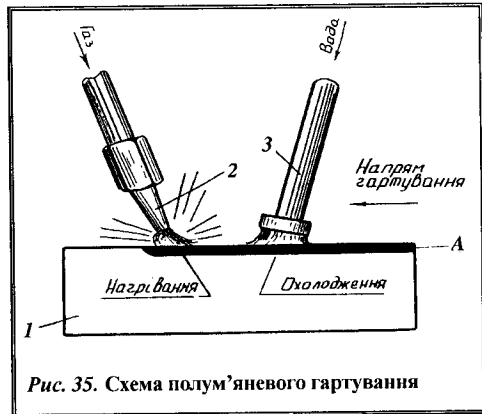


Рис. 35. Схема полум'яного гартування

нію **РК**, витримують певний час й охолоджують з відповідною швидкістю.

Відпускання є кінцевою операцією ТО, в процесі якого сталь набуває відповідних механічних властивостей. Крім того, відпусканням повністю або частково позбуваються залишкових напружень, які виникають у виробів у процесі гартування. Чим вища температура відпускання, тим повніше знімаються напруження. Час нагрівання виробів у процесі відпускання також впливає на напруження: чим триваліше нагрівання, тим менше напружень залишиться у виробі.

На залишкові напруження впливає також швидкість охолодження під час відпускання. Чим повільніше відбувається охолодження, тим менше залишкових напружень залишається у виробі. У процесі відпускання вироби охолоджують на повітрі, в мастилах або у воді. Найменша швидкість охолодження на повітрі.

Залежно від температури нагрівання виробів відпускання поділяють на низько-, середньо- та високотемпературне.

1. Низькотемпературне відпускання. Цей вид відпускання полягає в нагріванні виробів до температури 150-200°C, витримуванні їх за цієї температури певний час і наступному охолодженні. При цьому зменшується кількість залишкових напружень, дещо збільшується в'язкість, а твердість практично не змінюється.

Низькотемпературне відпускання проводять для різальних і вимірвальних інструментів, а також для деталей після поверхневого гартування, цементації тощо. Тривалість відпускання – 1,0–2,5 год., а для виробів, які мають великий поперечний переріз та інструментів – більша.

2. Середньотемпературне відпускання. Цей вид відпускання проводять так: вироби нагрівають до температури, яка становить 300–500°C, витримують за цієї температури й охолоджують.

Цей вид відпускання застосовують для пружин, ресор, а також штампів. Після відпускання зменшується твердість, вироби набувають великої пружності.

3. Високотемпературне відпускання. Цей вид відпускання полягає у нагріванні виробів до температури 500–680°C, витримуванні їх за цієї температури і наступному охолодженні.

У разі такого режиму відпускання у виробі майже повністю зникають залишкові напруження, які виникли під час гартування. Час нагрівання виробів залежить від їх розмірів і може становити 1,0–6,0 год. Іноді його збільшують до кількох десятків годин.

Високотемпературне відпускання проводять для валів та інших деталей, яким потрібні велика міцність і в'язкість.

§ 23.1.3. Обладнання, необхідне для проведення термічної обробки

До основного обладнання, необхідного для проведення термічної обробки, належать нагрівні, гартівні, очисні пристрої та прилади для вимірювання температури.

1. Нагрівні пристрої – це камерні та муфельні печі, печі-ванни та електропечі. Їх нагрівають твердим, рідинним або газовим паливом та електричним струмом.

У *камерних печах* вироби нагрівають у середовищі гарячих газів, які утворилися в процесі згоряння палива. У цих печах вироби контактують із газами або полум'ям, що спричинює окиснення та зневугльцювання приповерхневих шарів.

У *муфельних печах* вироби в процесі нагрівання не контактують із газом або полум'ям, вони отримують теплоту від стінок нагрітого муфеля (нім. «*Muffel*» – камера, посудина). Щоб уникнути окиснення та зневугльцювання приповерхневих шарів виробів, під час нагрівання внутрішній простір печей заповнюють спеціальними газами або вакуумують.

У *печах-ваннах* вироби нагрівають у розплавах солей та металів. Так нагрівають свердла, мітчики та інші дрібні інструменти.

В *електричних печах* вироби нагрівають за допомогою електричного струму. Тут найповніше використовується теплота і найлегше регулюється температура.

Останнім часом використовують нові способи нагрівання: *індукційний, лазерний* тощо. Так, для отримання великої твердості приповерхневих шарів із збереженням м'якої серцевини вироби нагрівають струмами великої частоти. Це дуже продуктивний спосіб нагрівання. Його можна повністю автоматизувати. Використання цих джерел енергії для локального нагрівання поверхонь виробів дає можливість гартувати тонкі леза різальних інструментів. Іноді тонкий приповерхневий шар доводять до оплавлення і внаслідок швидкого охолодження утворюється дрібнокристалітна або аморфна структура сталі.

При таких способах нагрівання не потрібні охолодники, оскільки локально нагріті приповерхневі шари виробів дуже швидко охолоджуються внаслідок відведення теплоти у серцевину.

2. **Гартівні пристрої** – це баки, наповнені охолодниками, якими можуть бути вода, водні розчини солей і лугів, мастила, гази тощо. На 1 кг виробів треба взяти 5–6 л води або 10–12 л мастила. Останнім часом для охолодження використовують водні розчини мийних засобів із додаванням поверхнево-активних речовин, якими можуть бути навіть полімери.

3. **Прилади для вимірювання температури**. До них належать термопари, оптичні пірометри, електронні терморегулятори тощо. Вони необхідні для вимірювання температури в нагрівному пристрої (піч, ванна) й охолоднику.

4. **Очисні пристрої** – це баки для очищення поверхонь виробів травленням та промиванням їх водою тощо.

23.2. Хіміко-термічна обробка металів і сплавів

Хіміко-термічною обробкою (ХТО) називають процес дифузійного насичення приповерхневих шарів металевих виробів (деталей) одним або одночасно чи послідовно кількома хімічними елементами.

Мета ХТО – надати приповерхневим шарам виробів (для яких це потрібно) твердості, зносо- та жаростійкості, корозієстійкості та інших властивостей. Для цього вироби поміщують у спеціально підготовлене нагріте середовище, з якого внаслідок дифузії у приповерхневий шар виробу переходять деякі хімічні елементи, наприклад, вуглець, бор, хром, берилій, алюміній тощо. Ці елементи називають *дифузуючими*.

Середовище, в якому містяться дифузуючі елементи, називають *насичуючим*. Воно може бути твердим, рідинним, паровим або газовим. Звідси походять назви основних способів *ХТО*: твердий, рідинний, паровий і газовий.

Вибір дифузуючого елемента визначає назву виду *ХТО*. Наприклад, якщо приповерхневі шари виробів насичують вуглецем, то вид *ХТО* називають цементацією, якщо азотом, – азотуванням, якщо бором, – боруванням, якщо хромом, – хромуванням і т. д. Коли приповерхневі шари виробів насичують двома чи більшою кількістю хімічних елементів, це відображено в назві виду *ХТО*. Наприклад, якщо приповерхневі шари виробів насичують хромом і алюмінієм, то вид *ХТО* називають хромоалюмініюванням.

Отриманий приповерхневий шар виробу, у якому міститься один або кілька дифузуючих елементів, називають *дифузійним покриттям*.

На рис. 36 зображено покриття (П), отримане дифузією *Si*, *Al* і *Ti* у приповерхневий шар легуваної сталі (*Ст*).

Науці відомо декілька видів *ХТО*, проте на практиці широко використовують лише цементацію, азотування, борування.

Товщина покриття та концентрація дифузуючих елементів у приповерхневому шарі виробу становлять *результат ХТО*, який залежить від температури та часу насичення й активності насичуючого середовища. Чим вища

температура і триваліше перебувають вироби в насичуючому середовищі, тим кращим є результат насичення, тобто більша товщина покриття та більша концентрація дифузуючого елемента в покритті. Проте підвищення температури та збільшення часу насичення призводять до перевитрат електроенергії. Щоб уникнути цього, необхідно шукати і знаходити активніші насичуючі середовища, в яких результат насичення був би належним, а витрати енергії зменшені. Крім того, ведуться пошуки шляхів удосконалення способів отримання дифузійних покриттів.

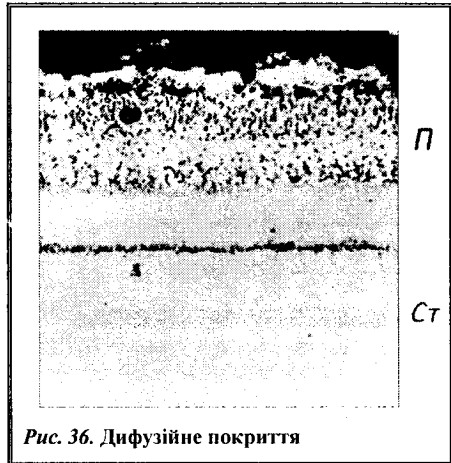


Рис. 36. Дифузійне покриття

§ 23.2.1. Фізико-хімічні процеси хіміко-термічної обробки

нагрітому до високої температури. За цей час відбуваються такі фізико-хімічні процеси: утворення активних атомів дифузуючих елементів, поглинання їх поверхнею виробу (адсорбція) та проникнення у глибину приповерхневих шарів виробу (дифузія).

У наслідок цих процесів змінюється склад приповерхневих шарів виробів. Новий склад приповерхневого шару виробу відповідає діаграмі стану насичуючий метал або сплав (виріб) – дифузуючий елемент.

У процесі хіміко-термічної обробки вироби певний час перебувають у хімічно-активному середовищі,

Щоб визначити склад майбутнього покриття та температуру середовища, користуються діаграмою стану метал або сплав (виріб) – дифузуючий елемент. Так, згідно з діаграмою стану залізо-цементит (див. рис. 34) приповерхневі шари залізних виробів потрібно насичувати вуглецем за температури 930–950°C, оскільки за цієї температури залізо має кубічну гранецентровану комірку, в якій розчиняється до 1,5% вуглецю, а це значно більше, ніж в кубічній об'ємоцентрованій комірці заліза, яка існує за значно нижчих температур.

§ 23.2.2. Цементация

Цементация називають такий вид ХТО, внаслідок якого приповерхневі шари виробів насичують вуглецем.

Мета цементациї – надати приповерхневим шарам виробів великої твердості. Такі деталі під час роботи довший час не стираються.

Цементують вироби, виготовлені із маловуглецевих сталей (0,08–0,3% С), які працюють за умов тертя. Це вальниці, трибові колеса тощо.

У багатьох випадках насичують вуглецем лише певні частини деталей, тобто ті, які працюватимуть за умов тертя. Ділянки деталей, які не працюватимуть за умов тертя, залишають нецементованими. Перед цементацией їх покривають тонким шаром міді (20–40 мкм) або обмазують сумішню вогнетривкої глини, піску тощо.

Приповерхневі шари сталевих виробів насичують вуглецем за температур, які лежать вище лінії *GS* (930–950°C) (див. рис. 34).

Цементацию проводять у твердому, рідинному або газовому середовищах, які називають **карбюризатором**.

1. Цементация у твердому карбюризаторі. У процесі цементациї в твердому карбюризаторі вироби нагрівають у жаростійкому контейнері разом із порошковим карбюризатором (рис. 37).

Твердий карбюризатор складається з деревного вугілля (дубового чи березового) і вуглекислих солей ($BaCO_3$, Na_2CO_3 , $CaCO_3$ тощо). Перед цементацией поверхні виробів (деталей) очищують від іржі та мастил. На

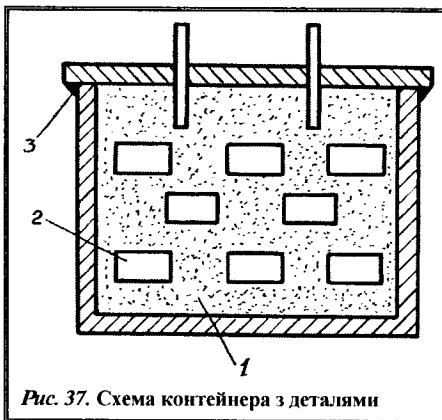
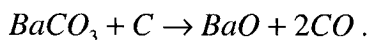
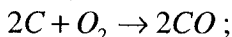


Рис. 37. Схема контейнера з деталями

дно контейнера насипають шар карбюризатора **1** товщиною 20-30 мм і утрамбовують. На нього кладуть вироби **2**, зберігаючи між ними відстань 10–15 мм. Знову насипають і утрамбовують шар карбюризатора, зверху кладуть вироби і т. д. Верхній ряд виробів засипають карбюризатором. Контейнер щільно закривають покриткою, обмазують вогнетривкою глиною **3**, щоб запобігти доступу повітря всередину, і встановлюють у печі, розігрітій до температури 930-950°C. Витримують 5–10 год.

Оскільки контейнер закритий, то в середовищі карбюризатора утвориться оксид вуглецю (**CO**):



Висока температура і наявність залізної поверхні (вироби) сприяють розпад **CO**:



У результаті цієї реакції виділяється атомарний вуглець (**C_{ат}**), який осідає на поверхню виробів і дифузує в глибину, внаслідок чого підвищується його концентрація в аустеніті. За 8–10 год. глибина дифузії вуглецю досягає 1 мм, а кількість його на поверхні цементованого виробу – 0,95–1,1%.

2. Цементация у газовому карбюризаторі. У процесі газової цементации вироби протягом певного часу нагрівають у печі, куди безперервним потоком надходить газова суміш, яка містить вуглець. Найчастіше використовують суміш газів: 20% **CO**, 40% **H₂**, 40% **N₂** і 3–5% метану (**CH₄**).

У процесі газової цементации порівняно з твердою та рідинною час насичення скорочується на 20–40%, оскільки відпадає потреба нагрівати контейнер, а це зменшує витрати електроенергії та підвищує продуктивність цементацийних дільниць. Крім того, газову цементацию можна повністю механізувати й автоматизувати.

Після цементации приповерхневі шари маловуглецевої сталі мають структуру аустеніту. Для надання приповерхневим шарам великої твердості, а серцевині – в'язкості, вироби після цементации гартують і відпускають. Режим **ТО** після цементации залежить від призначення деталі.

Крім цементации на практиці широко застосовують інші види **ХТО**, наприклад, алюмініювання. Це зумовлено високою техніко-економічною ефективністю **ХТО**, яка полягає у значній економії металу, трудових та енергетичних затрат; підвищенні довговічності та надійності машин, механізмів, інструментів тощо.



ПЛАСТМАСИ

24.1. Загальні відомості про пластмаси та їх властивості

Пластмасами (пластичними масами) називають конструкційні матеріали на основі природних або синтетичних великомолекулярних сполук, що здатні після нагрівання та дії зовнішньої сили набувати заданої форми і зберігати її після охолодження та припинення дії сили.

Пластмаси є важливими конструкційними матеріалами. Їх використовують у машино- та приладобудуванні, електро- та радіотехніці, легкій, харчовій і хімічній промисловості, будівництві, медицині тощо.

Таке широке використання пластмас зумовлене їх властивостями. Вони легкі, деякі з них мають велику міцність та корозієстійкість тощо. Пластмаси мають малу теплопровідність (у 70–200 разів меншу, ніж сталь), тому їх використовують для теплоізоляції. Деякі пластмаси мають велику морозо- та теплостійкість, наприклад, фторопласти можуть витримувати нагрівання за температур від -260 до $+260^{\circ}\text{C}$. Мають пластмаси також добрі оптичні властивості.

Проте пластмаси не позбавлені *недоліків*. Вони мають малу теплопровідність, незначну твердість, а також швидко «старіють».

Вироби з пластмас виготовляють тиском і литтям.

24.2. Класифікація пластмас

Пластмаси класифікують за певними ознаками.

1. **За складом.** Усі пластмаси поділяють на прості та складні.

1. **Прості пластмаси** складаються лише з полімерів. Наприклад, поліетилен $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$.

2. **Складні пластмаси** багатокомпонентні. Вони складаються з полімеру-основи та допоміжних речовин, якими є наповнювачі, пластифікатори, барвники тощо. Допоміжні речовини рівномірно розподілені в полімері.

Полімер є основою складної пластмаси. Він визначає її основні властивості.

Допоміжні речовини змінюють властивості полімеру-основи: густина, міцність, електричну провідність і теплопровідність тощо.

Так, **наповнювачі** збільшують теплостійкість і твердість пластмас, зменшують їх пористість і гігроскопічність, роблять пластмаси легшими. Вони є дешевшими від полімерів, що зменшує вартість виробів. Вміст наповнювачів у пластмасах становить 40–70% за масою.

Наповнювачі поділяють на:

- ✓ **порошкові** (деревний порошок, кварцовий порошок, сажа, графіт тощо);
- ✓ **волокнисті** (скляне, бавовняне та інші волокна);
- ✓ **листові** (папір, тканини – бавовняні, скляні тощо);
- ✓ **газові** (азот, амоніак тощо).

Пластифікатори надають полімеру пластичності, водо- та морозостійкості. Вони знижують температуру розм'якшення термопластичних основ, що сприяє формуванню виробів. До складних пластмас додають 10–20% за масою пластифікаторів. Роль пластифікаторів виконують речовини, хімічно інертні до інших складників пластмаси (гліцерин, олеїнова кислота, ефіри тощо).

Барвники надають пластмасам забарвлення. Для цього використовують органічні та мінеральні речовини, які зберігають забарвлення як у процесі формування виробів, так і під час їх використання. У процесі виробництва пластмас використовують інші допоміжні речовини.

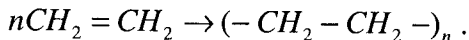
Представниками складних пластмас є **гетенакс** (основа – фенолоформальдегідна смола; наповнювач – папір), **текстоліт** (основа – фенолоформальдегідна смола; наповнювач – тканина) тощо.

II. За реакцією утворення полімерів. За цією ознакою усі пластмаси поділяють на полімеризаційні та поліконденсаційні. Найбільше значення мають полімеризаційні пластмаси.

1. Полімеризаційні пластмаси. Цей вид пластмас отримують полімеризацією, під час якої з молекул мономеру, який містить реакційноздатний подвійний зв'язок, самохіть або під впливом каталізатора чи багатого на енергію випромінювання утворюється полімер. Процес полімеризації проходить без виділення побічних речовин.

Із цих пластмас найширше застосовують (відповідно і найбільше виробляють) поліетилен, полістирол, фторопласт, поліакрилати тощо.

а) **поліетилен** $(-CH_2-CH_2-)_n$ отримують полімеризацією етилену $CH_2 = CH_2$ як за високого тиску (100 МПа) у газовій фазі, так і за низького тиску в розчині:



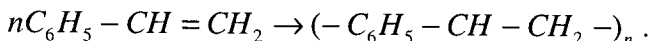
Поліетилен – це тверда, біла, масна на дотик речовина. Її переробляють у вироби такими способами: екструзією (витискуванням), литтям під тиском, пресуванням, зварюванням та різанням.

Виняткові діелектричні властивості поліетилену зумовлюють його широке застосування для виготовлення кабельної ізоляції, а також деталей радіо-, телевізійних та телеграфних установок.

Унаслідок водонепроникності та хімічної стійкості (за температур до 60°C він стійкий проти дії соляної, сірчаної, азотної кислот, розчинів лугів і багатьох органічних розчинників) з поліетилену виробляють деталі хімічної апаратури, плівку для зберігання харчових продуктів тощо.

На повітрі поліетилен стійкий за температур від +60 до -60°C. У процесі нагрівання до 300°C поліетилен розплавляється і перетворюється на газ.

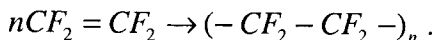
б) **полістирол** $(-C_6H_5-CH-CH_2-)_n$ отримують полімеризацією стиролю $C_6H_5-CH=CH_2$:



Полістирол водостійкий, має добрі діелектричні властивості і хімічно інертний. Під час витримування у воді протягом 300 год. він вбирає лише 0,05% вологи. Полістирол є прозорим, світло- та морозостійким. Із нього виготовляють деталі радіо- й електроапаратури, лабораторного посуду. Вироби виготовляють литтям під тиском та екструзією.

Недоліком полістиролу є мала теплостійкість.

в) **фторопласти** – похідні етилену $CH_2 = CH_2$, де всі атоми водню замінені галогенами (хлором або фтором). У разі заміни водню фтором утворюється сполука, яку називають **тетрафторетиленом** $CF_2 = CF_2$. Полімеризуючи тетрафторетилен, отримують політетрафторетилен:



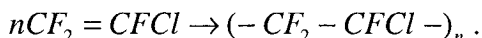
У техніці політетрафторетилен називають **фторопласт-4**. Це білий порошок, який у процесі нагрівання не розм'якшується, а за температури 327°C спікається й переходить із кристалічного в аморфний; у разі подальшого нагрівання залишається твердим до температури 415°C, після чого розкладається.

Фторопласт-4 не змочується водою, має добрі діелектричні властивості, а за хімічною стійкістю перевищує навіть благородні метали.

Вироби з порошку фторопласту-4 виготовляють холодним пресуванням, вальцюванням, потім спікають за температури ~375°C. Деталі з фторопласту-4 можна склеювати та зварювати.

Із фторопласту-4 виготовляють деталі для електро- та радіотехніки, хімічної апаратури; ним ізолюють великочастотні кабелі, які працюють за підвищених температур.

Якщо в етилені три атоми водню замінити атомами фтору, а четвертий – атомом хлору, то отримаємо сполуку трифторхлоретилен $CF_2 = CFCl$. Полімеризуючи цю сполуку, отримують політрифторхлоретилен, який називають **фторопласт-3**:

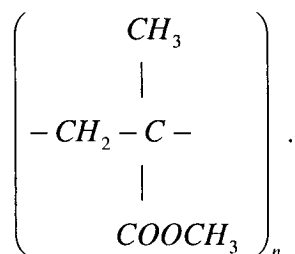


Вироби із фторопласту-3 на вигляд подібні до напівпрозорого рогового матеріалу.

Фторопласти мають добрі діелектричні властивості. Вони тепло-, морозо- та хімічно стійкі. Незважаючи на велику собівартість їх широко використовують у ракето-, авіа- та суднобудуванні, хімічному машинобудуванні, приладобудуванні, для захисту металевих виробів від корозії тощо.

г) **поліакрилати**. До цієї групи пластмас належать полімери на основі акрилової кислоти та її похідних.

Найбільшого значення набув поліметилметакрилат (органічне скло).



Органічне скло має добру прозорість, пропускає ультрафіолетове проміння, має великий коефіцієнт заломлення, легше від звичайного скла. Його застосовують у машинобудуванні, електротехніці, медицині.

Асортимент полімеризаційних пластмас весь час поповнюється новими, які мають кращі властивості від попередників.

2. Поліконденсаційні пластмаси. Цей вид пластмас отримують поліконденсацією. Суть поліконденсації полягає у з'єднанні молекул одного виду або різних з утворенням полімеру. У ході реакції виділяється побічна речовина (вода, амоніак, хлористий водень тощо). Тому склад елементарної ланки полімеру не відповідає складу вихідних мономерів.

Серед поліконденсаційних пластмас важливе місце займають фенопласти, амінопласти, поліаміди, а також пластмаси на основі поліефірних, епоксидних та інших смол.

Обсяг виробництва поліконденсаційних пластмас збільшується, хоч частка їх у світовому виробництві зменшується. Причини цього – складність способів отримання сировини, мала технологічність (порівняно з полімеризаційними пластмасами), відсутність досконалої технології перероблення відходів тощо.

Найширше застосовують фено- та амінопласти, які виробляють із фенолу, карбаміду, формальдегіду та інших альдегідів.

Асортимент поліконденсаційних пластмас безперервно поповнюється.

III. За впливом теплоти. За цією ознакою пластмаси поділяють на термопластичні та термореактивні.

Термопластичні пластмаси не втрачають своїх властивостей після багаторазового плавлення й охолодження.

Термореактивні пластмаси при нагріванні спочатку стають пластичними, потім, під впливом реакцій, які призводять до утворення тривимірної структури, тверднуть, стаючи неплавкими та нерозчинними.



КЕРАМІКА, МЕТАЛОКЕРАМІКА ТА МІНЕРАЛОКЕРАМІКА

25.1. Кераміка та її види

У процесі створення нових конструкцій, які повинні витримувати нагрівання до високих температур, прикладені зусилля та дію корозійних середовищ або мати особливі електричні, магнітні й оптичні властивості, важливу роль відіграє кераміка.

Керамікою (від грецьк. – гончарство) називають вироби виготовлені, в основному, з глини і випалені за високих температур.

Випалення надає виробам великої твердості. Для поліпшення властивостей кераміки до глини додають інші речовини.

Кераміка – це посуд і витвори мистецтва, цегла і труби, деталі радіо- й телеапаратури, автомобільних двигунів та космічних кораблів тощо.

До керамічних виробів, відомих людству здавна, належить теракота, фаянс, порцеляна, цегла, облицовальні плитки тощо. Їх виготовляють із природної мінеральної сировини.

Теракота (від італ. «*terra*» – земля і «*cotta*» – випалена) – це кераміка без поливи, має колір від світлого до насиченого червоно-коричневого і навіть чорного.

Фаянс (франц. «*faïence*» походить від назви італійського міста Фаєнца) – на відміну від теракоти, це кераміка білого кольору, зверху покрита поливою.

Порцеляна – досконалий вид кераміки. Його батьківщиною є Китай. Виробляють порцеляну з каоліну, в який додають незначну кількість польового шпату та кварцу.

Цегла – один з давніх штучних будівельних матеріалів. Її виробляють з глини та випалюють за температур, нижчих від тих, які необхідні для випалення інших керамічних виробів.

§ 25.1.1. Вогнетривка кераміка

Цей вид кераміки витримує нагрівання до високих температур. Залежно від сировини, з якої виробляють

вогнетривку кераміку її поділяють на глиноземну, динасову, шамотову, доломітову, магнезитову, хромомagneзитову, пористу тощо.

Глиноземну кераміку виготовляють із вогнетривких глин, які містять до 3% Fe_2O_3 . Вогнетривкість цієї кераміки коливається в межах 1380–1580°C.

Динасову (від назви скелі Динас, яка знаходиться у Великобританії) **кераміку** виготовляють із сировини, яка містить 93–95% SiO_2 , решта – CaO . Ця кераміка витримує нагрівання до температури 1730°C. В основному її використовують для викладення бесемєрівських конвертерів і мартенівських печей.

Шамотову кераміку виробляють із якісних вогнетривких глин, які містять 50–70% SiO_2 і 28–46% Al_2O_3 . На сьогодні шамотова кераміка – найпоширеніший і найдешевший вогнетривкий матеріал. Її використовують в основному для футерування доменних печей і сталерозливних ковшів. Шамотові вогнетриви витримують нагрівання до 1600–1750°C.

Доломітову кераміку (від прізвища французького геолога Д. Долом'є) виробляють випаленням природного доломіту:



Отриманий порошок містить 35–40% MgO і 52–58% CaO . Доломітова кераміка витримує нагрівання до 2000°C. Нею викладають черені металургійних печей, футерують конвертери тощо.

Магнезитову кераміку виробляють із природного магнезиту (від грецьк. – магнесійський), який складається в основному з оксиду магнію (MgO) та невеликої кількості оксиду кальцію (CaO). Магнезитовими вогнетривками футерують конвертери. Вони витримують нагрівання до 2000–2400°C.

Хромомagneзитову кераміку отримують спіканням оксиду хрому й оксиду магнію (30–35% Cr_2O_3 і 65–70% MgO). Цією керамікою викладають склепіння металургійних печей. Хромомagneзит витримує нагрівання до 2000°C.

Найбільшу вогнетривкість мають цирконієві вогнетриви.

Цирконієві вогнетриви – це майже чистий діоксид цирконію. Крім діоксиду цирконію вони містять деяку кількість кремнезему

(SiO_2). Вогнетривкість цих матеріалів $\geq 2500^\circ\text{C}$. З них виробляють тиглі та високотемпературні ізолятори.

Пористі вогнетриви набувають особливого значення за нагрівання до високих температур. У процесі виготовлення цієї кераміки до основної сировини додають речовини, які утворюють піну або згоряють. Пористу кераміку виготовляють з корунду, оксиду магнію або діоксиду цирконію. Корундова пінокераміка витримує нагрівання до температури 1800°C . Її використовують як підкладки для каталізаторів у твердих контактах. Цирконієву пінокераміку використовують у печах, де температура підвищується до 2300°C . Пінокераміка незамінна у космічній техніці, коли ракета входить у щільні шари атмосфери. У космічній техніці найчастіше використовують пінокварц.

§ 25.1.2. Діелектрична кераміка

Діелектриками називають речовини, які мають великий електричний опір (понад $1 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$).

До таких речовин належать порцеляна, п'єзо-, сегнето- та піроелектрики. Ці речовини не проводять електричного струму. Їх використовують в електро- та радіотехніці, металообробній промисловості, побуті тощо. Для електро- та радіотехніки з них виробляють ізолятори, конденсатори тощо. Основним матеріалом, з якого виробляють ці вироби, є **порцеляна**.

Запальнички для газових плит, голки для стереопрограваців, деталі для звукових генераторів виготовляють із **п'єзоелектриків**. Найперспективнішою п'єзоелектричною керамікою є тверді розчини титанату та цирконату свинцю.

У металообробній промисловості використовують ультразвукові свердла, виготовлені з п'єзокераміки.

Для виготовлення конденсаторів великої ємності, запам'ятовуючих пристроїв для комп'ютерів, терморезисторів тощо використовують **сегнетоелектрики** – сегнетову сіль, титанат барію тощо.

Для виготовлення чутливих інфрачервоних детекторів використовують **піроелектрики**.

25.2. Металокераміка

Металокераміку виготовляють з порошків металів і оксидів, карбідів, нітридів, сіліцидів, боридів тощо. Металокераміка добре поєд-

нує властивості сировини (металу та кераміки): теплопровідність металу з великою твердістю, трудноплавкістю, хімічною стійкістю кераміки.

Для виготовлення металокераміки використовують залізо, кобальт, нікель, ванадій, хром, молібден, вольфрам цирконій і титан з одного боку і оксиди, карбіди, бориди та нітриди перехідних металів – з іншого.

Компоненти вибирають так, щоб вони не взаємодіяли між собою з утворенням твердих розчинів або хімічних сполук. Наприклад, якщо беруть карбід, то вибраний метал не повинен легко взаємодіяти з вуглецем.

Металокерамічні вироби отримують порошковою металургією (див. § 26.2).

Перший металокерамічний матеріал було виготовлено із суміші порошоків оксиду алюмінію й алюмінію.

Особливого значення набули матеріали, виготовлені на основі карбідів (вольфраму, титану, танталу) і кобальту. Із порошоків цих речовин виготовляють леза різальних інструментів у вигляді пластин. **Вольфрам-кобальтові** сплави дорогі, оскільки до їх складу входять сполуки вольфраму, а він дорогий. Тому на зміну вольфрамовим сплавам прийшли безвольфрамові.

Особливої уваги заслуговують матеріали, виготовлені на основі карбідів сіліцію (SiC) та бору (B_4C). Вони мають велику твердість. Прикладом безвольфрамових сплавів є *стеліт* і *хастелой*. Основа цих сплавів – карбід сіліцію. Ці сплави мають більшу ударну в'язкість, ніж вольфрамові; довговічність їх у кілька разів більша.

У 70-х роках XX ст. створено керамічний матеріал *сіалон* (за літерами хімічних елементів Si , Al , O , N). Він має дуже добрі різальні властивості. Із нього виготовляють різальну частину різців.

25.3. Мінералокераміка

Мінералокераміку виготовляють на основі оксиду алюмінію (Al_2O_3). Вона має велику теплостійкість, яка зберігається і за нагрівання до $1200^\circ C$. Це дуже важливо, оскільки різальні інструменти, виготовлені з мінералокераміки, можуть обробляти конструкційні матеріали за значних швидкостей різання.

До мінералокерамічних матеріалів належать *електрокорунд* та *карборунд*. Електрокорунд – це кристалевий оксид алюмінію (Al_2O_3). Карборунд – це карбід сіліцію (SiC).

Електрокорундові інструменти використовують для різання загартованої сталі, чавуну, бронзи тощо.

Карборунд порівняно з електрокорундом має вищу твердість і меншу в'язкість, тому його використовують для виготовлення шліфувальних кругів, якими шліфують крихкі матеріали, а також деякі кольорові сплави.

Для підвищення міцності пластин, виготовлених із мінерало-кераміки, до сировини додають *W*, *Mo*, *Ti*, *B* тощо. Отримані мінерало-керамічні матеріали називають *керметами* (керамікометалами).



КОМПОЗИТИ

26.1. Поняття про композити

Композитами називають матеріали, основа яких зміцнена армуючими елементами.

Їх повна назва – композиційні матеріали.

Основу композитів називають *матрицею*. Її виготовляють із металів (найчастіше з *Al*, *Mg*, *Ni*, *Ti* та сплавів на їх основі), полімерів, кераміки та інших матеріалів. Матриця надає виробам певної форми і створює монолітний матеріал, а також передає зусилля, прикладені до виробу, на армівні елементи.

Армуючими (від лат. «*armo*» – наповнюю) *елементами* є нитковидні кристали, волокна, дротини та дрібні порошки. Ці матеріали повинні мати високу температуру плавлення; малу густину; велику міцність; незначну розчинність в основі-матриці; хімічну стійкість; крім того, вони не повинні виділяти отруйних речовин у процесі виготовлення композитів та в процесі експлуатації виробів з них.

Для армування використовують нитковидні кристали («вуса»), металеві дротини (зі сталі, вольфраму, молібдену тощо), волокна (вуглецеві, борові, скляні, кварцові тощо) та порошки (карбіди, нітриди, борида й інші трудноплавкі сполуки).

Нитковидні кристали – «вуса» (діаметром від часток до кількох міліметрів і довжиною до кількох сантиметрів), – поки що, не знайшли широкого використання для армування конструкційних матеріалів.

Металеві дротини використовують для виробництва композитів на основі металів і кераміки, оскільки їх легко виготовляти і вартість їх порівняно невелика.

Волокна використовують для армування пластмас і металів. Із них виготовляють тканини та трикотаж і вже ними армують основу.

Порошки – це дрібні частинки, розмір яких не перевищує 0,1 мкм. Порошки не повинні вступати у взаємодію з основою композиту. Вміст порошків у композиті становить 0,1–15%.

Залежно від вибору армуючих матеріалів (волокна, дротини чи порошки) композити поділяють на волокнисті та порошкові.

Композиційні матеріали мають необмежене застосування: у літакобудуванні для виготовлення деталей літаків (обшивки, панелей тощо), двигунів (лопаті, компресори, турбіни тощо); у ракетобудуванні для виготовлення вузлів апаратів, які в процесі роботи нагріваються; в автомобілебудуванні для виготовлення ресор, рам, тощо; у добувній промисловості для виготовлення бурових доліт тощо.

Застосування композитів забезпечує збільшення потужності двигунів, зменшення металомісткості машин, механізмів та обладнання.

26.2. Композити на основі металів

Цей вид композитів скорочено називають **металокомпозитами**. Їх основою є метали. Від звичайних металів і сплавів металокомпозити відрізняються механічними властивостями та корозійною стійкістю. Заміна металевих сплавів на композити підвищує жорсткість конструкцій за одночасного зниження металомісткості.

1. **Зміцнення волокнами і дротинами.** Міцність волокнистих композитів визначається властивостями волокон, тому міцність і пружність волокон мають бути значно більшими, ніж матриці.

Для зміцнення алюмінію, магнію та сплавів на їх основі використовують борові та вуглецеві волокна, а також волокна з трудноплавких сполук (карбідів, нітридів, боридів, оксидів), які мають велику міцність і пружність.

Часто для армування замість волокон використовують дріт, виготовлений із міцної сталі. Жароміцність нікелевих сплавів підвищують армуванням їх молібденовим і вольфрамовим дротом. Металеві дротини використовують також тоді, коли треба мати велику тепло- й електропровідність.

Композити на металевій основі мають велику міцність і жароміцність. Волокна в композитах зменшують швидкість поширення тріщин, що зароджуються в матриці.

2. **Зміцнення дрібними частинками.** Композити зміцнені дрібними частинками називають **порошково-зміцненими**. Їх виготовляють з порошкових матеріалів за технологією порошкової металургії. При-

кладом таких матеріалів є спечені алюмінієві порошки (**САП**) (див. § 20.2.3). Вони складаються з різного співвідношення порошоків алюмінію й оксиду алюмінію.

Способи отримання металокомпозитів. Вибір способу отримання металокомпозитів залежить від фазового стану основи, виду армуючого елемента тощо.

Якщо метал або сплав основи перебуває у твердому стані (у вигляді порошку або фольги (польс. *«folga»* від лат. *«folium»* – лист), то спосіб отримання металевих композитів називають **твердофазним**. Суть цього способу отримання композитів полягає в тому, що основу (наприклад, алюмінієву фольгу) і армуючі волокна (наприклад, сталеві дротини) пошарово накладають одне на інше, а потім стискають, найчастіше вальцюванням або пресуванням.

У разі **рідинного способу** основу композиту виготовляють з розплавленого металу чи сплаву. Цим способом армують, наприклад, магній волокнами вуглецю, бору тощо. Для виготовлення виробів з композитів використовують деякі способи лиття.

26.3. Композити на основі полімерів

Такі матеріали скорочено називають **полімерокомпозитами**. Їх основою є полімери. Для поліпшення властивостей полімерів їх армують волокнами, виготовленими з бору, вуглецю, скла тощо.

Полімерокомпозити та вироби з них у більшості випадків отримують одночасно. Це зменшує їх вартість, незважаючи на велику вартість полімерів і армівних волокон, а також велику трудомісткість виробництва.

Технологія виготовлення виробів із волокнистих полімерокомпозитів складається з підготовки полімеру-основи й армівних волокон; з'єднання волокон з основою; отримання напівпродукції; ущільнення, твердіння, термічної обробки, способу виготовлення виробів і контролю їх якості.

Полімер-основа може бути твердою або у вигляді розплаву. Якщо полімер-основа перебуває у вигляді розплаву, то волокна намочують у полімері, а якщо у твердому стані, то полімер напилюють на волокна. Є інші способи поєднання волокон з основою. Після цих операцій отриману композицію нагрівають для випаровування розчинника і приступають до виконання наступних операцій.

26.4. Композити на основі кераміки

Розвиток техніки вимагає дуже міцних і теплостійких конструкційних матеріалів. Металокомпозити в більшості випадків не мають достатньої питомої міцності, полімерокомпозити втрачають міцність під час нагрівання до високих температур. Пошуки матеріалів, які задовольнили б вимоги сучасної техніки, привернули увагу вчених до кераміки.

Керамічні матеріали мають високу температуру плавлення, малу густину, велику міцність в процесі випробування на стиск, велику стійкість до дії агресивних середовищ, особливо окиснюючих, тощо. Крім того у природі є великі запаси сировини для їх виробництва. Проте вони не позбавлені *недоліків*: мають недостатню міцність на розтяг, згин і циклічне навантаження, велику крихкість тощо.

Уведення в кераміку армуючих волокон дає можливість позбутися зазначених недоліків та створити композиційні матеріали, які можуть працювати в окиснюючих середовищах до 2000°C.

Кераміку армують металевими, вуглецевими та іншими волокнами. Отримані матеріали називають *керамікокомпозитами*. Керамічні композити отримують в основному порошковою металургією.

Частина V

Виробництво чавунів, сталей і кольорових металів

Розділ 27. МЕТАЛУРГІЯ

Розділ 28. ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ

Розділ 29. ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ

Розділ 30. ВИРОБНИЦТВО КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ



МЕТАЛУРГІЯ

27.1. Загальні відомості про металургію

Металургією називають науку про промислові способи отримання металів і сплавів.

Металургією називають також промисловість, яка займається виробництвом металів і сплавів з руд та іншої сировини, яка містить метали.

Історія матеріальної культури людства нерозривно пов'язана з використанням металів.

Ще задовго до н. е. людство нарівні з камінням використовувало метали: мідь, золото, срібло. Ці метали в земній корі знаходяться у вільному стані. З часом (IV–V ст. до н. е.) навчилися отримувати з руд мідь, олово, свинець. Цей період назвали *мідним віком*. Ближче до нової ери почали варити сплави. Першим із них була бронза (сплав міді з оловом), тому вік назвали *бронзовим*. Цей сплав був значно твердішим і міцнішим за відомі на той час метали. Інструменти, виготовлені з бронзи, були довговічнішими, ніж мідні.

Залізо використовували давно. Спочатку, ймовірно, метеоритне, а потім (кінець II тис. до н. е.) навчились отримувати з руд. На зміну бронзовому віку прийшов *залізний*. Ця назва віку зберігається й понині, оскільки основними конструкційними матеріалами і сьогодні є сплави на основі заліза.

Отже, ми живемо у вік заліза, космосу, комп'ютерів і Чорнобиля. Чому Чорнобиля? Тому що людству конче потрібні матеріали, які захистили б його від об'єктів радіаційного випромінювання.

З усіх металів і сплавів на їх основі на сьогодні найчастіше використовують *сталі*. Виробництво сталей у 20 разів перевищує загальну кількість отриманих усіх інших металів і сплавів.

Використовують також *кольорові метали* та *сплави на їх основі*. Для легування сталей необхідні *Cr, Ni, Ti, V* тощо. Сплави алюмінію (*Al*), титану (*Ti*), берилію (*Be*) тощо є основою літако- та ракетобудування, тому їх називають «*крилатими*» *металами*. *Мідь* – основний матеріал для електро- та радіотехніки. Сплави на основі міді використовують у машинобудуванні. Знаходять застосування й *трудноплавкі метали* – *Mo, Ta, W, Nb* і сплави на їх основі. Використовують також *легкоплавкі метали Na, K, Li, Pb, Bi, Ga* тощо.

27.2. Способи виробництва металів і сплавів

Метали та сплави отримують різними способами. Найчастіше використовують пірометалургійний (від грецьк. «*піро*» – вогонь і металургія).

1. **Пірометалургійний спосіб.** За цим способом виробництво металів і сплавів ґрунтується на використанні теплової енергії, яка виділяється в процесі згоряння палива або протікання хімічних реакцій у сировині. Під час згоряння палива виділяється теплова енергія й утворюється *СО*. Теплову енергію використовують для розігрівання і розплавлення сировини, а *СО* – для відновлення металів із їх сполук (оксидів). Пірометалургійним способом отримують чавуни у доменних печах, сталі у мартенівських печах тощо.

2. **Електрометалургійний спосіб.** У процесі електрометалургійного способу метали та сплави отримують у дугових, індукційних та інших типах електричних печей. В електричних печах сировину нагрівають до вищих температур, ніж у ході пірометалургійного способу. Сировина плавиться дуже швидко.

3. **Плазмовий спосіб.** Суть плазмової металургії полягає в тому, що за температури 10000°C оксиди металу перетворюються на плазму з певним ступенем іонізації. Оскільки енергія іонізації атомів металів менша від енергії іонізації атомів кисню, то в такій плазмі атоми металу іонізуються, а атоми кисню залишаються нейтральними. З отриманої суміші за допомогою магнітного поля вилучають іони металу. У плазмових печах отримують вольфрам, молібден, синтезують карбіди титану тощо. Цей спосіб використовують для отримання дуже якісних металів і сплавів.

4. **Хіміко-металургійний спосіб.** Цей спосіб поєднує хімічні і металургійні процеси. Таким способом виробляють титан: з титанової

руди отримують чотирихлористий титан ($TiCl_4$), який відновлюють за допомогою магнію (Mg).

5. Гідрометалургійний спосіб. За цим способом метали з руд, концентратів і відходів виробництва вилучають за допомогою розчинників. Потім з цих розчинів електролізом отримують метали. Так виробляють і рафінують кольорові метали: мідь, цинк, нікель, кобальт, хром, срібло, золото тощо.

Виробництво металів гідрометалургійним способом складається з таких стадій: підготовки руди до розчинення; розчинення руди або концентрату у розчиннику; очищення отриманого розчину від шкідливих для електролізу домішок; електроліз.

6. Порошкова металургія. Цей спосіб поєднує процеси, унаслідок яких виготовляють порошки металів і неметалевих сполук, з яких пресуванням (для надання форми і розмірів) із подальшим спіканням виготовляють вироби (заготовки, деталі тощо).

7. Космічна металургія. Виробництво металів і сплавів у космосі називають *космічною металургією*. Оскільки в космосі не діють сили тяжіння, то плавлення металів і отримання сплавів проводять без тиглів (нім. «*Tiegel*» від грецьк. – сковорода, каструля). Під дією сили поверхневого натягу розплав набуває форми кулі й вільно зависає в просторі. Використовуючи електромагнітне поле, розплаву можна надати довільної форми.

За умов космосу компоненти сплавів добре перемішуються. У разі невагомості гази добре розчиняються в розплавах, а після кристалізації отримані сплави мають вигляд «губки» з рівномірно розподіленими комірками заповненими газом. Такі сплави називають *металогазами*. Ці сплави надзвичайно легкі, наприклад, сплав, який складається з 87% газу та 13% сталі, плаває на воді, як коркове дерево. Металогازی дуже перспективні для літако- та ракетобудування, а також для космічної техніки.

Заслуговує на увагу також технологія отримання композиційних волокнистих матеріалів і виробів литтям. За земних умов отримати якісні вироби з цих матеріалів неможливо.

Великі можливості відкриває космічна металургія для отримання надчистих сплавів з рівномірним (наперед заданим) розподілом домішок, що важливо в процесі виробництва напівпровідникових матеріалів. Отримані напівпровідникові матеріали можуть бути використані також у процесі розв'язання проблеми енергетики.

Крім описаних способів отримання металів і сплавів існує електро-променевий спосіб та інші.

27.3. Виробництво залізовуглецевих сплавів

Досягнення науки й техніки, розвиток усіх галузей промисловості безпосередньо пов'язані з отриманням і використанням сплавів на основі заліза – чавунів і сталей. Основними споживачами цих металів є машинобудування, транспорт, будівництво. Ці галузі використовують майже 90% виплавлених чавунів і сталей.

Чавунами та **сталями** називають сплави заліза з вуглецем, які містять домішки (*P, S, Mn, Si* тощо).

Чавуни містять більше вуглецю і домішок, **сталі** – менше. Відрізняються і їх властивості. Чавуни тверді, крихкі, погано зварюються, але мають добрі ливарні властивості. Чавуни порівняно із сталями – дешевші.

Сталі, навпаки, мають велику міцність, пластичність, добре зварюються. Вони мають добрі технологічні властивості; вироби з них виготовляють тиском, різанням, литтям.

Зародження металургії на території України належить до дуже давніх часів. На той час залізо виробляли з болотних руд і деревного вугілля *сиродутним способом*. Суть цього способу полягає у відновленні заліза з його сполук за допомогою оксиду вуглецю (*CO*). Залізо при цьому не плавилось, а перебувало у вигляді губчастої маси, яка складалась із шматків заліза та шлаку. Цю масу називали **крицею**. Сиродутний спосіб отримання криці в Європі зберігався до 1850 р., а в Північній Америці – до 1890 р. На сьогодні цей спосіб отримання заліза використовують у Центральній Африці, Китаї та деяких інших країнах.

Чавуни отримують із залізних руд, сталі – із чавунів. Отже перехід від руди до сталі відбувається у *два заходи*: спочатку варять чавун, а потім із чавуну варять сталь. Схематично перехід від руди до сталі виглядає так:



Ще донедавна це була єдина схема переходу від руди до сталі. З неї випливає, що для збільшення сталі, потрібної для промисловостей, необхідно збільшити обсяг чавуну, а збільшення кількості чавуну відповідно спричинить збільшення видобування руди, палива, флосу, споживання електроенергії. Крім збільшення матеріальних затрат це

приведе до руйнування та забруднення відходами великих ділянок родючої землі, забруднення води, повітря та зайвих витрат. Життя людей у таких районах стає нестерпним, якщо не застосувати очисні споруди.

Тепер у світі практикують впровадження в дію способу переходу від руди до сталі, який обминає варіння чавуну. Такий перехід називають *безчавунним виробництвом сталі*. Схематично його можна показати:



Із руди отримують грудки, в яких залізо відновлюють із сполук за допомогою CO , а потім із цих грудок у сталеварних агрегатах варять сталь.



ВИРОБНИЦТВО ЧАВУНУ

Для виробництва чавуну необхідно мати сировину (руда, флюси), паливо, обладнання (для підготовки сировини, варіння та розливання чавуну), вогнетриви, воду та електричну енергію.

28.1. Сировина для виробництва чавуну

§ 28.1.1. Залізні руди

Основною сировиною для виробництва заліза та сплавів на його основі (чавунів, сталей) є залізні руди.

Залізною рудою називають корисні копалини, які містять залізо у вигляді оксидів або солей, з'єднаних породою.

У рудах міститься 23–70% заліза, решта – порода, яка складається з кварцитів, пісковиків і глини. Цінність руди визначається вмістом заліза, хімічною природою та властивостями породи, відновною здатністю заліза з його сполук та наявністю шкідливих домішок. Чим вищий вміст заліза в руді, тим менші затрати на її збагачення, вища продуктивність доменних печей, менші витрати палива, а в кінцевому результаті менша собівартість чавуну. Використання легковідновних руд скорочує час варіння чавуну та відповідно зменшує витрати палива, що також позначається на собівартості чавуну.

Наявність у рудах шкідливих домішок (фосфору та сірки) погіршує властивості чавуну. Для зменшення кількості шкідливих домішок потрібні додаткові затрати, а це впливає на собівартість чавуну.

У природі є понад 20 мінералів із великим вмістом заліза, проте промислове значення мають лише деякі.

1. Магнітний залізняк (магнетит) – мінерал чорного кольору, має магнітні властивості, незначну кількість шкідливих домішок (фосфору, сірки), але важко відновлюється. У руді міститься 45–70% заліза у вигляді оксиду Fe_3O_4 .

2. **Червоний залізняк** (гематит) – мінерал чорного кольору. Залізо в руді міститься у вигляді безводного оксиду (Fe_2O_3). Порівняно з магнітним залізняком вміст заліза дещо менший і становить 55-60%. Руда практично не містить шкідливих домішок, легко відновлюється. Це найпоширеніший вид залізної руди.

3. **Бурий залізняк** на відміну від червоного містить 35-50% заліза у вигляді водного оксиду ($nFe_2O_3 \cdot mH_2O$). Руда містить значну кількість домішок, легко відновлюється.

4. **Шпатовий залізняк** (болотна руда) містить 30-40% заліза у вигляді карбонату заліза ($FeCO_3$).

5. **Залізисті кварцити** містять залізо у вигляді оксидів (Fe_2O_3) і (Fe_3O_4). Вміст заліза малий – 30-40%. Залізисті кварцити дуже важко збагачуються тому їх почали використовувати не так давно. Порода складається із сполук сіліцію.

У залізних рудах крім основного компонента, яким є залізо, містяться нікель, кобальт, ванадій та інші хімічні елементи. Під час розплавлення руди ці елементи переходять у чавун, легують його і тим самим поліпшують фізико-механічні властивості. Такі елементи, як *P* і *S*, погіршують властивості чавуну.

Для виробництва чавуну крім залізних руд використовують відходи: чавунний брухт, брак, отриманий у процесі виготовлення виробів литтям, тощо.

§ 28.1.2. Флюси

Для вилучення з шихти залишків породи, попелу, жужелиці та частково сірки використовують спеціальні речовини, які називають *флюсами* (нім. «*Flüsse*»). Вибір

флюсів залежить від складу породи. Порода залізних руд в основному складається з кислих оксидів, таких як SiO_2 , тому в процесі отримання чавуну роль флюсів виконує вапняк або доломіт.

§ 28.1.3. Паливо

У процесі виробництва чавуну використовують деревне вугілля, кокс, природний і доменний газ, а останнім часом практикують використання подрібненого вугілля.

До палива, як і до руди, ставлять певні вимоги: велика міцність, відсутність крихкості, оскільки дрібні шматочки палива перешкоджають руху пічних газів і сповільнюють процес відновлення заліза зі сполук.

Після згоряння палива залишається попіл (після згоряння деревного вугілля) або жужелиця (після згоряння кам'яного вугілля). Якіс-

ним вважається таке паливо, після згоряння якого залишається їх менше. Паливо повинне містити якомога меншу кількість шкідливих домішок (фосфору, сірки тощо). Під час згоряння палива домішки (деякі повністю, інші частково) переходять у чавун. Крім того, паливо має бути дешевим, оскільки вартість палива позначається на собівартості чавуну.

У процесі варіння чавуну паливо є не лише джерелом теплової енергії, а й відновлює залізо з його сполук, а також науглецьовує відновлене залізо, і таким чином утворюється чавун.

З усіх видів палива, які в наш час використовуються для отримання чавуну, першість належить *коксу*. Кокс у середньому містить 10–13% жужелиці та 0,5–2% сірки.

Природний газ уперше у світовій практиці впроваджено на Дніпропетровському металургійному заводі в 60-х роках ХХ ст. Він не містить шкідливих домішок і після згоряння не залишає твердих решток, що має місце під час згоряння твердого палива: деревного вугілля, коксу. Чавун, отриманий із використанням природного газу, якісніший.

Доменний газ – це побічна продукція, яку отримують в процесі варіння чавуну. Після очищення від пилу, який містить залізо та сполуки сірки, доменний газ використовують для нагрівання різних типів печей. Порівняно з коксом і природним газом це дешевий вид палива. Відповідно це позначається також на собівартості чавуну та інших видів продукції.

Деревне вугілля використовують в незначній кількості, а до 1709 р., коли англієць Абрахам Дербі вперше використав кокс, це був основний і єдиний вид палива. Чавун, отриманий із використанням деревного вугілля, дуже якісний, але і дуже дорогий.

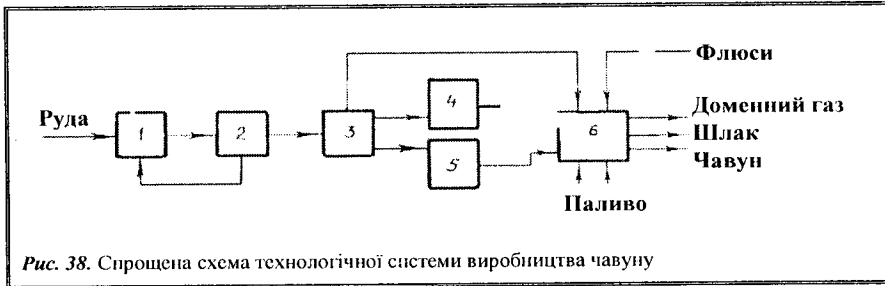
Певну кількість руди, палива та флюсу називають *шихтою*.

28.2. Технологічна система виробництва чавуну

Чавун варять у печах-домнах, які є складовою частиною одного з елементів технологічної системи виробництва чавуну.

Технологічна система, схему якої зображено на рис. 38, складається з шести елементів.

В агрегаті кожного елемента відбуваються певні фізико-механічні або фізико-хімічні процеси, внаслідок яких сировина перетворюється на чавун.



Для підвищення продуктивності доменних печей, зменшення витрати палива та поліпшення якості чавуну руду спеціально готують до переробки: подрібнюють вальцями або у млинах (елемент 1); сортують отримані шматки руди за розмірами на решетах і ситах (елемент 2); збагачують промиванням водою, гравітацією, магнетацією, флотацією у спеціальних машинах-сепараторах (елемент 3); грудкують на грануляторах (елемент 4); виготовляють офлюсований агломерат на агломераційних машинах (елемент 5). Підготовлену руду (шматки розміром 20–40 мм), паливо і флюси, взяті у певній кількості, пошарово завантажують у доменну піч, де внаслідок фізико-хімічних процесів сировина перетворюється на чавун (елемент 6).

Замість руди і вапняку можна використовувати офлюсований агломерат, який виготовляють спіканням порошкової зволоженої маси, що складається з руди, коксу та вапняку.

Використання офлюсованого агломерату зменшує витрати коксу та вапняку, разом з тим збільшує техніко-економічні показники роботи доменної печі.

§ 28.2.1. Будова та принцип роботи домнової печі

Першу в Україні доменну піч розпалили в 1800 р. на Луганському чавуноливарному заво-

ді, а перший чавун зварили в 1873 р. на Юзівському (нині Донецькому) металургійному заводі.

Доменна піч (домна) – це піч стовбурного типу (рис. 39). Висота печі значно перевищує діаметр поперечного перерізу. Зовні піч окута сталлю, усередині викладена вогнетривкою цеглою. Сучасні доменні печі за висотою поділяють на такі частини: 1 – колошник; 2 – стовбур; 3 – розпар; 4 – заплечки; 5 – горно; 6 – черінь. Домна працює за

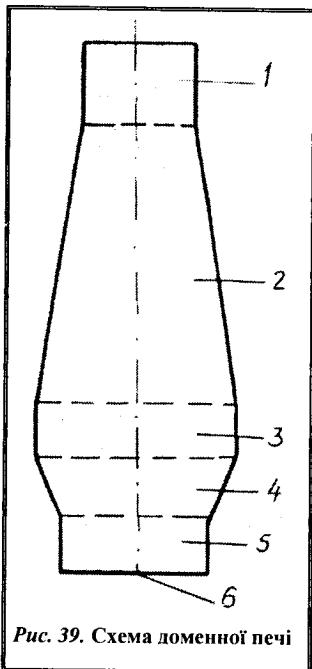


Рис. 39. Схема доменної печі

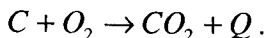
принципом зустрічних потоків: шихта рухається згори вниз, а гарячі потоки газу, який утворився внаслідок згоряння палива, – назустріч, тобто знизу вгору.

Зволожено, збагачене киснем (до 30%) і нагріте повітря, необхідне для горіння палива, вдувають у піч через фурми (від нім. «*Form*» – форма), розміщені у верхній частині горна печі. Залежно від розміру печі їх може бути до 60. Повітря нагрівають у повітронагрівниках. Біля кожної печі є по три-чотири повітронагрівники. Впровадження високотемпературного (1200–1300°C) дуття поліпшило техніко-економічні показники печей: збільшилась продуктивність, зменшилась витрата палива.

Домна працює безперервно протягом п'яти-десяти років, потім її ставлять на капітальний ремонт. Шихту у піч завантажують певними порціями (колошами) через засипний апарат, який розміщено у верхній частині печі – колошнику. Періодично лютками, які розташовані у горні, випускають чавун і шлак. Доменний газ із печі виходить безперервно газовивідними трубами, розташованими у верхній частині печі.

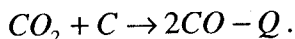
Під час варіння чавуну в домні відбуваються такі процеси: горіння палива; відновлення заліза та інших хімічних елементів, які містяться в шихті, з їх сполук; науглецювання заліза.

1. **Горіння палива.** Завантажена в піч шихта опускається до рівня фурм і паливо згоряє в потоці гарячого повітря, яке подають під тиском:



§ 28.2.2. Фізико-хімічні процеси чавуноваріння

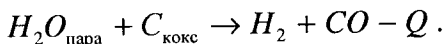
Температура підвищується до 1600–1800°C. Оксид вуглецю (CO_2) піднімається, проходить через розжарений кокс, взаємодіє з вуглецем і відновлюється до CO :



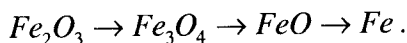
Природний газ складається в основному з метану (CH_4), який згорає:



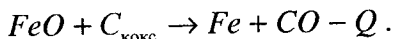
Це не є кінцевою реакцією, оскільки CO_2 відновлюється вуглецем до CO . Водяна пара також взаємодіє з вуглецем розжареного коксу:



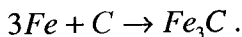
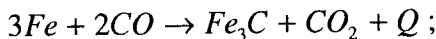
2. Відновлення заліза. Залізо із сполук, в яких воно міститься в руді, відновлюється за допомогою оксиду вуглецю (CO), водню (H_2) і розжареного коксу (C). Оксиди заліза відновлюються послідовно від вищих оксидів до нижчих і далі до чистого металу:



Відновлення починається за температури $400\text{--}500^\circ\text{C}$, а закінчується – за температури $1300\text{--}1400^\circ\text{C}$ (у розпарі печі). За цих температур залізо перебуває в твердому стані й має вигляд твердої пористої маси ($T_{\text{пл. заліза}} = 1539^\circ\text{C}$), яку називають «губчатим» залізом. До температури 950°C має місце непряме відновлення заліза, яке відбувається за участю CO і H_2 . За вищих температур у розпарі печі відбувається пряме відновлення оксидів заліза за допомогою розжареного коксу (вуглецю):

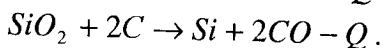
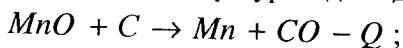


3. Навуглецювання заліза. У стовбурі печі за температур понад $400\text{--}500^\circ\text{C}$ поряд із відновленням заліза відбувається його науглецювання. Процес науглецювання можна зобразити у вигляді реакцій, які проходять між залізом і науглецювальним середовищем, яким є CO і C :



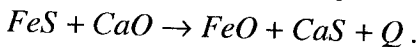
Отриманий цементит (Fe_3C) добре розчиняється у залізі й утворює з ним сплав. Із збільшенням вмісту вуглецю температура залізовуглецевих сплавів знижується і якщо вміст вуглецю дорівнює $4,3\%$, становить 1147°C . У горні температура перевищує 1800°C . Утворений сплав стікає в горно.

4. **Відновлення домішок.** У шихті разом з основними елементами – залізом і вуглецем – завжди містяться домішки, а також сполуки інших, не завжди бажаних елементів, таких як сірка, фосфор, манган, кремній тощо. Постійними *корисними* домішками, які поліпшують властивості чавуну, є манган і кремній, а *шкідливими*, що надають чавуну, а потім і сталі, крихкості, – сірка та фосфор. Відновлення мангану та кремнію відбувається за температури відповідно 1100 і 1450°C:



Відновлені домішки *Mn* і *Si*, розчиняються в залізі, входять до складу сплаву та поліпшують його властивості.

Сірка потрапляє в шихту разом із рудою, коксом або флюсами. Частина сірки окислюється у верхній частині печі та виноситься з печі разом із доменним газом, а частина – переходить у шлак:



Решта сірки переходить у розплав, оскільки *FeS* добре розчиняється у ньому.

Для виведення сірки необхідна висока температура і надлишок флюсів – *CaO*, а це спричиняє збільшення витрат палива та зменшення продуктивності печі. Тому дуже часто сірку з розплавленого чавуну виводять поза піччю (в окремих агрегатах).

Фосфор потрапляє до шихти так само, як і сірка, тобто з рудою, коксом і флюсами. Він знаходиться, головним чином, у вигляді мінералів *3CaO·P₂O₅* і *3FeO·P₂O₅·8H₂O*. Фосфор відновлюється за допомогою оксиду вуглецю (*CO*), водню (*H₂*), а також твердого вуглецю (*C*) за температури 900–1100°C. Практично весь відновлений фосфор переходить у розплав.

Отриманий у доменній печі сплав, називають *чавуном*. Він складається з заліза, вуглецю та домішок: мангану, кремнію, фосфору, сірки тощо.

5. **Утворення шлаку** (нім. «*Schlacke*»). У процесі складання шихти велику увагу приділяють кількості флюсів, оскільки склад шлаку впливає на хід фізико-хімічних процесів, які відбуваються в шихті, а також на вміст домішок у чавуні.

Оптимальним вважається шлак такого складу, %: 40–50 *CaO*, 38–40 *SiO₂*, і 7–10 *Al₂O₃*. Чим більша кількість *CaO* у шлакові, тим краще чавун очиститься від сірки.

Утворений шлак стікає в горно печі та спливає на поверхню чавуну, оскільки він легший. Чавун із печі випускають у ковші-

чавуновози, які перевозять його у сталеварні чи ливарні цехи, або розливають у виливниці. Шлак випускають у шлаковози.

28.3. Продукція доменної печі

У процесі перероблення залізної руди в доменній печі отримують чавун, шлак, доменний газ, доменний пил. Чавун – основна продукція, а шлак, доменний газ – побічна. У металургійній промисловості варять переробний, ливарний і спеціальний чавуни (див. розділ 19.2).

§ 28.3.1. Шлак і вода

Спеціалісти металургійної промисловості підраховали, що майже половина руди переходить у шлак. Так, доменна піч об'ємом 3000 м³ за добу перероблює 8500 т шихти, а видає 5000–5500 т чавуну.

Шлаком називають речовину, яка утворилася внаслідок взаємодії породи, попелу чи жужелиці, деяких домішок і флюсів.

Шлак випускають з печі через лютки в ковші – шлаковози. Ще донедавна гори відвалів шлаку забруднювали довкілля. Тепер шлак почали використовувати для виготовлення будівельних матеріалів: шлакової цегли, блоків, шлаковати тощо. Більшу частину шлаку після гранулювання використовують для виробництва цементу. Із шлаку виробляють мінеральні добрива, які знижують кислотність ґрунтів, оскільки містять **СаО**.

Вода, в якій охолоджували шлак, містить розчинену сірку. Вона має цілющі властивості. Цю воду використовують для лікування робітників-металургів.

§ 28.3.2. Доменний газ і пил

Під час згоряння 1 т коксу утворюється близько 5000 м³ газу. Доменний газ містить значну кількість горючих речовин: до 30% **CO** і 4% **H₂**. Після очищення від пилу і шкідливих речовин доменний газ використовують як паливо для нагрівання повітряно-нагрівників, доменних та інших печей.

Використовують також **тиск** доменного газу. Так, на домні «Криворіжсталь» поставили турбіну, що виробляє електроенергію, якою повністю забезпечують піч. Для нормальної роботи печі тиск газу під колошником має становити близько 0,25 МПа.

Доменний пил містить до 50% заліза. Його використовують у процесі агломерації залізних руд.

28.4. Показники роботи доменної печі та шляхи їх поліпшення

Основними показниками роботи доменної печі є продуктивність, питома витрата палива, собівартість чавуну.

Продуктивністю домни називають кількість чавуну (у тоннах), виплавленого за добу.

Для порівняння продуктивності печей різного об'єму введено коефіцієнт використання корисного об'єму (**к.в.к.о.**) печі:

$$К.В.К.О. = \frac{V}{P}.$$

де: **V** – корисний об'єм печі (від рівня засипання шихти до череня);

P – середньодобова продуктивність печі.

Чим меншим буде цей показник, тим ліпше піч працює, більша її продуктивність і навпаки. На кращих металургійних підприємствах **к.в.к.о.** = 0,5–0,7.

Продуктивність праці визначають кількістю чавуну (у тоннах), виплавленого одним робітником-металургом за рік.

Питома витрата палива є важливим показником доменної печі. Цей показник визначає кількість палива, витраченого на отримання 1 т чавуну. У кращих домнах на отримання 1 т чавуну витрачають близько 550 кг коксу.

Собівартість чавуну враховує вартість сировини, палива, води, амортизацію основних фондів і заробітну платню працівників-металургів тощо. Основну частку собівартості чавуну становлять сировина: руда, флюси та паливо (понад 92%). Найдешевшим є переробний чавун. На виробництво 1 т переробного чавуну витрачається найменше палива. Найбільше палива витрачається на отримання легованих чавунів та феросплавів.

Поліпшення показників роботи доменної печі досягають вдосконаленням конструкції домни, ретельною підготовкою сировини (ліпшим збагаченням руди, палива, використанням офлюсованого агломерату тощо), підвищенням температури дуття повітря, збагаченого киснем, механізацією та автоматизацією процесу чавуноваріння.



ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ

У світі сталь варять у конвертерах (з 1856 р.), мартенівських (з 1864 р.), електричних (з початку ХХ ст.) і плазмових печах.

Тепер сталеварні агрегати удосконалюють, наприклад, замість однованних мартенівських печей будують двованні. Розроблюють і впроваджують у виробництво сталеварні агрегати безперервної дії (САБД) тощо.

Спосіб виробництва сталі визначається вибором сталеварного агрегату, а відповідно й джерелом теплової енергії та складом шихти.

29.1. Сировина для виробництва сталі

Сировиною для виробництва сталі є переробний чавун, скрап, флюси, окиснювачі та легуючі елементи (у процесі виробництва легованих сталей).

Основу шихти складають чавун і скрап. Вони становлять понад 90% шихти.

Чавун використовують як розплавлений, так і твердий. Якщо на металургійному заводі є доменний цех, то використовують розплавлений чавун, якщо немає, – твердий.

Скрап (від англ. «*scrap*» – шматок) – відходи отримані в процесі штампування, різання, брак у ході виготовлення відливків у ливарних цехах тощо.

Флюси – це складова шихти, яка необхідна для виведення породи, попелу чи жужелиці, сірки та фосфору з розплаву. При виплавленні сталі флюсами є вапняк (CaCO_3) і вапно (CaO).

Окиснювачі є носіями кисню, потрібного для окиснення домішок. Окиснювачами можуть бути залізна руда, яка не містить фосфору та сірки, кисень тощо.

Розкиснювачі потрібні для виведення кисню з розплавленої сталі. Для цього використовують сплави заліза з манганом і заліза з кремнієм, а також алюміній. Розкиснювачем є і вуглець, який міститься в розплаві.

Легуючі елементи додають до вуглецевих сталей для надання їм ліпших властивостей, а саме: великої міцності, жароміцності, жаростійкості, корозієстійкості тощо. Сталі легують такими хімічними елементами, як *Ni, Cr, Ti, V, Mo, W, Si* та ін.

Джерелом теплової енергії, необхідної для розплавлення шихти, є паливо (мазут, природний, доменний і коксовий гази, кам'яновугільний пил тощо). Для отримання теплової енергії крім палива використовують також хімічну, електричну та інші види енергії.

Вибір сировини, її підготовка до плавлення, а також вибір сталеварного агрегату, з яким пов'язано спосіб отримання сталі, істотно впливають на якість і собівартість сталі.

29.2. Фізико-хімічні процеси сталеваріння

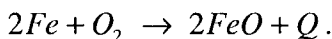
У процесі варіння сталі на відміну від варіння чавуну мають місце реакції окиснення компонентів сировини. Отже, сталеваріння – це процес окиснення заліза, вуглецю та домішок (кремнію, мангану, фосфору, сірки тощо).

Залежно від складу шихти процес сталеваріння може відбуватися з окисненням або без нього. Сталеваріння з **окисненням** відбувається тоді, коли до складу шихти входить чавун; **без окиснення**, коли шихту (скрап або скрап і легуючі елементи) лише переплавляють (це має місце у процесі виплавлення легованих сталей).

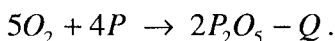
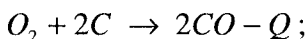
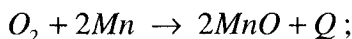
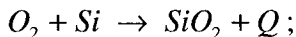
§ 29.2.1. Сталеваріння з окисненням компонентів шихти

1. **Окиснення компонентів шихти.** Окиснення компонентів розплавленої шихти відбувається *спочатку* за рахунок кисню, який міститься в атмосфері над шихтою та її розплавом, *потім* за рахунок кисню, розчиненого в розплавленій шихті, а це є оксид заліза (FeO).

Згідно із законом діючих мас швидкість хімічних реакцій пропорційна до концентрації реагуючих речовин. Отже спочатку окиснюється залізо:

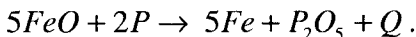
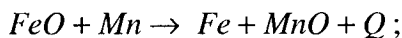
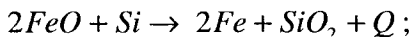
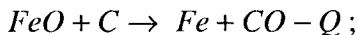


Доти, поки на поверхні розплаву не утвориться шар шлаку, кисень атмосфери окиснює також інші компоненти шихти – тепер розплаву:

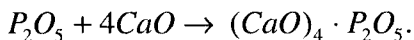


Утворені продукти реакції (шлак) спливають на поверхню розплаву та захищають його від подальшого окиснення киснем атмосфери.

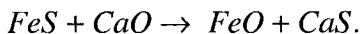
Потім окиснення відбувається під шаром шлаку за участю *FeO*. За високої температури оксид заліза (*FeO*) розчиняється в розплаві й віддає свій кисень елементам, які мають вищу хімічну спорідненість до нього, ніж залізо. Це відбувається згідно з реакціями:



Сполука *P₂O₅* нестійка, вона розпадається і фосфор знову повертається в розплав. Щоб запобігти цьому, до складу шихти додають флюси, роль яких виконує вапняк (*CaCO₃*) або негашене вапно (*CaO*):



Одночасно з виведенням фосфору відбувається процес виведення з розплаву сірки:

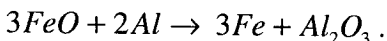
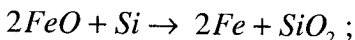
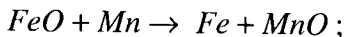
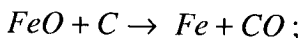


Таким чином утворюється шлак, який складається з *SiO₂*, *MnO*, *(CaO)₄ · P₂O₅*, *CaS*, а також частинок футерівки агрегату.

2. **Розкиснення сталі.** Завершальною операцією сталеваріння є розкиснення сталі: виведення кисню з розплаву та відновлення оксиду заліза (FeO).

Сталь розкиснюють частково вуглецем, який міститься в розплаві, та спеціально доданими до розплаву речовинами, які називають **розкиснювачами**.

Розкиснювачі додають під час варіння сталі або при випусканні її з агрегату. Процес розкиснення можна зобразити так:



Залежно від того, як добре очищений розплав від кисню, сталі поділяють на **спокійні** (добре очищені), **напівспокійні** (частково очищені) та **киплячі** (погано очищені).

Леговані сталі отримують додаванням до розплаву вуглецевої сталі певної кількості феросплавів або чистих металів: нікель і кобальт уводять в агрегат під час плавлення шихти; алюміній, марганець, кремній, ванадій, титан – після розкиснення, а іноді під час виливання сталі у ківш.

29.3. Сталеварні агрегати, їх будова та принцип роботи

§ 29.3.1. Конвертери

У 1856 р. англійський винахідник **Г. Бессемер** уперше переробив чавун на сталь. Для отримання сталі чавун продували стисненим повітрям.

Конвертер (англ. «*converter*» від лат. «*convertio*» – перетворюю) Г. Бессемера футерований динасовою цеглою, тому в ньому переробляють на сталь чавун, який не містить фосфору та сірки. Об'єм конвертера становить 10–35 т, час продування чавуну повітрям – 12–15 хв. Отримана сталь містить збільшену кількість азоту, що надає їй крихкості.

У 1878 р. англієць **С.-Дж. Томас** запропонував змінити в конвертері Г. Бессемера футерівку з динасової цегли на доломітову. Це да-

ло можливість використовувати флюси (вапняк) і переробляти чавун, які містять більшу кількість фосфору і сірки. Проте якість отриманої сталі залишалася незадовільною. Сталь забруднювалась азотом.

Пошуки вдосконалення конвертерного способу виробництва сталі привели до продування чавуну в конвертері Томаса технічно чистим киснем замість повітря. Це сталося в 1933 р. Унаслідок заміни повітряного дуття на кисневе температура розплаву в зоні дії кисню підвищилась до 3000°C . До складу шихти почали додавати скрап. Якість сталі наблизилась до рівня мартенівської.

Продуктивність кисневого конвертора значно більша, ніж мартенівської печі. Так, за 1 год. у 300-тонному кисневому конвертері отримують 400–500 т сталі, у мартенівській печі – не більше 80 т. Крім того, варіння сталі в конвертерах не потребує палива. Шихта розплавляється за рахунок теплоти, яка виділяється в процесі окиснення домішок. Це реакції екзотермічні. Тому виробництво сталі в кисневих конвертерах постійно збільшують, а в мартенівських печах, навпаки, зменшують.

Будова та принцип роботи кисневого конвертера.

Конвертер має грушовидну форму (рис. 40). Із зовні конвертер окутий сталлю, підперезаний сталевим кільцем і може повертатись навколо горизонтальної осі на кут 180° . У середині він викладений вогнетривкою доломітовою цеглою 2. Верхня частина конвертера закінчується горловиною, через яку завантажують шихту, подають кисень, виводять газові продукти реакції та виливають шлак. Збоку є лютка 1 для виливання сталі. Об'єм сучасних конвертерів становить 250–400 т. Кисень подають через фурми 3 під тиском 0,9–1,4 МПа. Фурми охолоджують водою. У вели-

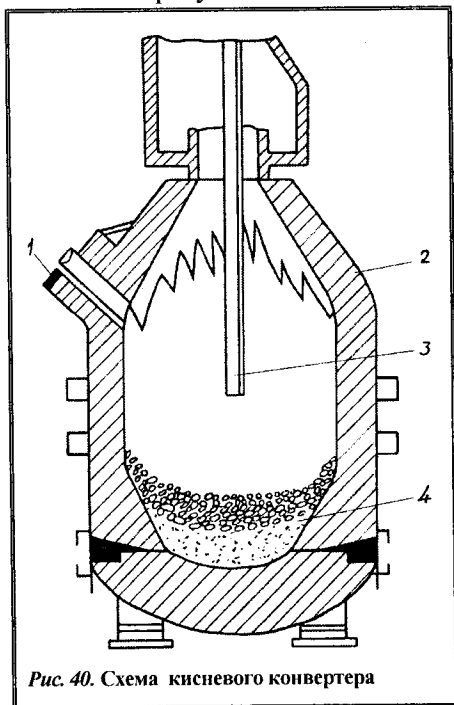


Рис. 40. Схема кисневого конвертера

ких конвертерах – понад чотири фурми. Для кращого перемішування розплаву фурми розташовують під кутом до розплаву.

Сировина для виробництва сталі: розплавлений чавун, сталевий скрап (25–30% маси чавуну), вапняк, залізна руда (до 25%), розкиснювачі та легуючі елементи (при виплавленні легованих сталей).

Для завантаження шихти **4** конвертер нахиляють, засипають скрап, заливають розплавлений чавун і повертають у вертикальне (робоче) положення. Потім вставляють фурми і продувають киснем. У цей самий час засипають частину флюсів і залізної руди, решту додають у процесі сталеваріння. На 1 т розплаву протягом 1 хв. витрачається 1,8–4 м³ кисню.

Залежно від об'єму конвертера час продування киснем становить 1,5–25 хв. Момент закінчення подавання кисню визначають кількістю витраченого кисню та забарвленням полум'я, яке виринає з горловини конвертера. Буре забарвлення полум'я свідчить про горіння заліза. Отже, подання кисню припиняють. Сталь готова. Після закінчення сталеваріння фурми витягують, конвертер повертають у горизонтальне положення, беруть пробу металу та шлаку на хімічний аналіз. Потім через лютку випускають у ківш сталь, а через горловину у шлаковози, зливають шлак. Розкиснювачі додають до сталі під час виливання її у ківш.

У кисневих конвертерах отримують практично всі вуглецеві сталі й частину малолегованих. Із конвертерної сталі, виробляють кузови автомобілів, балки, швелери тощо.

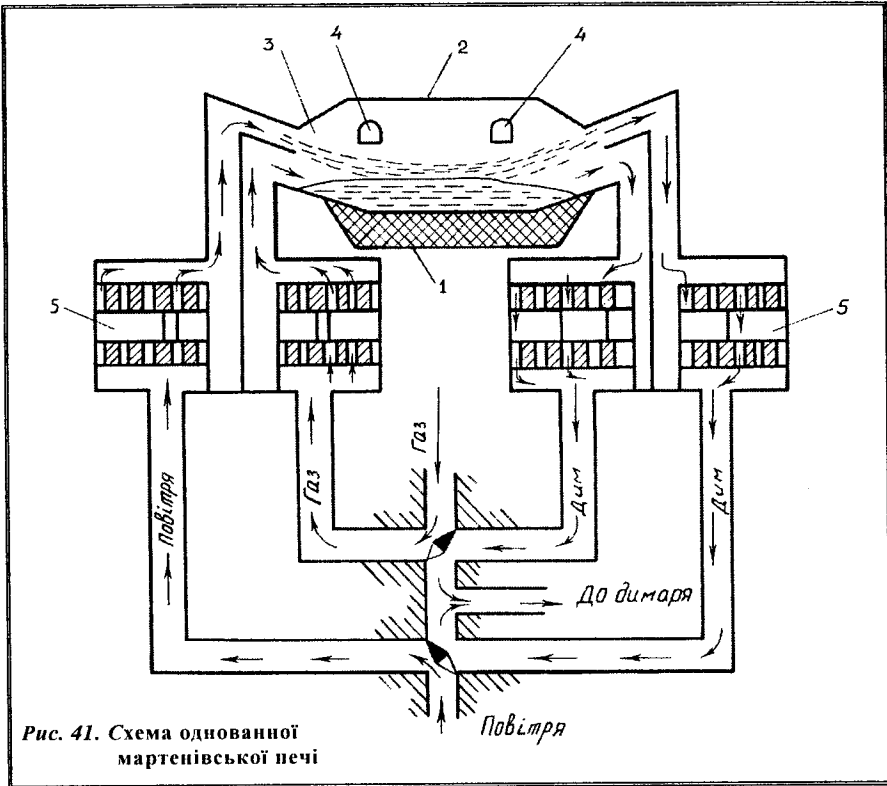
§ 29.3.2. Мартенівські печі

Оскільки в конвертері Г. Басемера температура розплавленого чавуну низька (1200–1300°C), переробляти скрап не

можна. Його температура плавлення набагато вища. Тому 8 квітня 1864 р. французькі металурги Е. Мартен і П. Мартен (батько і син) запропонували новий агрегат, який на честь винахідників назвали мартенівською піччю.

Мартенівські печі мають різну конструкцію. Вони є однованними, двованними, стаціонарними, рухомими тощо.

1. Одновання мартенівська піч. На рис. 41 подано схему однованної мартенівської печі, яка складається з ванни **1**, в якій вариться сталь, і регенераторів **5** для нагрівання повітря та палива. Ванну викладено з динасової або магнезитової чи доломітової вогнетривкої цегли. У ванні є вікна **4**, через які завантажують шихту, беруть проби металу



та шлаку на аналіз і слідкують за процесом варіння сталі. Ванна разом із склепінням 2 утворюють плавильний простір 3. Готову сталь випускають через отвори-«льотки», розташовані внизу ванни. Отвори для випуску шлаку розташовані вище. Вікна закривають заслінками, а отвори щільно забивають вогнетривкою глиною. Перед випусканням сталі та шлаку спечені вогнетриви з отворів вибивають.

Складовою частиною мартенівських печей є регенератори 5 – це камери, викладені вогнетривкою цеглою. Регенератори призначені для накопичення теплоти пічних газів із подальшим її використанням для підігрівання повітря та газового палива. Регенеративний спосіб підігрівання повітря та палива винайшли англійці – брати *Сіменси*.

Мартенівська піч може мати один або два регенератори. Це залежить від виду палива. Печі, які працюють на рідинному або висококалорійному газовому паливі, мають один регенератор для нагріван-

ня повітря, що спрощує конструкцію й експлуатацію печі та відповідно зменшує собівартість сталі.

На відміну від конвертерів мартенівські печі – це агрегати безперервної дії. Їх зупиняють лише на капітальний ремонт через 200–1000 разів варіння сталі залежно від довговічності склепіння печі. Склепіння, викладене динасовою цеглою, витримує 200–350 разів варіння сталі, а хромомagneзитовою – 300–1000.

Об'єм ванн сучасних печей становить 200–900 т. У малих печах можна зварити сталь за 3–4 год. Час варіння сталі у великих печах досягає 18 год.

Удосконалюють мартенівський спосіб варіння сталі двома шляхами: заміною нерухомих (стаціонарних) печей на рухомі та побудовою двованних печей.

У рухомих печах ванна нахиляється за допомогою гідравлічного або механічного приводу, що полегшує її завантаження шихтою та виливання отриманих сталі та шлаку. Проте конструкція таких печей складна, тому їх використовують рідко.

Двованні печі запропоновані в 1965 р. Для раціонального використання теплоти пічних газів.

Технологія варіння сталі в мартенівській печі. Основними складовими шихти є чавун (твердий і розплавлений) і скрап. Залежно від співвідношення цих складових процеси варіння сталі поділяються на скрап-процес, скрап-рудний процес тощо. У ході скрап-процесу до ванни завантажують 55–75% скрапу, 25–45% твердого чавуну; у ході скрап-рудного процесу завантажують розплавлений чавун (55–75%), додають руду (12–20%) і скрап. Найчастіше застосовують скрап-рудний процес. Сталь варять у ваннах, викладених магнезитовою або доломітовою цеглою.

Технологічний процес варіння сталі в мартенівській печі з використанням *скрап-рудного* процесу складається з таких операцій: заправлення череня вогнетривами, завантаження та прогрівання твердих складових шихти, заливання розплавленого чавуну, розплавлення шихти, кипіння розплаву, розкиснення та випускання готової сталі.

Завантажують шихту за допомогою спеціальних машин. Спочатку завантажують частину скрапу, потім сиплять до нього вапняк і залізну руду. Після прогрівання додають решту скрапу та нагрівають до температури плавлення чавуну.

Заливають розплавлений чавун з ковша по спеціально встановленому жолобу.

Кипіння розплаву – це важливий момент варіння сталі. Із розплаву виділяється CO у вигляді бульбашок. При цьому розплав перемішується, вирівнюється його температура та хімічний склад. Після досягнення в розплаві потрібного вмісту вуглецю приступають до останньої операції технологічного процесу варіння сталі – розкиснення. Для цього до розплаву додають визначену (розраховану) кількість феросплавів ($FeMn$ і $FeSi$), унаслідок взаємодії їх із киснем зменшується вміст оксиду заліза (FeO) в розплаві. Після розкиснення беруть контрольну пробу розплавленої сталі та шлаку на аналіз, відкривають лютку і по жолобу випускають сталь у ківш.

2. **Двовання піч.** Принцип роботи двованної печі (рис. 42) такий: коли в правій ванні 1 шихта 2 нагрівається та плавиться, що потребує найбільшої витрати теплоти, то в лівій розплав 5 через фурми 4 продувають киснем.

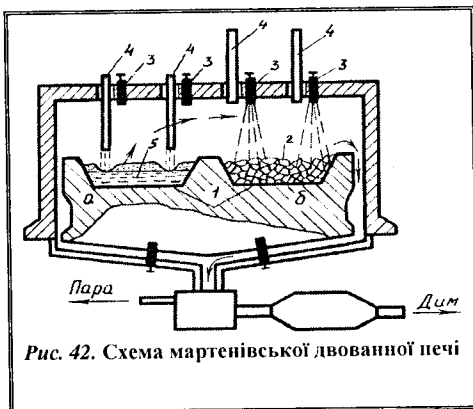


Рис. 42. Схема мартенівської двованної печі

Для плавлення шихти використовують газове паливо, яке подають до газових пальників 3. Під час взаємодії кисню з вуглецем, який міститься в розплаві, утворюється CO , який спрямовують до правої ванни, де він догоряє над шихтою, що сприяє її швидкому нагріванню. Після закінчення варіння сталь з лівої ванни виливають, ванну завантажують твердою шихтою, а до правої ванни тим часом заливають чавун, який починають продувати киснем. Змінюють напрям руху пічних газів, спрямовуючи їх на шихту в лівій ванні. І так по чергово.

Двованні печі порівняно з однованними мають такі *переваги*: простота конструкції, зменшення витрат палива в 4–6 разів; у 2 рази більша продуктивність. Відповідно собівартість сталі буде меншою.

Основні показники роботи мартенівських печей. До основних техніко-економічних показників, які характеризують роботу мартенівських печей, належать продуктивність, витрати шихти та палива на 1 т готової сталі тощо.

Продуктивність печі визначають кількістю сталі, отриманої за добу, що припадає на 1 м^2 череня печі. У середньому цей показник становить $8\text{--}12 \text{ т/м}^2$. У ході інтенсифікації процесу сталеваріння продуктивність печі збільшується до $20\text{--}30 \text{ т/м}^2$.

Витрати шихти на 1 т готової сталі становлять $1050\text{--}1200 \text{ кг}$.

Вихід придатного металу (сталі) – $91\text{--}95\%$.

Витрати умовного палива на 1 т сталі становлять $10\text{--}20\%$ кількості отриманої сталі.

Кількість сталі, що припадає на одного робітника, у великих мартенівських печах, коли сталь варять скрап-рудним процесом, становить $2000\text{--}3000 \text{ т}$ на рік.

Собівартість 1 т мартенівської сталі залежить від вартості шихти та інших затрат.

У мартенівських печах варять якісні вуглецеві (конструкційні, інструментальні) та леговані сталі.

Перспектива розвитку сталеваріння в мартенівських печах полягає в повній заміні однованних печей на двованні, впровадження системи автоматичного контролю керування технологічними процесами варіння сталі.

§ 29.3.3. Електричні печі

досконаліші агрегати для варіння сталі порівняно з кисневими конвертерами та мартенівськими печами. В електричних печах легко регулюється нагрівання шихти зміною сили струму; можна створити над розплавом певну атмосферу: окисну, нейтральну або вакуум; розплавлена шихта нагрівається до вищої температури, а це дає можливість легувати сталі трудноплавкими металами (*W*, *Mo*, *Nb* та ін.); менше вигоряє заліза; отримана сталь значно якісніша, оскільки

Використовувати електричні печі для варіння сталі почали з кінця XIX – початку XX ст. Це

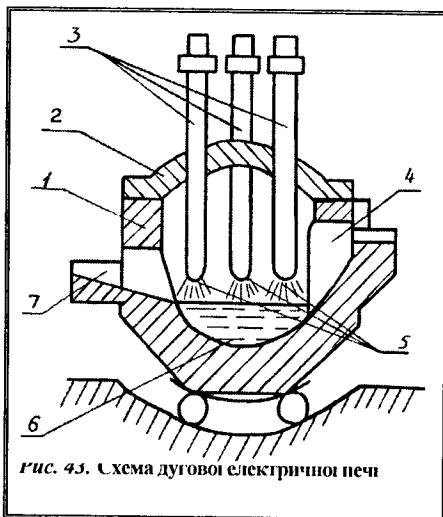


рис. 43. Схема дугової електричної печі

містить менше домішок (фосфору, сірки, азоту), неметалевих включень. Для варіння сталі використовують дугові та індукційні електричні печі.

1. **Дугова електрична піч.** Дугова піч виготовлена у формі циліндра з плоским дном (рис. 43). Ззовні вона окутана сталлю, усередині вкладена вогнетривкою динасовою або хромомagneзитовою цеглою. Склепіння печі 2 має три отвори для електродів 3, які виготовляють із вуглецю або графіту. Діаметр електродів становить 400–500 мм, а довжина сягає до 2 м. Число електродів відповідає числу фаз електричного струму. У стіні корпусу печі 1 є вікно 4 для завантаження в піч розкиснювачів, зливання шлаку, взяття проб металу та шлаку на аналіз. На час роботи печі вікно закривають. Готову сталь виливають через випускний отвір, який має зливний жолоб 7. Для цього піч нахиляють у бік зливного жолоба.

Для завантаження у піч шихти (скрап, чавун, розкиснювачі, легуючі елементи) склепіння піднімають або відсувають вбік. Нагрівають і розплавляють шихту 6 теплою, яка виділяється під час горіння електричних дуг 5, що утворюються між електродами та шихтою. У процесі варіння сталі електроди згорають, їх замінюють новими. Піднімають і опускають електроди за допомогою спеціального механізму. Довжини дуг регулюються автоматично.

Об'єм електричних печей 2,5–200 т, тривалість варіння сталі, що залежить від об'єму печі та марки сталі, становить 2–6 годин.

Технологія *варіння сталі в дуговій електричній печі* складається з таких операцій:

- ✓ заправлення череня;
- ✓ завантаження шихти;
- ✓ опускання електродів;
- ✓ розплавлення шихти та окиснення домішок;
- ✓ зливання шлаку;
- ✓ кипіння розплаву;
- ✓ розкиснення розплаву;
- ✓ випускання готової сталі.

Шихту завантажують у піч так: спочатку подають малі, потім більші, а далі великі шматки шихти. Шихту вкладають щільно. Потім опускають до самої шихти електроди і вмикають струм.

Починається плавлення шихти: окиснюються домішки (кремній, марганець, фосфор тощо), вуглець і частково залізо; утворюється пер-

винний шлак і виділяються гази. Шлак зливають, додають флюс та руду. Наступає кипіння розплаву і виділяються гази. Після закінчення кипіння беруть проби сталі та шлаку на аналіз і знову зливають шлак. Потім сталь розкиснюють та виводять сірку. Для цього до розплаву додають розкиснювачі та флюси. У кінці розкиснення знову беруть пробу розплаву на аналіз. У разі потреби додають легуючі елементи (у процесі варіння легованих сталей). Остаточне розкиснення сталі проводять алюмінієм. Готову сталь випускають у ківш.

Основні показники роботи дугових електричних печей. До основних показників, що характеризують роботу дугових печей, належать продуктивність печі, витрата електричної енергії та графітових електродів на виплавлення 1 т сталі.

Продуктивність печі визначають кількістю сталі, яку отримують за добу на 1000 кВ·А потужності трансформатора. Для середніх за об'ємом печей продуктивність становить 12-15 т.

Витрати електроенергії дорівнюють 500-600 кВт·год.

Витрати графітових електродів на 1 т сталі дорівнюють 6,5 кг.

Шляхи поліпшення цих показників полягають у збільшенні потужності трансформаторів, впровадженні позаагрегатного рафінування сталі, кисневого дуття, електромагнітного перемішування розплаву, використанні металізованих грудок (замість чавуну), збільшенні об'єму печей до 500-600 т і кількості електродів до 6 штук.

2. Індукційна піч. Цей сталеварний агрегат складається з вогнетривкого керамічного тигля 1 та індуктора 2, приєднаного до генератора великочастотного струму (рис. 44). Індуктор виготовлений із мідної трубки у вигляді багатовиткової спіралі.

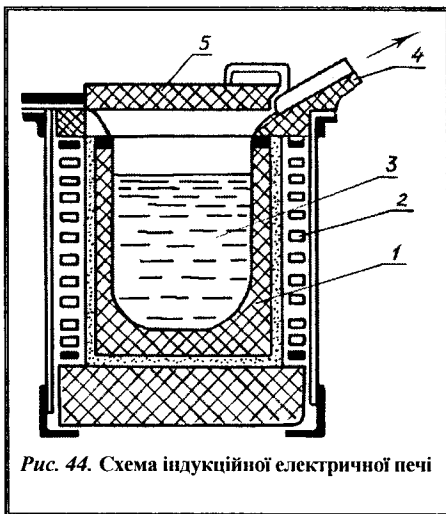


Рис. 44. Схема індукційної електричної печі

Індуктор виготовлений із мідної трубки у вигляді багатовиткової спіралі. Для охолодження індуктора використовують воду, яка циркулює всередині трубки-індуктора. Тигель накривають накривкою 5, що дає можливість створити в печі окиснювальну, відновлювальну або нейтральну атмосферу.

Шихтою для виробництва ста-

лі є чистий (з малою кількістю домішок фосфору і сірки) та приблизно однаковий за хімічним складом скрап. Під дією індукційного струму в шихті виникають вихрові струми, які призводять до її розплавлення. Наприкінці процесу сталеваріння до розплаву **3** додають розкиснювачі та легуючі елементи. Готову сталь виливають жолобом **4** у ковші та подають на розливання або у ливарні цехи для виготовлення відливоків.

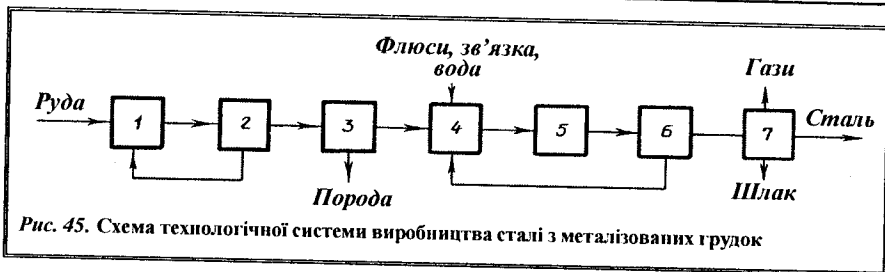
Об'єм тиглів індукційних печей не перевищує 30 т. У цих печах варять багатолеговані сталі та сплави особливого призначення. Отримані сталі мають малий вміст вуглецю (у дугових електричних печах не можна виплавити сталь із малим вмістом вуглецю, оскільки вугільні електроди є джерелом науглецювання розплаву). Крім того, ці сталі (їх називають *індукційними*) дуже якісні: вони мають малий вміст азоту та неметалевих включень.

Основні *недоліки* індукційних печей – малий об'єм тиглів, невеликий термін їх використання (в одному тиглі можна варити сталь до ста разів), велика вартість електричного обладнання тощо.

29.4. Безчавунне виробництво сталі

Виробництво чавуну у доменних печах потребує значних витрат дорогого палива (коксу, природного газу), флюсів, електроенергії для підготовки дуття високого тиску (дуття – це процес подання повітря збагаченого киснем тощо), води для охолодження печей і шлаку. Крім того, виробництво чавуну забруднює довкілля: повітря – викидними газами, пилом; землю – відвалами шлаку; воду – шкідливими речовинами тощо. Саме тому в світі практикують поряд з виробництвом сталі з чавуну впровадження способу переходу від руди до сталі, який обминає виробництво чавуну і називається *безчавунним виробництвом сталі*. При цьому способі сталь варять із металізованих грудок.

Схему технологічної системи виробництва сталі з металізованих грудок зображено на рис. 45.

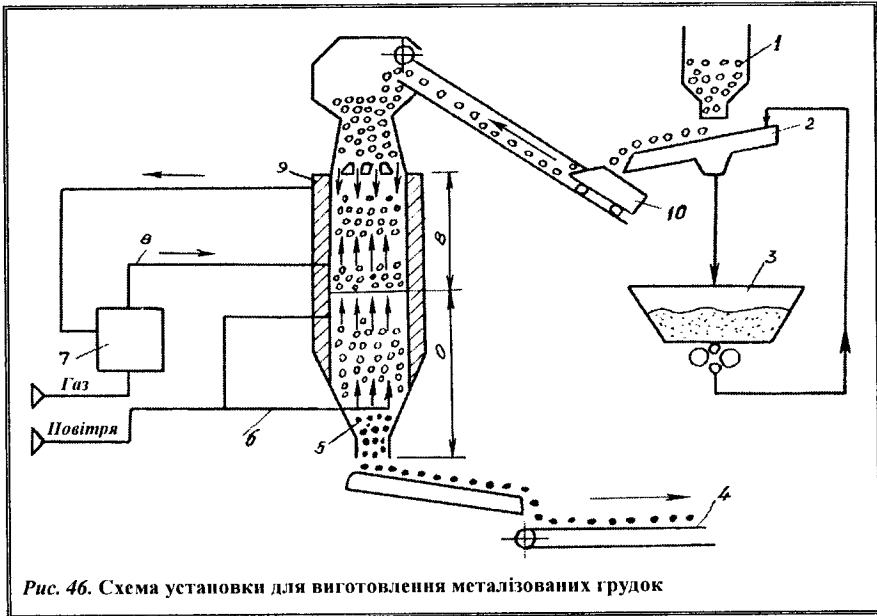


Система складається із семи елементів. В агрегатах цих елементів відбуваються такі технологічні процеси: 1 – подрібнення руди; 2 – решетування (сортування шматків подрібненої руди за розмірами) руди; 3 – збагачення руди; 4 – виготовлення грудок із збагаченої руди; 5 – випалення грудок; 6 – сортування грудок за розмірами; 7 – варіння сталі.

Відомо понад 70 типів установок для виготовлення металізованих грудок. Проте лише деякі з них знайшли практичне застосування в металургії.

Сировиною для виготовлення металізованих грудок є збагачена руда, вугілля та флюси. Металізують грудки в стовбурних печах, печах із «псевдокиплячим шаром», різного типу установках тощо.

Принцип роботи установки, в якій металізують грудки (рис. 46). Виготовлені грудки з бункера 1 висипають на решета – для розділення за розмірами. Грудки, придатні для варіння сталі, збирають у ківш 10. Порошок, який обтрусився з грудок, зсипається в бункер 3, в нижній частині якого з нього виготовляють грудки, які подають на решето 2, а потім у ківш 10. Із ковша за допомогою піднімального механізму грудки висипають у стовбурну піч 9, яка працює за принципом зустрічних потоків: згори вниз рухаються грудки, а знизу вгору – теплові потоки відновних газів (H_2 і CO), які утворились у пристрої 7 із суміші природного та викидного газів. Гази надходять до печі трубою 8.



Піч поділена на дві зони: відновлення (*B*) та охолодження (*O*). У зоні відновлення температура становить 1000-1100°C. За цієї температури відновні гази (H_2 і CO) відновлюють сполуки заліза в грудках.

У результаті утворюється «губчасте» залізо. Вміст заліза у відновлених грудках становить 90-95%. Після відновлення грудки надходять у зону охолодження, де за допомогою холодного повітря, яке подають трубою 6, охолоджуються. Охолоджені грудки 5 конвеєром 4 надходять до електричної печі, де з них варять сталь.

29.5. Рафінування сталі

Сталь, отримана у кисневих конвертерах, мартенівських печах і навіть великих дугових електропечах, не завжди задовольняє вимоги машинобудівників. Причина – мала якість або велика собівартість. Якість сталі позначається на механічних властивостях та корозійній стійкості виробів, виготовлених з неї. Чим ліпша якість сталі, тим більші міцність і довговічність окремих деталей, механізмів і цілих машин, обладнання, інструментів тощо. Саме тому таку велику увагу приділяють очищенню сталі від домішок (фосфору, сірки, азоту, ки-

сню, водню, неметалевих включень тощо), тобто рафінуванню.

Рафінуванням (від франц. «*raffiner*» – очищати) називають очищення сталі від домішок, які погіршують її властивості.

Очищати сталь можна в сталеварних агрегатах і поза ними. Як бачимо це два шляхи рафінування сталі. Кожний із них по-різному впливає на техніко-економічні показники сталеварних агрегатів.

У процесі рафінування сталі в агрегатах продовжується час перебування розплавів у них, що спричинює збільшення собівартості сталі та зменшення продуктивності агрегатів.

Впровадження позаагрегатного рафінування сталі потребує спеціального

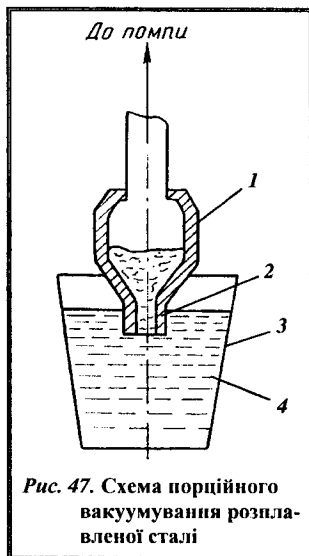


Рис. 47. Схема порційного вакуумування розплавленої сталі

§ 29.5.1. Вакуумування сталі

обладнання, яке може бути різної складності: ковші, печі, установки та ін. Рафінують сталь одразу після випуску з агрегату, тобто розплавлену, або після кристалізації, тобто тверду.

У процесі рафінування розплавленої сталі її вакуумують, продувають інертними газами, перемішують із синтетичними флюсами тощо.

Тверду сталь переплавляють електрошлаковим, вакуумно-дуговим, вакуумно-індукційним способами тощо.

Після закінчення варіння сталь випущена у ківш продовжує вбирати гази з довкілля (у даному випадку це атмосфера цеху). Отже, щоб ізолювати сталь від дії атмосфери, а також зменшити кількість домішок, розчинених у ній, сталь вакуумують. Вакуумування проводять кількома способами.

І. Об'ємне вакуумування. При цьому способі ківш зі сталлю переносять у вакуумну камеру, де за допомогою потужних pomp зменшують тиск до 65-150 Па. Із розплаву, де тиск газів значно вищий, ніж над розплавом, гази виходять у камеру, звідки їх випомпують. Унаслідок такої операції в розплаві зменшується кількість кисню, азоту, водню тощо. Наприклад, за 15 хв. перебування розплаву у вакуумній камері кількість

водню в сталі зменшується на 40%.

2. Порційне вакуумування. На відміну від попереднього способу, де одночасно вакуумують цілий ківш розплаву, у процесі порційного рафінування вакуумують лише невеликі порції сталі. А відбувається це так. Над ковшем **3** (рис. 47), заповненим розплавленою сталлю **4**, ставлять камеру **1**. У камері за допомогою помп створюється вакуум, як і в разі попереднього способу.

Під дією атмосферного тиску розплав через патрубок **2**, який з'єднує камеру з ковшем, виштовхується в камеру, де й проходить дегазацію. Наступна операція: камеру піднімають і порція дегазованого розплаву повертається в ківш, а камера займає попереднє положення, і так по чергово.

§ 29.5.2. Продування розплавленої сталі інертним газом

З усіх інертних газів у металургії найчастіше застосовують аргон, яким продувають розплавлену сталь. Перемішуючи розплав, аргон сприяє прискоренню хімічних реакцій, виведенню газів і неметалевих включень з розплаву на його поверхню. Бульбашки аргону в розплаві завжди рухаються знизу вгору. Кисень і водень проникають у бульбашки аргону і разом виходять на поверхню розплаву, а потім в атмосферу.

На очищення 1 т сталі витрачається 1 м³ аргону. Звичайно собівартість сталі зростає, але поліпшується якість. Вміст кисню в сталі після аргонування зменшується в 1,5 рази.

Шляхи продування розплаву різні: через фурми, вставлені в розплав, або через пористе днище чи з боку. На рис. 48 зображено схему подання аргону через днище.

З усіх інертних газів у металургії найчастіше застосовують аргон, яким продувають розплавлену сталь.

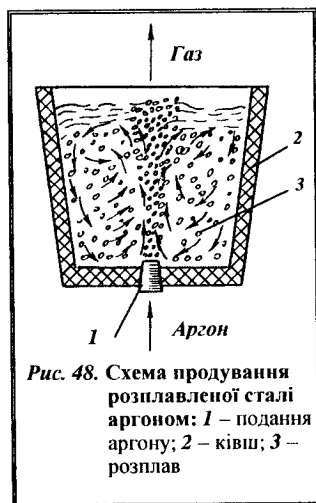


Рис. 48. Схема продування розплавленої сталі аргонном: 1 – подання аргону; 2 – ківш; 3 – розплав

§ 29.5.3. Перемішування сталі з синтетичними флюсами

Цей спосіб очищення сталі широко використовують на металургійних заводах.

Флюси виплавляють в електричних печах. Основними складниками флюсів є CaO (55%) і Al_2O_3 (40%), решта SiO_2 , MgO і FeO . Флюси нагрівають до температури 1650–1700°C і виливають у ківш, який підставляють до сталеварного агрегату. Сталь потужним струменем летить в ківш, перемішується з флюсами. Складові флюсів взаємодіють з домішками, які є у сталі й утворені продукти реакції спливають на поверхню розплаву. Внаслідок такого способу очищення розплаву вміст сірки в сталі зменшується вдвічі, а час сталеваріння скорочується. Так, варіння сталі в дуговій печі скорочується на 30-50 хв., що призводить до економії електроенергії, зниження собівартості сталі.

§ 29.5.4. Електрошлакове переплавлення сталі

полягає у тому, що зі сталі, яку треба очистити від домішок, виготовляють вальцюванням або литтям електрод **1**, який закріплюють в електродотримачі над охолоджуванім водою кристалізатором **2**. До початку процесу на дно кристалізатора кладуть затравку **6**, насипають шар флюсів (99% CaF_2 , решта Al і кальцієва селітра) і вмикають струм. Між електродом і затравкою виникає електрична дуга, теплота якої й

Цим способом рафінують мартенівську сталь і сталі, отримані в електропечах (рис. 49). Суть цього способу

розплавляє флюси. У разі досягнення певної товщини розплавлених флюсів дуга гасне. Струм, який проходить через флюси, нагріває їх до температури 2000°C. У нагрітому шарі флюсів **3** сталевий електрод **1** плавиться. Розплавлена сталь проходить через шар флюсів, очищується від домішок **4** і надходить до охолоджуваного водою кристалізатора, де формується у вигляді виливка **5** круглої, квадратної чи іншої форми. Маса виливка досягає 110 т. Шар шлаку, який утворився в

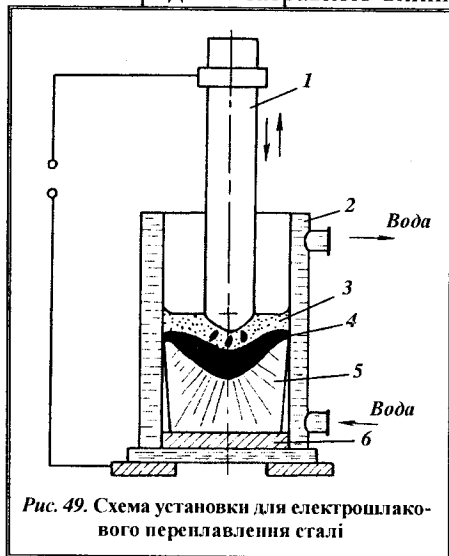


Рис. 49. Схема установки для электрошлакового переплавления стали

процесі очищення сталі, захищає очищений метал від окиснення. Одночасно переплавляють кілька електродів.

Отримані виливки не містять дефектів ліквації, мають гладку поверхню, однорідну щільну мікроструктуру та велику якість: вміст кисню у виливці зменшується у 1,5-2 рази, сірки у 2-3 рази, зменшується вміст неметалевих включень. Обладнання просте, надійне і, що головне, працює на змінному струмі. Очищену сталь використовують для виготовлення лопатей турбін, валків, компресорів тощо.

§ 29.5.5. Вакуумно-дугове переплавлення сталі

Щоб очистити сталь від газів та неметалевих включень її переплавляють у вакуумних дугових печах, які працюють на постійному струмі (рис. 50).

Електроди виготовляють зі сталі, виплавленої в мартенівських печах. Електрод 3, який кріплять до охолоджуваного водою штока 2, виконує роль катода, анодом є затравка 8, а потім очищений виливок, який перебуває в тиглі 6, охолоджуваному водою. Довговічність виробів, виготовлених з очищеної цим способом сталі, збільшується в 1,5–2,5 рази. Корозієстійкість сталі у водному розчині, який містить 3% NaCl , збільшується вдвічі. Поліпшується структура виливка.

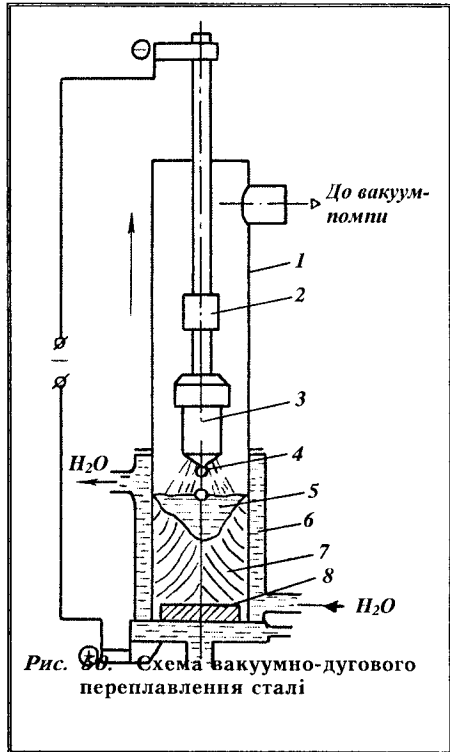


Рис. 50. Схема вакуумно-дугового переплавлення сталі

29.6. Розливання сталі

Це дуже відповідальний момент у виробництві сталі. Готову сталь випускають із сталеварних агрегатів у розливні ковші, з яких її розливають у виливниці або в проміжні ковші машин безперервного

розливання. Ковші викладено вогнетривкою цеглою. У днищі кожного ковша є отвір, через який сталь надходить до виливниць або на розливні машини. Діаметр ковша – близько 5,5 м, висота – близько 6 м. У такий ківш вміщується до 400 т сталі.

§ 29.6.1. Розливання сталі у виливниці

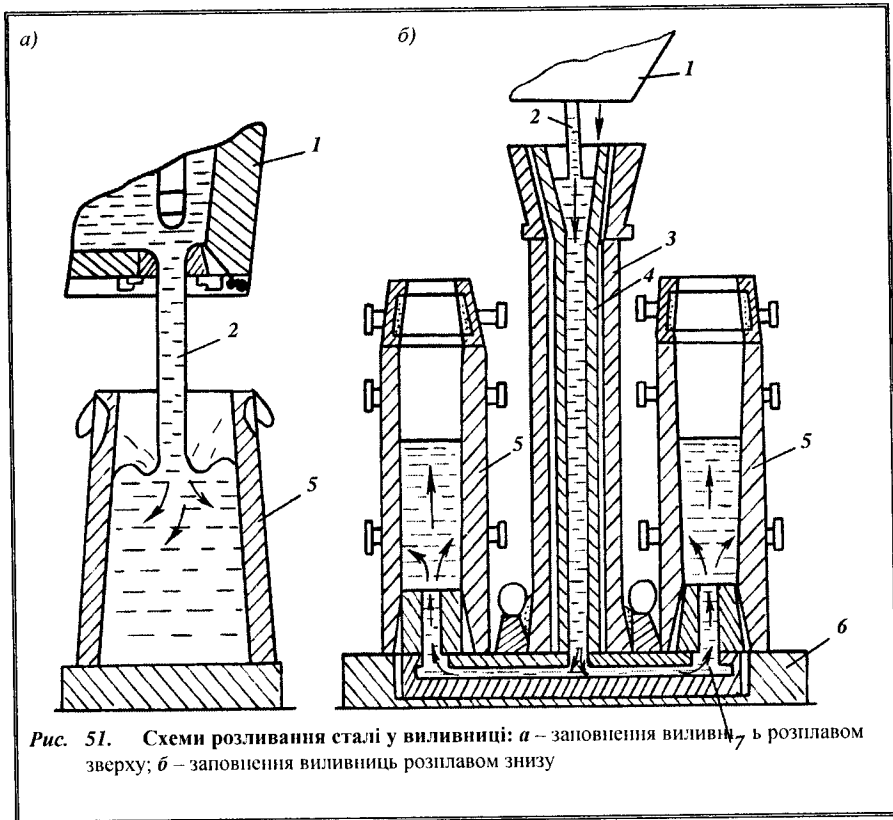
Виливницями називають чавунні форми, в яких кристалізується і набуває певної форми розплавлена сталь або інший сплав чи метал.

Продукцію, отриману розливанням, називають **виливками**.

Поперечний розріз виливниць може мати форму квадрата, прямокутника чи круга. Виливки квадратної форми переробляють на листи, а з круглих роблять труби, колеса та ін. Маса виливків становить 7-300 т. Заповнювати виливниці розплавом можна двома шляхами: зверху або знизу (сифоном). Звідси походять назви способів розливання.

1. Розливання зверху. При цьому способі розливання (рис. 51, а) виливницю **5** заповнюють розплавом **2** з ковша **1**. Кожну виливницю заповнюють окремо. Коли сталь застигає, її об'єм зменшується приблизно на 6%, що сприяє утворенню западини. Для зменшення глибини западини верхню частину виливниці утеплюють. Цей спосіб широко використовують для отримання великих виливків. Він простий, відсутні втрати металу на заповнення ливника, але малопродуктивний і дає малу якість поверхні виливків.

2. Розливання знизу (сифонне). При цьому способі розливання одночасно заповнюють розплавом 4-60 виливниць (рис. 51,б). Виливниці **5** встановлюють на піддон **6**, у центрі якого розміщено ливник у вигляді труби **4**, виготовленої з вогнетривів. Ливник з'єднаний із виливницями за допомогою каналів **7**. Розплав **2** із ковша **1** подають до центрального ливника **3** і знизу він поступово заповнює виливниці **5**. Цим способом отримують як малі, так і середні за розміром виливки. Продуктивність цього способу значно вища, ніж щойно розглянутого, поверхня виливків якісніша. Проте він має такі *недоліки*: складно з'єднувати виливниці та ливники; великі втрати металу на заповнення ливника; не виключена можливість забруднення сталі неметалевими включеннями у ливнику та каналах.



§ 29.6.2. Розливання сталіна машинах безперервної дії

Безперервне розливання сталі впроваджено у виробництво порівняно недавно. Це перспективний спосіб, у майбутньому він буде основним способом розливання всіх металів і сплавів.

Сьогодні у світі працюють сотні установок безперервного розливання. Їх тепер називають машинами безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Відомі різні типи МБЛЗ, проте найширше використовують *горизонтальні* та *вертикальні*.

На рис. 52 показано схему МБЛЗ вертикального типу. Розплавлена сталь з ковша **7** надходить до проміжного ковша **6**, а звідси – до кристалізатора **5**, який охолоджується водою. На початку роз-

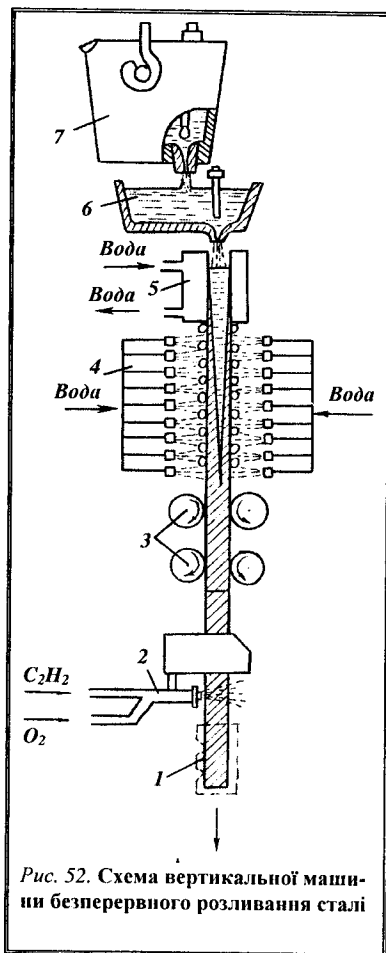
ливання днищем кристалізатора є затравка, виготовлена з такого самого металу чи сплаву, який розливають. Затравка має форму «ластівчиного хвоста».

У наслідок інтенсивного охолодження біля стінок кристалізатора утворюється тверда оболонка, у середині якої перебуває розплав. Виливок рухається вниз, потрапляє до зони вторинного охолодження за допомогою бризкалок 4, де відбувається повна кристалізація виливка. У міру того, як виливок виходить із кристалізатора, його місце займає розплав, який безперервним потоком надходить із проміжного ковша.

Швидкість заливання розплаву співмірна швидкості витягання виливка з кристалізатора і становить 0,5-10 м/хв. (для розливання сталі). Після проходження тягових роликів 3 виливок потрібної довжини відрізають ацетилено-кисневим різаком 2. Відрізок виливка 1 подають на оброблення (вальцюванням, куванням тощо). Виливки, отриманні на машинах безперервного розливання, мають гладку поверхню, дрібнокристалітну структуру. Для їх отримання не потрібні виливніці, а для оброблення виливків – великі вальцівні. Продуктивність таких машин велика. Однопотоктова машина за 1 год. розливає 100-150 тонн сталі. Ці машини можуть бути одно- та багатопотоковими (до 8-ми потоків).

Недоліком МБЛЗ вертикального типу є їх висота. Тому останнім часом починають застосовувати машини горизонтального типу. Ці машини мають вигнутий кристалізатор. Виливок, який виходить із кристалізатора, вирівнюють на валках. Такі машини дешевші, ніж вертикальні, проте також мають *недолік*: важко витягати такий виливок у разі виходу машини з ладу.

На МБЛЗ отримують сортові заготовки, розмір сторони яких 60-150



мм, круглі діаметром 60-330 мм, а також труби.

Розливання металів та сплавів на МБЛЗ збільшує вихід придатного металу, зменшує затрати енергії, поліпшує якість виливків, оскільки використовують вакуум.

29.7. Кристалітна будова виливка

Після розливання сталі у виливниці формується виливок (рис. 53). Біля стінок виливниці зароджується велика кількість центрів кристалізації і відповідно ростуть кристаліти невеликих розмірів. Цю зону (*I*) називають *дрібнокристалітною*.

Другу зону (на рис. 53 позначено *II*) називають зоною *стовпчастих кристалітів*. Кількість кристалітів у цій зоні менша, а розміри їх більші. Кристаліти спрямовані перпендикулярно до стінок виливниці, тобто в сторону відведення теплоти. Третю зону (*III*) називають зоною *рівно-важених кристалітів*. Їх кількість, порівняно з другою зоною, менша, розміри – більші, форма – інша.

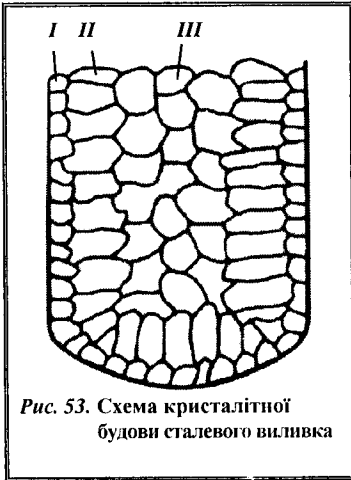


Рис. 53. Схема кристалітної будови сталевго виливка

Розмір кристалітів впливає як на механічні, так і на корозійні властивості металів і сплавів. Тому шукають шляхи отримання виливків, в яких кристаліти мають однакові розміри. Такими шляхами є, зокрема, зміна температури виливниці, швидкості розливання, хімічний склад розплаву тощо.

У процесі кристалізації у верхній частині виливка утворюються западини, пустоти. Останні можуть поширюватись по всьому об'єму виливка, як, наприклад, у процесі кристалізації погано розкисненої (киплячої) сталі. У спокійній (добре розкисненій) сталі пустоти утворюються лише у верхній частині. Їх називають *западинами*.



ВИРОБНИЦТВО КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

Кольорові метали та сплави на їх основі використовують у всіх промисловостях. Особливо зросла їх роль із розвитком електро- та радіотехніки, космічного й атомного машинобудування, радіоелектроніки.

Використання кольорових металів зумовлене їх особливими властивостями: великими електро- та теплопровідністю, корозієстійкістю, жароміцністю тощо. Крім того вони легко вступають у взаємодію між собою та із залізом. Більшість з них дорогі, й тому в разі можливості їх замінюють на сплави чорних металів. Найширше використовують мідь, алюміній, цинк, свинець, олово, нікель, титан, магній тощо.

Технологія отримання кольорових металів істотно відрізняється від технології отримання чавуну та сталі.

30.1. Виробництво міді

§ 30.1.1. Мідь, її властивості та використання

Мідь здавна ввійшла у життя людей, оскільки перебуває в природі у вільному стані. Знайдено кусок чистої міді масою 420 т.

Чиста мідь червоного кольору; плавиться за температури 1083°C ; її густина дорівнює 8940 кг/м^3 ; вона майже у 2 рази м'якша від заліза; має велику електро- та теплопровідність. За електропровідністю мідь стоїть за сріблом. Мідь є основним провідниковим матеріалом в електро- та радіотехніці. Майже половину міді використовують саме в них. Решта йде на виплавлення сплавів.

У земній корі мідь перебуває у вигляді сульфідних і рідше оксидних руд. У сульфідних рудах мідь міститься в сполуках CuS , Cu_2S , а в оксидних – в Cu_2O .

Понад 80% міді виробляють із сульфідних руд. Найпоширенішою рудою є халькопірит (від грецьк. «*халько*» – мідь і «*пірит*» – обпалений вогнем) – мінерал класу сульфідів, латунно-жовтого кольору з металевим блиском. У цій руді мідь міститься в сполуці CuFeS_2 .

Середній вміст міді в промислових рудах – 1-2%, мінімальний – 0,5%; руди, які містять $\geq 3\%$ міді, вважаються багатими (вміст міді в рудах, що залягають у надрах України набагато більший). У мідних рудах містяться також інші кольорові метали (*Au*, *Ag*, *Zn* та ін.) та порода, яка складається з глинозему, вапняків, алюмосілікатів.

Мідь виробляють піро- та гідрометалургійним способами. Основним є пірометалургійний. Цим способом отримують 90% міді.

§ 30.1.2. Пірометалургійний спосіб виробництва міді

Спрощена схема технологічної системи пірометалургійного способу виробництва міді подана у рис. 54. Вона складається з окремих елементів, складовим яких є обладнання та технологічні операції. До обладнання належать млини, флотаційна машина, печі різного типу, горизонтальний конвертер, електродлізери. В обладнанні відбуваються такі технологічні процеси як подрібнення, збагачення, випалювання, плавлення та рафінування.

Елемент 1. Руда, видобута в кар'єрі або копальні, надходить до кульового млина для подрібнення (елемент 1). У млині відбуваються фізико-механічні процеси, в наслідок яких великі куски перетворюються на малі – розміром 0,05-0,5 мм.

Елемент 2. Оскільки мідні руди містять мізерну кількість міді, то їх збагачують доводячи концентрацію міді в руді до 10-35%. Руди збагачують у флотаційних машинах (елемент 2).

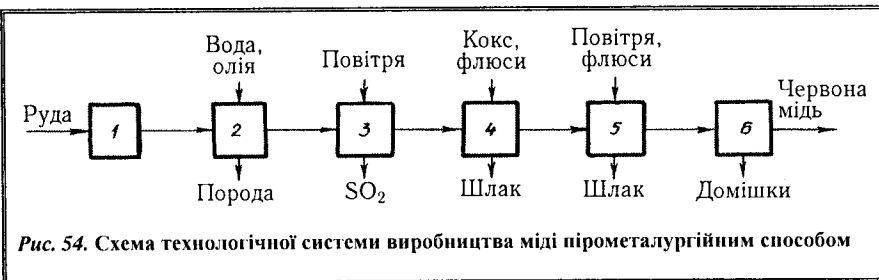


Рис. 54. Схема технологічної системи виробництва міді пірометалургійним способом

Флотацийний спосіб збагачення трудомісткий і дорогий, але ці затрати покриваються в наступних процесах.

Елемент 3. Щоб зменшити вміст сірки, окиснити домішки і висушити концентрат його випалюють. Випалювання проводять у багаточеревених печах та в печах з «псевдокиплячим шаром» (елемент 3). Це печі безперервної дії.

Багаточеревна піч (рис. 55) – це стовбурна піч висотою до 11 м, діаметром 6,5-7,5 м. Концентрат подають на верхній черинь печі, з якого його за допомогою механічних перегрізбачів *1*, які кріпляться до обертового вала *2*, згрібають на нижній черинь і т. д. За допомогою форсунок *3* у піч подають паливо. Продуктивність такої печі невисока – 300 т шихти за добу. З печі разом із SO_2 і пилом виноситься до 0,5% міді.

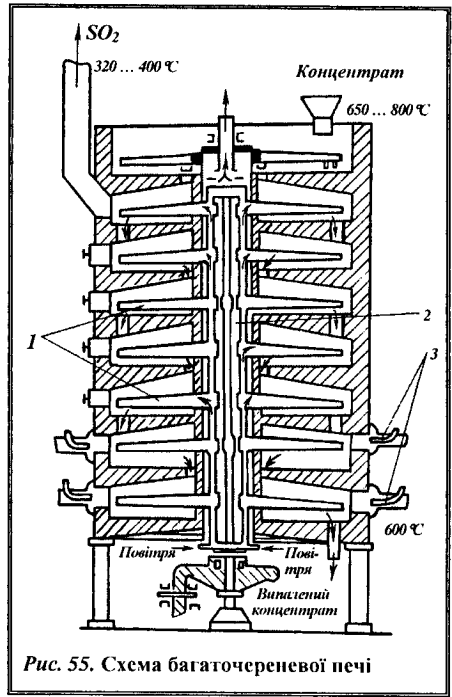


Рис. 55. Схема багаточеревої печі

Випалюють концентрат і у печах із «псевдокиплячим шаром» (рис. 56). Така піч, як і багаточеревна, працює на принципі зустрічних потоків. За допомогою форсунок *3* до печі подають паливо. Концентрат через отвір *1* потрапляє на черинь печі. Під тиском повітря, яке подають через отвір *2*, концентрат з череня печі піднімається вгору і в камері печі *4* підтримується в завислому стані. Температура в печі становить 600-700°C. Частинки концентрату ніби киплять, і кожній із них забезпечується найкращий контакт із газами, які містять кисень. Газоподібні продукти реакції після очищення від пилу у циклонах *5* ідуть на виробництво сірчаної кислоти, а недогарок, що складається з оксидів заліза, частково міді та інших металів, – на виробництво штейну (від нім. «*stein*» – камінь). Продуктивність цих печей у кілька разів більша ніж багаточеревених.

Елемент 4. Щоб відокремити сполуки із сіркою від сполук із киснем отриманий недогарок переплавляють у відливних печах, які за кон-

струкцією подібні до мартенівських, або до електричних печей (елемент 4). У полуменових печах використовують найдешевші види палива: мазут та ін. Температура в зоні плавлення становить 1450°C. Шихта складається з випаленого концентрату, коксу та флюсів (піску).

У процесі плавлення шихти на черені печі збирається штейн – розплав, який складається з 20-50% міді, 20-40% заліза, 22-25% сірки, до 8% кисню і домішок (золото, срібло, свинець, цинк тощо). Зверху штейн прикритий шаром шлаку. Отриманий штейн є сировиною для виробництва чорнової міді.

Елемент 5. Для виробництва чорнової міді необхідно мати: штейн, кварцовий пісок (флюси), повітря, кисень і обладнання – горизонтальний конвертер (рис. 57).

Конвертер (елемент 5) викладено вогнетривкою цеглою, його довжина – 6-10 м. Зовнішній діаметр – 3-4 м. По твірній поверхні конвертера розташовані фурми 2, через які подають до конвертера повітря, збагачене киснем (тиск дорівнює 0,075-0,125 МПа). Кількість фурм може бути до 60. Для полегшення завантаження шихтою та виливання чорнової міді та шлаку конвертер нахилиють.

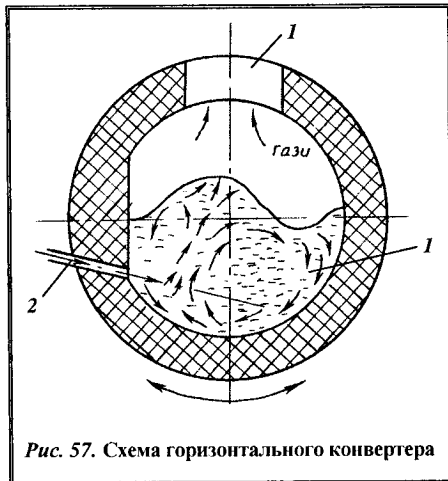
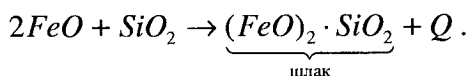
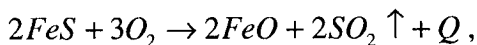


Рис. 57. Схема горизонтального конвертера

Отже до конвертера через отвір 1 завантажують шихту, яку продувають повітрям. Температура розплаву (1200°C) підтримується за рахунок теплоти, яка виділяється під час хімічних реакцій, що відбуваються в розплаві 3.

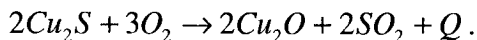
Штейн на чорнову мідь перепплавляють у *два заходи*.

У *першому заході* окиснюється сульфід заліза й офлюсовується оксид заліза:

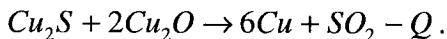


Утворений шлак зливають.

У *другому заході* окиснюється сульфід міді:



Одночасно оксид міді взаємодіє із сульфідом, який ще міститься в розплаві:



Чорнова мідь містить 98,5-99,5% міді, решта – залізо, сірка, арсен, кисень, благородні метали тощо.

Оксид сірки (SO_2) після очищення використовують для виробництва сірки або сірчаної кислоти.

Тривалість продування штейну повітрям залежить від кількості штейну в конвертері та вмісту в ньому міді. Так, час продування штейну масою 100 т триває до 30 год. Для його скорочення повітряне дуття замінюють на кисневе.

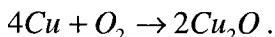
Елемент 6. Отриману в конвертері (елемент 5) мідь рафінують у елементі 6, оскільки вона містить домішки, які погіршують її властивості. Рафінування проводять вогневим і електролізним способами:

§ 30.1.3. Рафінування міді

1. Вогневе рафінування міді.

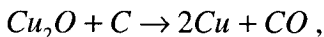
За цим способом розплавлену чорнову мідь завантажують у полуменеву піч об'ємом до 400 тонн і продувають повітрям. При цьому цинк, свинець та інші домішки окиснюються легше, ніж мідь. Утворені оксиди (ZnO , PbO тощо) виходять разом із димовим газом. Оксиди заліза, алюмінію та інших металів переходять у шлак, благородні метали (Au , Ag) не окиснюються, а залишаються в розплаві.

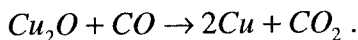
Під час повітряного дуття частково окиснюється мідь:



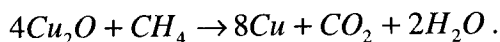
Цей період називають *періодом окиснення*.

Після періоду окиснення починається період відновлення міді з оксидів і дегазація розплаву. Для цього шлак зливають, на поверхню розплаву наносять шар деревного вугілля, щоб запобігти окисненню міді, і перемішують розплав сирими дерев'яними жердинами. Під час перемішування з розплаву виділяються водяна пара та гази. Деревне вугілля й обвуглені жердини використовують для відновлення міді:





Для економії деревини на деяких заводах мідь розкиснюють природним газом:



Мідь, рафінована вогневим способом, має чистоту 99,5-99,7%. Її використовують для виготовлення сплавів (бронз, латуней).

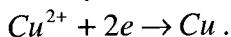
2. Електролізне рафінування міді. Як відомо, головними споживачами міді є електротехнічна промисловість і радіотехніка. Вони потребують дуже чистої міді (99,92–99,96% вмісту міді), яку не можна отримати вогневим рафінуванням.

Рафінують мідь в електролізерах, виготовлених із бетону або деревини, зсередини викладених вініпластом, свинцем або іншим кислотостійким матеріалом. Електроліт складається із сірчаноокислої міді (CuSO_4) та сірчаної кислоти (H_2SO_4). Електроди виготовляють із міді: аноди з чорнової, катоди з електролізної. Товщина анодів дорівнює 40-50 мм, а катодів – 0,5-0,7 мм. У ванну поміщують непарну кількість електродів (наприклад, 50 анодів і 51 катод).

Під час проходження постійного електричного струму між катодом і анодом анод поступово розчиняється й мідь у вигляді позитивних іонів переходить у розчин:



У розчин переходять також такі метали, як цинк, нікель, залізо, стійбій тощо. Золото та срібло у розчин не переходять, а випадають у вигляді шлам (від нім. «*Schlamm*» – мул). На катоді осідає чиста мідь:



Отже, анод розчиняється і його розміри зменшуються, розміри катода, навпаки, збільшуються. Електроліт забруднюється як домішками, що перейшли у розчин, так і міддю; його періодично замінюють на свіжий.

Із шламу отримують золото та срібло. У процесі електролізного рафінування міді з 1 т чорнової міді вилучають до 7 кг срібла та 50-300 г золота, що робить мідь дешевшою.

Процес рафінування міді триває безперервно. Розчинені аноди через 20-30 діб замінюють на нові. Катоди в разі досягнення ними маси 150 кг через 10-15 діб також замінюють на нові. Після промивання

водою катода переплавляють в електричних печах.

У цеху встановлюють велику кількість ванн. Електроліт, підігрітий до температури 50-60°C циркулює через усі ванни. Напруга на ваннах витримується в межах 0,2-0,26 В. Відпрацьований електроліт відновлюють (регенерують). На виробництво 1 т катодної міді витрачається 175-400 кВт·год. електроенергії. Вихід за струмом становить 90-94%.

§ 30.1.4. Шляхи вдосконалення виробництва міді

Виробництво міді потребує великих енергетичних затрат. Для зменшення їх, а також повнішого використання сировини і зменшен-

ня забруднення довкілля технологію отримання міді вдосконалюють: замінюють полуменеві печі на дугові електричні, запроваджують кизцетний спосіб виробництва міді; вилучають отримання штейну.

Заміна полуменевих печей на електричні дугові зменшує витрати палива та флюсів; розплав повніше очищується від домішок; виділяється менше шкідливих газів.

Кизцетний («Киз» – киснево-завислий; «ц» – циклонний, «ет» – електротермічний) спосіб виробництва міді – це давня мрія металургів про агрегат, в якому були б суміщені всі технологічні операції від завантаження шихти до випускання готової продукції. Цей спосіб не потребує попереднього випалювання концентрату. Його лише підсушують у вертикальних трубах-сушарнях. Суху шихту вдувають в агрегат разом з киснем. В процесі згоряння сірки утворюється SO_2 і виділяється велика кількість теплоти. Шихта плавиться. У полуменевих печах необхідне паливо. У цьому і полягає перевага нового способу. Крім того, повніше згоряє сірка та збільшується кількість утвореного SO_2 , що дає додаткові прибутки в процесі виробництва з нього сірки та сірчаної кислоти.

Концентрат в агрегат вдувають зі швидкістю 100 м/с. У середині печі закручується ураганний вихор – циклон. У цьому вихорі всі процеси плавлення відбуваються з величезною швидкістю. Розплавлена шихта стікає по стінках агрегата (звідки надходить у електропіч). Оскільки в електропіч надходить уже розплавлена шихта, то витрати електроенергії зменшуються вдвічі. Крім того, зі шлаку тут же можна отримати нікель та інші метали. Усі процеси відбуваються безперервно.

Отримання штейну потребує великої кількості палива; щоб уникнути цих витрат сухий концентрат вдувають разом із киснем у розплави, який міститься у вертикальному конвертері. У процесі хімічних реакцій виділяється велика кількість теплоти, що дає змогу переплавити у конвертері мідний скрап. Цей захід вилучає отримання штейну і всі операції, пов'язані з цим.

30.2. Виробництво алюмінію

§ 30.2.1. Алюміній, його властивості та використання

Чистий алюміній – це метал сріблясто-білого кольору, малої густини (2700 кг/м^3), низької температури плавлення (660°C), має велику тепло-, електропровідність та корозієстійкість в агресивних середовищах.

За електричною провідністю алюміній посідає 4-те місце після *Ag*, *Cu*, *Au*.

У природі алюміній зустрічається у вигляді сполук. У вільному стані алюміній отримав данський учений Х.К. Ерстед у 1825 р. Проте це не означає, що алюміній не був відомий людству раніше. Використовувати алюміній почали лише 1895 р. Чому так пізно? Алюміній надзвичайно активний відносно кисню. Саме тому його використовують для розкиснення сталі.

За кількістю отримання та використання алюміній і сплави на його основі посідають друге місце після сталі. Швидкий розвиток виробництва алюмінію зумовлений його чудовими властивостями: великою міцністю, малою густиною, великою пластичністю (з нього можна зробити фольгу товщиною 3 мкм, витягнути в тонкий, як паутинка дріт); він добре з'єднується з різними конструкційними матеріалами зварюванням, паянням, має велику корозієстійкість. Усе це і до того великі запаси сировини в земній корі роблять алюміній перспективним для виробництва. Алюміній і сплави на його основі використовують в електротехніці, будівництві, хімічному та харчовому машинобудуванні, літакобудуванні та космічній техніці.

У світі виробництво алюмінію зростає швидкими темпами. Це зумовлено тим, що вчені знайшли його сплавам нові сфери застосування – в майбутньому ними замінять сталі.

§ 30.2.2. Сировина для виробництва алюмінію та способи отримання глинозему

I. Сировина. Алюміній виробляють із бокситів, нефелінів, алунітів тощо. Основною сировиною є боксити, які скла-

даються з 50-60% глинозему, 1-5% кремнезему, 2-25 % оксиду заліза 2-4% оксиду титану, 10-30% води. У цьому мінералі алюміній міститься у вигляді сполук $Al(OH)_3$, $AlOOH$, Al_2O_3 , $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Якість бокситів визначається вмістом в них оксиду алюмінію та кремнезему. Якісні боксити містять 50-60% оксиду алюмінію та не більше 0,2% SiO_2 і 0,4% Fe_2O_3 .

Алюміній виробляють у два заходи: спочатку отримують із бокситів глинозем, а потім з глинозему алюміній.

II. Способи отримання глинозему. Глинозем отримують електро-термічними, кислотними та лужними способами.

1. Електротермічні способи. Суть їх полягає у відновленні в електропечі сполук алюмінію, які містяться у мінералі. Отриманий таким чином глинозем непридатний для вироблення алюмінію. Його використовують для виготовлення шліфувальних кругів та інших абразивних виробів.

2. Кислотні способи. При цих способах алюмінієві мінерали обробляють соляною або сірчаною кислотою. У процесі взаємодії утворюються солі, наприклад, хлористий алюміній у випадку взаємодії алюмінієвих мінералів із соляною кислотою. Домішки (оксид кальцію та ін.) у більшості випадків із кислотами не взаємодіють. Оксиди заліза взаємодіють із кислотами та забруднюють розчини. Крім того, для виготовлення обладнання потрібна кислотостійка сталь, а це додатково збільшує затрати на виробництво глинозему. Тому кислотні способи виробництва глинозему використовують дуже рідко.

3. Лужні способи. Це економічно вигідніші способи, оскільки мінерали обробляють лугами, а обладнання виготовляють із дешевих вуглецевих сталей і чавунів.

Глинозем отримують двома способами: 1) способом спікання та 2) способом Баєра. На сьогоднішній день близько 95% світового глинозему виробляють із бокситів за способом Баєра, оскільки він дешевший ніж спосіб спікання.

Виробництво алюмінію є складним. Тут недостатньо лише мінералів, які містять алюміній; треба мати ще й плавиковий шпат для

отримання кріоліту та інших фтористих солей, необхідних для виробництва алюмінію. Потрібні чисті вуглецеві матеріали для виготовлення аноду та інших складових частин електролізерної ванни, без яких неможливо отримати алюміній. Виробництво алюмінію потребує великої кількості електричної енергії.

Тому, технологічна система виробництва алюмінію складається з чотирьох самостійних підсистем: виробництво глинозему, кріоліту, електродної маси та алюмінію з глинозему.

§ 30.2.3. Виробництво алюмінію з бокситів за способом Баєра

Схему технологічної системи виробництва алюмінію за способом Баєра можна подати у вигляді 8-ми елементів, структурними складо-

вими яких є обладнання та технологічні процеси, які відбуваються в ньому або за його допомогою (рис. 58).

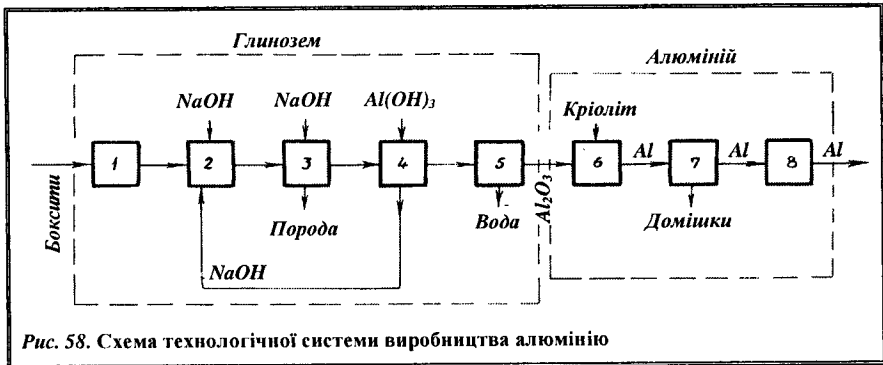
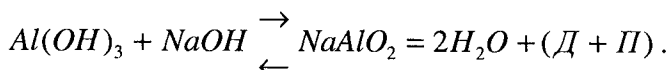


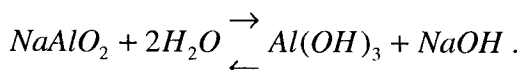
Рис. 58. Схема технологічної системи виробництва алюмінію

1. **Виробництво глинозему.** Боксити сушать у печах (елемент 1), мелють у кульових млинах (елемент 2) із додаванням луку (NaOH). Після розмелення до бокситів додають концентрований розчин луку (NaOH) для перетворення гідрату оксиду алюмінію в алюмінат натрію.

Це відбувається в автоклавах (від *авто...* і лат. «*clavis*» – ключ) (елемент 3) за температури $105\text{--}250^\circ\text{C}$. Нагрівають і перемішують пульпу за допомогою пари, яку подають під тиском через сопло в днищі автоклава. У процесі взаємодії гідрату оксиду алюмінію з лугом утворюється алюмінат натрію (NaAlO_2):

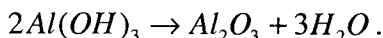


Алюмінат натрію розчиняється у воді, а домішки (*Д*) та порода (*П*) випадають в осад. Їх відфільтровують. Чим більше кремнезему міститься в бокситах, тим більше лугу треба для очищення розчину. Профільтрований розчин алюмінату натрію подають до випарника (елемент 4). Температуру розчину знижують до 45°C. Протягом 50-70 год. розчин перемішують. За цих умов утворюються кристали гідрату оксиду алюмінію ($Al(OH)_3$) і розчин лугу ($NaOH$):



Щоб прискорити процес розпаду алюмінату натрію до розчину додають дрібні кристали $Al(OH)_3$, які виконують роль центрів кристалізації, навколо яких ростуть кристали. Отримані великі кристали $Al(OH)_3$ після промивання передають до наступного елемента 5. Луг очищують і подають до кулькових млинів для мокрого розмелювання бокситів.

Наступним елементом системи є трубова обертова піч або піч із «псевдокиплячим шаром», у якій кальцинується гідрат оксиду алюмінію (елемент 5) для отримання оксиду алюмінію – глинозему. Кальцинацію проводять за температури 1200°C:



Отриманий глинозем (Al_2O_3) містить домішки F_2O_3 , SiO_2 тощо. Для виробництва однієї тонни глинозему необхідно розмолоти 2-2,5 т бокситів, витратити 70-90 кг $NaOH$, 7-9 т водяної пари, 160-180 кг мазуту (у перерахунку на умовне паливо) і близько 280 кВт·год. електроенергії.

2. Виробництво алюмінію з глинозему. Глинозем – це стійка хімічна сполука з температурою плавлення 2050°C, кипіння – 2980°C. Відновлювати алюміній з його оксиду вуглецем не можна, оскільки цей процес закінчується утворенням карбіду алюмінію (Al_3C_4).

Не можна отримати алюміній електролізом водного розчину солей, оскільки на катоді виділяється лише водень.

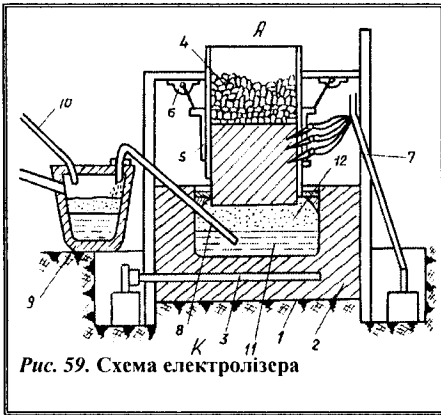


Рис. 59. Схема електролізера

Алюміній отримують електролізом глинозему, розчиненого в розплавленому кріоліті (Na_3AlF_6). Сюди ж додають AlF_3 і NaF . Процес відбувається в електролізері (елемент 6), схему якого подано на рис. 59.

Ванна електролізера окута сталлю 1, у середині вкладає вуглецевими блоками 2. До піддона ванни за допомогою мідних шин 3 підведено електричний струм.

Отже, вуглецевий піддон служить катодом. Анод виготовлений із вуглецевої маси 4. Нижня частина анода занурена в електроліт 12. У процесі електролізу анод згоряє в атмосфері кисню і його нарощують сумішшю, яка складається з нафтового або смоляного коксу і кам'яновугільної смоли. У верхніх шарах анодної суміші температура становить $100\text{--}140^\circ\text{C}$, а в нижніх – 360°C . За допомогою сталевих штирів 7 до анода підведено струм. Напруга на електродах становить $4\text{--}4,5\text{ В}$.

Перед початком процесу ванну прогрівають і поступово завантажують кріоліт. Коли товщина шару розплавленого кріоліту досягне $200\text{--}300\text{ мм}$, у ванну засипають глинозем ($10\text{--}15\%$ маси кріоліту). Під час проходження струму між анодом і катодом розплав нагрівається до температури $950\text{--}1000^\circ\text{C}$.

Кріоліт і глинозем дисоціюють: на катоді розряджаються іони Al^{3+} й утворюється алюміній, а на аноді іони O^{2-} , які окиснюють вуглець аноду до CO і CO_2 . Газові продукти реакції за допомогою вентиляції виводять з ванни.

На дні ванни збирається розплавлений алюміній 11, який періодично випомповують трубкою 8 до вакуумного ковша 9, під'єданого до вакуумної помпи за допомогою трубки 10. Ванна працює безперервно протягом $2\text{--}3$ років.

Для виробництва 1 т алюмінію необхідно витратити 2 т глинозему, $0,7\text{ т}$ анодної суміші, $0,1\text{ т}$ кріоліту та $16\text{--}18\text{ МВт}\cdot\text{год.}$ електроенергії. Затрати на електроенергію становлять 30% собівартості алюмінію, 50% припадає на сировину. Отже, щоб зменшити собівартість алюмінію, потрібно раціонально використовувати сировину та електроенергію.

Отриманий алюміній називають *первинним*. Він містить домішки заліза, кремнію, частинки глинозему, кріоліту та газів, а це все погіршує його властивості.

§ 30.2.4. Рафінування алюмінію

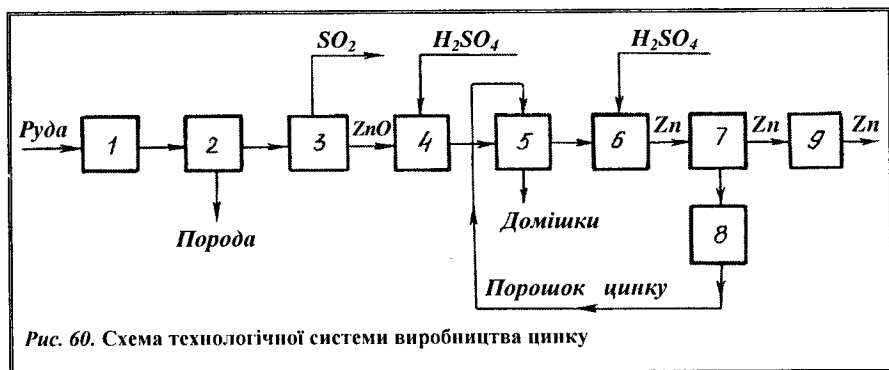
Щоб зменшити кількість домішок, первинний алюміній рафінують (див. рис. 58, елемент 7). Рафінування проводять продуванням розплавленого алюмінію хлором; електролізом; зонним переплавленням тощо.

1. Продування розплаву первинного алюмінію хлором. При цьому способі очищення алюмінію від домішок розплавлений алюміній продувають хлором протягом 10-15 хв. Для цього розплав нагрівають до 650-770°C. За цих умов утворюється хлористий алюміній – газ ($AlCl_3$). Хлористий алюміній у вигляді бульбашок виходить з розплаву і сприяє виведенню з нього частинок глинозему, кріоліту та газів. Після продування розплаву хлором його відстоюють 45 хв. Внаслідок такого рафінування втрачається до 1% алюмінію. Отриманий алюміній містить 0,15-0,5% домішок. Його розливають у виливниці (елемент 8).

2. Електролізний спосіб рафінування. Цей спосіб рафінування використовують для отримання дуже чистого алюмінію. Анод виготовляють з первинного алюмінію або з алюмінію, рафінованого хлором. Катод виготовляють з чистого алюмінію у вигляді пластин. Електролітом є розплави хлористих і фтористих солей.

3. Зонне переплавлення. Для отримання алюмінію особливої чистоти використовують зонне переплавлення. У процесі очищення за цим способом виливок алюмінію поміщують у графітовий човник, а все разом – у кварцову трубку, всередині якої є вакуум. Зовні вздовж трубки повільно зі швидкістю $0,000166 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ рухається вузький нагрівач. Це може бути один виток великочастотного індуктора, за допомогою якого у виливку створюється вузька (25-30 мм) розплавлена зона.

Зонне переплавлення проводять в одному напрямі 10-15 разів підряд. Найчистішою є середня частина виливка, крайні частини забруднені, з одного боку, елементами *Be, Ca, Cu, Pb, Cd, Sb* тощо, з іншого – *Cr, Mo, Ti, V, W*. Після зонного переплавлення алюміній має особливу чистоту. Його вміст становить 99,9999% алюмінію.



30.3. Виробництво цинку

Цинк має надзвичайно велике значення у промисловості. Близько половини всієї кількості цинку виробленого у світі витрачається на покриття виробів, виготовлених із залізобетонних сплавів для захисту їх від корозії. Із другої частини виплавляють сплави, які широко використовують у машинобудуванні.

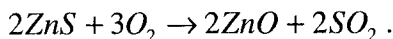
У Європі цинк почали виробляти в XV ст. До цього часу його ввозили з Ост-Індії та Китаю.

Електролізний спосіб виробництва цинку впроваджено в 1914 р. у США. У процесі отримання цинку цим способом використовують нерозчинний анод, який найчастіше виготовляють із **свинцю**. Катод виготовляють із **алюмінію**. Електролітом є розчин сірчано-кислого цинку, який отримують розчиненням цинкової руди в сірчаній кислоті.

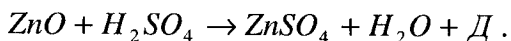
Цинкові руди складаються в основному із сполуки ZnS , яка погано розчиняється у сірчаній кислоті.

Схему технологічної системи виробництва цинку зображено на рис. 60. Вона складається з дев'яти елементів.

Для приготування електроліту руду подрібнюють у млинах (елемент 1), збагачують у спеціальному обладнанні (елемент 2) і випалюють для отримання ZnO , оскільки ZnS погано розчиняється в сірчаній кислоті. Руду випалюють у печах (елемент 3) за температури $650-750^{\circ}\text{C}$:



У процесі взаємодії оксиду цинку із сірчаною кислотою в агрегаті елемента 4 разом із цинком у розчин переходять також домішки (Д):



Отриманий розчин очищують від домішок за допомогою цинкового порошку (домішки відновлюються й осідають на дно). Розчин фільтрують на фільтрах (елемент 5) і зливають в електролізер (елемент 6), куди додають сірчану кислоту для підвищення електричної провідності електроліту. Концентрація цинку в електроліті становить 50–60 г/л, а сірчаної кислоти – 100–120 г/л. Збільшувати концентрацію сірчаної кислоти неприпустимо, оскільки зменшиться вихід за струмом. Електроліт нагрівають до температури 35–40°C. Напруга на ванні дорівнює 3,5 В.

У процесі електролізу (елемент 6) на алюмінієвому катоді розряджаються іони цинку, на свинцевому аноді – іони кисню. Процес відбувається безперервно. Через кожні 24 год. катоди замінюють на нові. Катодний цинк переплавляють у печі (елемент 7) і розливають у виливниці (елемент 9). Температура плавлення цинку становить 419,4°C. П'ять відсотків отриманого цинку переробляють на порошок (елемент 8). Цинк-порошок використовують для очищення електроліту від домішок. Чистота отриманого цинку становить 99,7–99,9%.

На виробництво 1 т цинку витрачається 3000–3500 кВт·год. електроенергії. Вихід за струмом дорівнює 88–94%.

Частина VI

Виробництво продукції машинобудування

***Розділ 31. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ
ПРО ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, ДОПУСКИ,
ПОСАДКИ, ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ
ТА ВИМІРЮВАННЯ***

Розділ 32. ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ЛИТТЯМ

Розділ 33. ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ТИСКОМ

Розділ 34. ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ ПОРОШКІВ

***Розділ 35. ВИГОТОВЛЕННЯ НЕРОЗБІРНИХ
З'ЄДНАНЬ***

Розділ 36. ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ РІЗАННЯМ

Розділ 37. СКЛАДАННЯ МАШИН

Машинобудування є провідною галуззю промисловості. Від рівня розвитку машинобудування залежить технічний прогрес усіх інших галузей. Основними галузями машинобудування є важке машинобудування, верстатобудування, енергетичне, сільськогосподарське, медичне, автотранспортне тощо.

Сировиною для виробництва продукції машинобудування є метали, сплави, пластмаси, гума та інші конструкційні матеріали, з яких виготовляють деталі, тобто найпростіші складові частини машин, обладнання тощо.

Складові частини машин виготовляють литтям, застосуванням тиску (кування, штампування тощо), зварюванням, різанням.

У машинобудуванні важливе значення належить технології виготовлення окремих деталей і складанню їх у вузли, механізми та вироби.

Виготовлення деталей, машин і виробів з конструкційних матеріалів полягає в наданні їм певної форми, точності розмірів і шорсткості поверхні. Під час складання деталі закріплюють, щоб забезпечити відповідне положення, встановлене кресленням, та якість спряжень.

Для виготовлення деталей і складання машин, механізмів, приладів тощо конструкційні матеріали обробляють на машино- та приладобудівних заводах.

Завод як система складається з окремих елементів, які називають цехами, службами та господарствами. Цехи заводу поділяють на основні, допоміжні та побічні.

Основні цехи призначені для виготовлення промислової продукції. Їх поділяють на заготівельні, обробні та складальні. До заготівельних цехів належать ливарні, ковальсько-пресові, до обробних – механічні, термічні. У складальних цехах складають і випробовують готові вироби (машини, прилади тощо).

Допоміжні цехи обслуговують основні цехи. До допоміжних належать ремонтний, інструментальний та інші цехи.

Побічні цехи здійснюють утилізацію відходів, які утворилися в процесі виготовлення продукції.

Кожне підприємство має свої *служби* та *господарства*, які поділяють на енергетичні, транспортні, санітарно-технічні, загальнозаводські та ін.

Кожна служба має своє призначення. Так, енергетична служба забезпечує підприємство енергією. До неї входять електростанції тощо.

Санітарно-технічна служба відає опаленням, вентиляцією, каналізацією, забезпечує підприємство водою тощо. До загальнозаводських служб належать лабораторії, заводоуправління, медичні пункти.

Важливими завданнями машинобудування є поліпшення технічного рівня якості продукції, підвищення її довговічності, надійності та технологічності і разом з тим зниження її собівартості, матеріальної енергомісткості.

Для виконання цих завдань потрібно мати:

- ✓ якісні та відносно дешеві конструкційні матеріали;
- ✓ нові та вдосконалені старі способи виготовлення заготовок і деталей;
- ✓ системи автоматизованого проектування, багатоопераційні верстати з програмним керуванням, робототехнічні комплекси тощо.



ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, ДОПУСКИ, ПОСАДКИ, ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ТА ВИМІРЮВАННЯ

31.1. Взаємозамінність, допуски, посадки та шорсткість поверхні

§ 31.1.1. Взаємозамінність

Навіть найпростіша машина складається з окремих деталей, вузлів. Для прискорення процесу складання чи

ремонту складові частини машин роблять взаємозамінними.

Взаємозамінністю називають властивість деталей, вузлів, агрегатів чи інших складових машин займати відповідне місце без будь-якої найменшої доробки, підбору або регулювання.

Взаємозамінні деталі, вузли чи агрегати виконують свої функції згідно із заданими технічними умовами.

Взаємозамінність може бути повною, неповною (частковою).

Повною взаємозамінністю буде тоді, коли під час складання чи ремонту деталі займають певне місце в машині без будь-якої доробки, підбору або регулювання та виконують при цьому свої функції згідно із завданими технічними умовами.

Неповна взаємозамінність спостерігається тоді, коли перед складанням або ремонтом потрібно попередньо розсортувати деталі за розмірами на кілька груп. Таких груп може бути три, п'ять і більше, що практикується для більшої точності з'єднань. Складання деталей, розміри яких знаходяться всередині однойменних груп, здійснюють за принципом повної взаємозамінності.

Повністю або частково взаємозамінними можуть бути, наприклад, блоки циліндрів тощо.

§ 31.1.2. Допуски

У процесі складання у вузол деталі повністю або частково входять одна в одну й утворюють з'єднання. Деталі мають певні розміри, які в машинобудуванні визначають у міліметрах.

Внутрішній елемент деталі називають **отвором**, зовнішній – **валом**. Назви «отвір» і «вал» умовні і стосуються не лише гладких циліндричних елементів.

Діаметр отвору позначають великою літерою **D**, а вала – малою **d** (рис. 61).

Розміри деталі, визначені залежно від її функціонального призначення, називають **номінальними** (від лат. «*nominalis*» – той, що існує лише на папері). Наприклад, діаметр отвору позначають **D_н**, а вала – **d_н**.

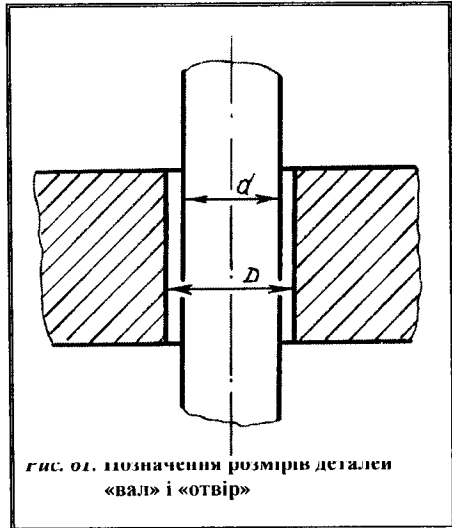
У процесі виготовлення деталей кожній із них надають певну форму, відповідні розміри та шорсткість поверхні. Проте навіть досить досконалі способи виготовлення деталей не можуть забезпечити абсолютну точність їх розмірів. Причиною цьому є чинники, пов'язані з неточним виготовленням різальних інструментів, нагріванням заготовок під час різання, неточним вимірюванням розмірів унаслідок неточності інструментів, низькою факховістю робітника (працівника) тощо.

Отже, виготовлені деталі мають розміри, які здебільшого не відповідають номінальним, тобто є неточними.

Точністю називають ступінь відповідності дійсних розмірів деталі номінальним.

Розміри деталі надані їй в процесі виготовлення називають **дійсними**.

Дійсні розміри можуть перевищувати або бути меншими за номінальні, тобто вони мають відхилення від номінальних. Тому для ко-



жного розміру деталі попередньо встановлюють обмеження, які визначаються двома граничними розмірами. Один із цих граничних розмірів найбільший $(_{нб})$ допустимий (наприклад, діаметри отвору $D_{нб}$ і вала $d_{нб}$), другий – найменший $(_{нм})$ (наприклад, $D_{нм}$, $d_{нм}$).

Допуском розміру називають різницю між найбільшим і найменшим граничними розмірами.

Допуск позначають латинськими літерами **IT** і визначають так:

- ♦ для отвору $IT = D_{нб} - D_{нм}$;
- ♦ для вала $IT = d_{нб} - d_{нм}$.

1. Квалітети. *Квалітетом називають сукупність допусків, які відповідають однаковому ступеню точності для всіх номінальних розмірів.*

Квалітети позначають так: **IT01, IT0, IT1, IT2, ..., IT17**.

Чим більший порядковий номер квалітету, тим більший допуск. Значення числа одиниць допусків для квалітетів від **IT5** до **IT17** подано в табл. 2.

Квалітети від **IT01** до **IT5** призначені переважно для калібрів. Їх використовують також для особливо точних деталей машин і приладів. Квалітети **IT10, IT11** і **IT12** використовують у процесі виготовлення сільськогосподарських машин, вагонів, а також для спряжень, які не потребують великої точності.

Квалітети з **IT14**-го по **IT17**-ий для спряжень не застосовують, їх використовують для вільних розмірів, а також під час встановлення допусків на відливки та поківки.

Підвищення вимог до точності виготовлення деталей машин повинно бути обґрунтованим, оскільки збільшуються витрати на їх виготовлення.

Таблиця 2

Квалітет	Число одиниць допуску
IT5	7
IT6	10
IT7	16
IT8	25
IT9	40
IT10	64
IT11	100
IT12	160
IT13	250
IT14	400
IT15	640
IT16	1000
IT17	1600

§ 31.1.3. Посадки

Посадкою називають характер з'єднання деталей, який визначається різницею розмірів отвору та вала, що створює більшу або меншу можливість відносного їх переміщення.

Залежно від розмірів з'єднувальних деталей посадки поділяють на рухомі, перехідні та нерухомі.

Рухомими називають такі посадки, при яких з'єднані деталі (вал, отвір) рухаються одна відносно іншої.

У цьому разі між деталями є **зазор**, наприклад, між поршнем і циліндром.

Зазор (S) визначають як різницю між розмірами діаметра отвору (D) і діаметра вала (d):

$$S = D - d.$$

Для кожної рухомої посадки встановлено крайні значення зазора, при яких посадка ще задовольняє поставлені до неї вимоги: один із цих зазорів найбільший, другий – найменший.

Найбільший і найменший можливі зазори визначають так:

$$S_{нб} = D_{нб} - d_{нм} ;$$

$$S_{нм} = D_{нм} - d_{нб} .$$

На практиці найбільші і найменші зазори трапляються рідко, найчастіше бувають проміжні зазори, близькі до середніх. Їх визначають як середнє арифметичне:

$$S_{сер.} = \frac{S_{нб} - S_{нм}}{2} .$$

Нерухомими називають такі посадки, при яких з'єднані деталі (вал, отвір) не рухаються одна відносно іншої.

Такі з'єднання утворюються тоді, коли діаметр отвору менший від діаметр вала. У процесі такого з'єднання виникає натяг, наприклад, втулка у верхній голівці шатуна.

Натяг (N) визначають як різницю між розмірами діаметра вала (d) і діаметра отвору (D):

$$N = d - D .$$

Для нерухомих посадок треба знати граничні значення натягів, при яких кожна посадка задовольняє поставлені перед нею вимоги.

Найбільший і найменший натяги визначають за формулами:

$$N_{нб} = d_{нб} - D_{нм} ;$$

$$N_{нм} = d_{нм} - D_{нб} .$$

Середні натяги визначають як середнє арифметичне:

$$N_{сер.} = \frac{N_{нб} + N_{нм}}{2}.$$

У процесі *перехідних посадок* після складання деталей у вузли можуть мати місце як зазори, так і натяги залежно від дійсних розмірів деталей. Ці посадки застосовують для нерухомих розбірних з'єднань.

§ 31.1.4. Шорсткість поверхні

Поверхні виробів, отримані різанням, завжди шорсткі.

Шорсткістю називають сукупність почергових виступів (гребенів) і западин на поверхнях виробів.

Форма виступів і западин, їх розміри і частота повторюваності залежать від різального інструмента, способу та режиму різання, матеріалу, з якого виготовлені заготовки тощо.

Шорсткість поверхні впливає на довговічність деталей машин, агрегатів, приладів. Велика шорсткість поверхонь спряжених деталей спричинює швидку зміну посадок. Щоб уникнути цього, потрібно зменшити шорсткість поверхонь. Проте дуже мала шорсткість може спричинити витиснення мастил, унаслідок чого тертя контактуючих поверхонь збільшиться; відповідно збільшиться й стирання поверхонь. Шорсткість поверхні впливає також на корозієстійкість виробів. У разі великої шорсткості корозійне середовище збирається на дні западин, нерівностей поверхні та спричинює корозійне руйнування виробів.

Шорсткість поверхні вимірюють за допомогою спеціальних приладів – *профілометрів*. На практиці для визначення шорсткості застосовують стандартні набори зразків порівняння з різною шорсткістю поверхні. Шорсткість поверхні можна записати на спеціальну стрічку за допомогою приладів – *профілографів*.

На рис. 62 зображено частину профілограми поверхні заготовки після різання. Базова довжина l – це відтінок поверхні, який вибрали для вимірювання шорсткості. Числове значення базової довжини вибирають з ряду чисел, мм: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25. Чим більша шорсткість поверхні, тим більшою вибирають базову довжину.

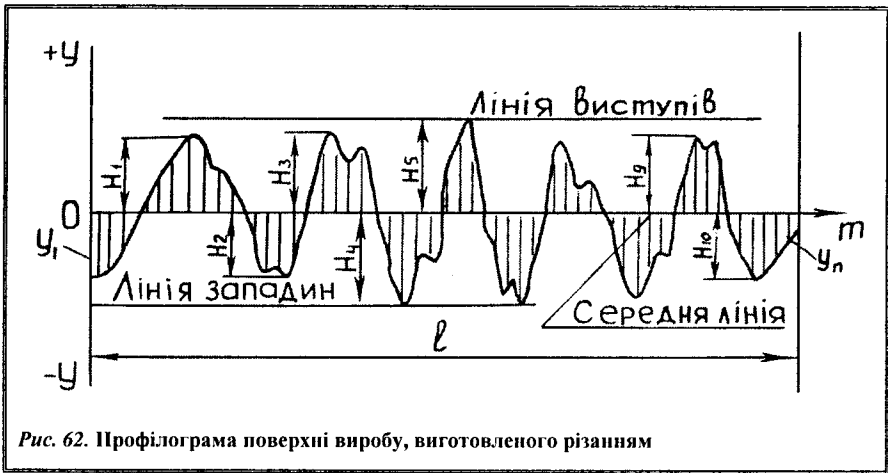


Рис. 62. Профілограма поверхні виробу, виготовленого різанням

Для визначення шорсткості поверхні використовують два основні параметри: середнє арифметичне відхилення профілю R_a та висоту нерівностей профілю за десятьма точками R_z .

Значення R_a визначають у мікрометрах як середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю (y) від середньої лінії (m) у межах базової довжини (l):

$$R_a = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \text{ або } R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

де n – число вибраних точок профілю на базовій довжині (l).

Висоту нерівностей профілю R_z визначають у міліметрах як відстань між п'ятьма вищими та п'ятьма нижчими точками профілю в межах базової довжини (l):

$$R_z = \frac{|(H_1 + H_3 + \dots + H_9)| - |(H_2 + H_4 + \dots + H_{10})|}{5},$$

де: $H_1, H_3, \dots, H_9$ – висоти виступів профілю;

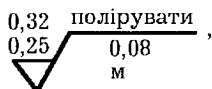
$H_2, H_4, \dots, H_{10}$ – глибини западин профілю.

На кресленні шорсткість поверхні майбутнього виробу позначають одним із трьох знаків:

√ – якщо не зазначають вид обробки, а лише граничні значення параметрів шорсткості;

- √ – якщо крім параметрів шорсткості зазначають вид обробки, наприклад, точіння, шліфування тощо;
- √ – якщо шорсткість поверхні збігається з тією, що мала заготовка (наприклад, відливка) після виготовлення.

На знаку зазначають параметри шорсткості, вид обробки: поверхні, базову довжину та умовне позначення напряму нерівностей згідно зі стандартом. Наприклад,



де: √ – знак, яким позначають шорсткість; 0,32, 0,25 – значення параметра R_a (символ R_a не зазначають), мкм; полірувати – вид обробки поверхні (зазначають лише тоді, коли ця обробка дає потрібну шорсткість поверхні); 0,08 – базова довжина, мм; **М** – умовне позначення довільного напрямку нерівностей (крім «**М**» може бути ще таке позначення нерівностей: = (паралельне); ⊥ (перпендикулярне); Х (перехресне); С (колове) тощо.

Згідно зі стандартом встановлено 14 класів шорсткості, з яких 1-му класу відповідає найшорсткіша поверхня, яку отримують після фрезрування тощо. Висота виступів над середньою лінією досягає 320 мкм. Чотирнадцятому класу шорсткості відповідає поверхня після спеціального притирання, алмазного полірування. Висота виступів дорівнює 0,05 мкм.

31.2. Вимірювальні інструменти

Вимірювання геометричних форм і розмірів деталей має дуже важливе значення в сучасному машинобудуванні. Вимірюють довжину та товщину деталей, діаметри (зовнішні та внутрішні), паралельність сторін, кути, шорсткість поверхні та ін.

Оцінка точності форми та розмірів виготовленої деталі залежить від ступеня точності вимірювань.

Вимірювання необхідно проводити за температури 20°C з одним натиском інструмента на заготовку чи деталь.

Контрольно-вимірювальні інструменти за призначенням поділяють на універсальні та спеціальні. Найчастіше використовують універсальні вимірювальні інструменти.

Універсальні вимірювальні інструменти призначені для вимірювання лінійних розмірів (довжин, товщин, діаметрів) та кутів. Їх поділяють на прості засоби вимірювання (лінійки, кронциркулі тощо), штрихові, розсувні інструменти з лінійним ноніусом (штангенінструменти, універсальні кутоміри), мікрометричні інструменти (мікрометри, глибиноміри тощо), оптичні прилади (інструментальні мікроскопи, вимірювальні мікроскопи тощо).

За допомогою універсальних інструментів можна виміряти лінійні та кутові розміри з різною точністю. Один і той самий інструмент або прилад можна використати для вимірювання різних розмірів. Завдяки цій особливості вимірювальні універсальні інструменти застосовують під час ремонту. Тут вони поки що є основним засобом контролю розмірів.

Найпростіший інструмент для вимірювання лінійних розмірів – **металева лінійка** з міліметровими поділками. Довжина лінійки може бути 100–1000 мм. Лінійки використовують для не дуже точних вимірювань, наприклад, для вимірювання розмірів заготовок. Точність вимірювань лінійкою становлять 0,5 мм.

Для вимірювання великих заготовок використовують металеві складні метри та металеві рулетки.

Штангенциркулі належать до розсувних інструментів. За допомогою штангенциркулів вимірюють зовнішні та внутрішні розміри, а також глибину та висоту. Штангенциркулями можна виміряти розмір з точністю до 0,1; 0,05 і 0,02 мм.

Робота **мікрометрів** ґрунтується на перетворенні обертового руху в лінійний. Їх використовують для точного вимірювання довжини, ширини та діаметра виробів. Мікрометром можна виміряти розмір з точністю до 0,01 мм.

Інструментальні мікроскопи призначені для вимірювання кутів і лінійних розмірів різьових калібрів, мітчиків, фасонних різців тощо.



ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ЛИТТЯМ

32.1. Загальні відомості **про виготовлення виробів литтям**

Лиття – один з найдавніших і найпоширеніших способів виготовлення виробів і заготовок для деталей машин і механізмів.

Литтям називають виготовлення заготовок для виробів заповненням, наперед виготовлених ливарних форм, розплавленим металом, сплавом або іншим конструкційним матеріалом.

Після кристалізації й охолодження металу або сплаву виріб витягують з форми та передають на механічне оброблення.

Відливками називають вироби, виготовлені литтям.

Ливарні форми можуть бути разовими та багаторазовими. **Разові форми** використовують лише один раз; для звільнення відливка від форми останню руйнують. **Багаторазові форми** використовують сотні й тисячі разів; відливки витягують з форми витрушуванням або виштовхуванням.

Перші вироби, отримані литтям, належать до III–II тис. до н. е. Спочатку вироби виливали з бронзи, потім із чавуну. Значного розвитку чавунне лиття набуло в XIII–XIV ст. Деталі, вилиті зі сталі, отримали лише в XIX ст., з алюмінієвих і магнієвих сплавів – кілька десятків років тому. Тепер виливають відливки з нержавіючих і жароміцних сталей, магнітних та інших сплавів з особливими властивостями.

Найдавнішим виробом, отриманим литтям, який маємо в Україні, є дзвін. Його відлито і 1341 р. Тепер він знаходиться на дзвіниці Свято-Юрського собору у Львові. Маса цього дзвону становить 415 кг.

Галузь машинобудування, яка займається виготовленням виробів литтям, називають **ливарним виробництвом**.

Жодна галузь машино- та приладобудування не обходиться без деталей, виготовлених литтям. Частка деталей, виготовлених литтям, у машинах становить близько 50%, а у верстатах – близько 80%. Литтям виготовляють блоки циліндрів і поршні двигунів внутрішнього згоряння, лопаті газових турбін тощо.

Найбільшу кількість відливоків – близько 70% загальної маси – виливають із сірого чавуну, далі йдуть сталеві відливки, відливки з мідних, алюмінієвих та інших сплавів.

32.2. Ливарні сплави та їх властивості

Чисті метали мають незначні ливарні властивості, тому з них не виготовляють відливоків. Із сплавів для виготовлення відливоків використовують лише ті, які мають добрі ливарні властивості.

Ливарними сплавами називають ті сплави, які мають добрі ливарні властивості.

До них належать чавуни, сталі, бронзи, сілюміни тощо.

Найважливіші ливарні властивості сплавів – текучість розплаву, усадка, ліквация, температура плавлення.

Текучістю називають здатність розплаву швидко заповнювати порожнину ливарної форми.

За доброї текучості розплав точніше відтворює внутрішню конфігурацію форми, ніж за поганої. Найтекучішими є евтектичні сплави. Текучість сплавів залежить від температури нагрівання: з підвищенням температури текучість розплавів зростає. У процесі виготовлення відливоків використовують сплави з оптимальною економічно вигідною температурою плавлення.

Усадкою називають властивість розплавів зменшувати свій об'єм при охолодженні від температури заливання до кімнатної.

Усадка залежить від хімічного складу сплаву, температури заливання розплаву та інших чинників. Розрізняють усадку об'ємну та лінійну. Так, лінійна усадка сірого чавуну дорівнює 1%, сталі – 2%. Усадка спричиняє утворення раковин, пор, тріщин у відливках.

Ліквациєю (від лат. «*liquatio*» – розтоплення, розплавлення) називають неоднорідність хімічного складу сплаву в різних частинах відливка після кристалізації й охолодження до кімнатної температури.

Ліквация залежить від хімічного складу сплавів і швидкості охолодження відливка. Так, у чавунах і сталях сірка, фосфор і вуглець збираються у верхній і центральній частинах відливка. Важкі компоненти сплавів (*Pb*, *Sn* та ін.) збираються у нижній частині відливка. Ліквациї запобігають перемішуванням розплавів перед заливанням у форми та прискореним охолодженням у процесі кристалізації.

Ліквация істотно впливає на властивості відливка: чим вона менша, тим кращі механічні властивості відливка.

1. **Чавуни.** Для виготовлення відливків використовують сірий і білий чавуни. Основну масу відливків виробляють із сірого чавуну. Це пояснюється його невеликою вартістю (порівняно з іншими сплавами), добрими ливарними властивостями, відносно невисокою температурою плавлення (1100-1200°C); великою текучістю розплаву, незначною усадкою (близько 1%). Відливки, отримані із сірого чавуну, майже в 1,5 рази дешевші, ніж зі сталі, і в кілька разів дешевші, ніж відливки із сплавів кольорових металів. Для виготовлення відливків використовують *сірий чавун*, який містить 2,7-3,6% *C*, 1,5-3,5% *Si*, 0,4-1,0% *Mn*, до 0,3% *P* і до 0,1% *S*. Із чавуну виготовляють деталі машин і механізмів, які не зазнають великих ударних навантажень.

Шихта складається з твердого чавуну або сталевго скрапу, феросплавів, палива (коксу) і флюсів у певних пропорціях.

У ливарних цехах чавун плавлять переважно в печах стовбурного типу, які називають *вагранками*.

2. **Сталі.** Порівняно з чавунами розплавлені сталі мають гірші ливарні властивості: меншу текучість, що утруднює заповнення ливарної форми, більшу усадку ($\geq 2\%$), вищу температуру плавлення (1400-1540°C). Проте добрі механічні властивості сталевих відливок надають сталі широкого використання в ливарному виробництві.

Відливки виробляють із доевтектонічних вуглецевих сталей, які містять до 0,8% *C*.

Крім вуглецевих сталей відливки виробляють із конструкційних легованих сталей, зносостійких та інших сталей з особливими властивостями.

Для ливарних цехів сталь виплавляють у кисневих конвертерах, мартенівських та електричних печах.

3. **Сплави кольорових металів.** Для виготовлення відливків використовують мідні, алюмінієві та інші сплави, які мають добрі ливарні властивості.

Мідні сплави розплавляють у дугових, індукційних і полумєневих печах. Полумєневі печі використовують рідше, оскільки в них витрачається багато палива, а пічні гази окиснюють мідні сплави.

Для розплавлення алюмінієвих сплавів використовують електричні печі спеціальної конструкції.

32.3. Лиття в разові ливарні форми

Найпоширенішими способами лиття в разові форми є лиття в піщано-глиняні форми; лиття в оболонкові форми та у форми, виготовлені за моделями, які витоплюються, розчиняються або перетворюються на газ. Найбільшу кількість відливків виробляють у піщано-глиняних формах.

§ 32.3.1. Лиття в піщано-глиняні форми

Для виготовлення піщано-глиняних форм необхідно мати формову та стрижневу суміші,

модельний комплект для виготовлення форми, опоки, підмодельну плиту тощо.

1. **Формові та стрижневі суміші.** Для виготовлення форм і стрижнів використовують лише ті суміші, які мають велику пластичність, міцність, вогнетривкість і газопроникність. **Пластичність** потрібна суміші в процесі формування, **міцність** – для запобігання руйнуванню форми під час зберігання чи заливання розплавом, **вогнетривкість** – для витримування формою високої температури, яку має розплав, а **газопроникність** – для випускання водяної пари та газів, що утворилися під час дотику розплаву до вологої форми.

Під час заливання розплаву стрижні перебувають у складніших умовах, ніж форми, тому вимоги до стрижневих сумішей більші, ніж до формових.

Формові та стрижневі суміші складаються з піску, глини, проти-пригарних і зв'язувальних речовин.

Пісок – основна сировина для виготовлення разових ливарних форм і стрижнів. Найчастіше використовують кварцовий пісок, основним складником якого є кремнезем (SiO_2). Кремнезем має велику вогнетривкість ($t_{\text{пл.}} = 1713^\circ\text{C}$), твердість і хімічну стійкість.

Глина виконує роль зв'язки в процесі виготовлення формових сумішей. Після зволоження глина стає більш пластичною. У ливарному виробництві використовують каолінові ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) та бентонітові ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O \cdot nH_2O$) глини. Бентонітові глини мають кращі зв'язувальні властивості, ніж каолінові, оскільки в них молекули води утримуються не лише на поверхні, а й усередині частинок.

Для поліпшення властивостей піщано-глиняних сумішей до їх складу додають кам'яновугільний пил, подрібнений кварц, розчин скла тощо.

Кам'яновугільний пил додають до суміші, з якої виробляють форми для чавунних відливок. У процесі заливання розплавленого чавуну пил згоряє й утворені гази захищають розплав від окиснення та пригорання до форми.

Подрібнений кварц запобігає пригорянню форми до сталевих відливок.

Розчин скла (водний розчин силікату натрію ($Na_2O \cdot nSiO_2$) або силікату калію ($K_2O \cdot mSiO_2$)) надає формовій суміші міцності.

Синтетичні смоли виконують роль зв'язувальних речовин. Найчастіше використовують карбамідні, фенольні та інші смоли. Основна вимога до сумішей, які містять синтетичні смоли, – відсутність або мінімальна кількість виділення отруйних речовин під час виготовлення та використання форм і стрижнів.

Формові суміші поділяють на лицевальні, наповнювальні та загальні.

Лицевальна суміш безпосередньо стикається з розплавом, товщина її шару залежить від розміру моделі й становить 20–50 мм. Для виготовлення лицевальних сумішей використовують свіжі пісок і глину. Ця суміш є найякіснішою.

Наповнювальна суміш призначена для набивання решти форми. Вона складається з оборотної суміші (тієї, яка була у використанні). У процесі машинного формування форму виготовляють із загальної суміші, до якої ставляться ті самі вимоги, що й до лицевальних сумішей.

Стрижневі суміші складаються з кварцового піску та зв'язувальних речовин, якими є глина, мінеральні мастила, розчин скла, синтетичні смоли тощо.

Приготування свіжих формових і стрижневих сумішей складається з таких операцій: висушування піску, глини та інших складників, розмелювання глини, кам'яного вугілля, просіювання та змішування з раніше вживаною сумішшю та іншими речовинами і розпушування. Усі операції механізовані.

2. Оснащення для виготовлення ливарних форм. Для виготовлення разових форм необхідно мати модельний комплект, опоки та підмодельну плиту.

***Модельним комплектом** називають набір пристроїв, необхідних для утворення ливарної форми.*

Він складається з моделі відливка, стрижневих скриньок, моделі ливникової системи тощо.

***Моделлю** називають зразок, за допомогою якого у формовій суміші відтворюють форму зовнішньої поверхні майбутнього відливка.*

За формою модель нагадує відлинок. Розміри моделі перевищують розміри майбутнього відливка на величину лінійної усадки металу чи сплаву та на величину припуску для різання в процесі виготовлення з відливка деталі. Моделі можуть бути разові та багаторазові.

***Разові моделі** виготовляють з матеріалів, які легко витоплюються (наприклад, віск, парафіно-стеаринова суміш), розчиняються (карбамід з добавкою поліефірного спирту) або перетворюються в газ (полістирол).*

***Багаторазові моделі** виготовляють з деревини, металевих сплавів і пластмас. Дерев'яні моделі виготовляють: із сосни, ясена, бука тощо. Це дешеві моделі, але не довговічні; витримують лише кілька десятків формувань. Ці моделі використовують в одиничному та малосерійному виробництві. Металеві моделі найчастіше виробляють з алюмінієвих сплавів і чавуну. Вони мають точніші розміри і меншу шорсткість поверхні. Металеві моделі використовують для виготовлення форм, а в них – відливків у великосерійному виробництві. Пластмасові моделі легші порівняно з дерев'яними та металевими, стійкіші до дії вологи під час користування та зберігання.*

Моделі бувають суцільні та збірні. Збірні моделі складаються з двох, трьох і більше частин, їх застосовують там, де за умов формування не можна використовувати суцільну модель.

Стрижневими скриньками називають пристрої для виготовлення стрижнів. За допомогою стрижнів отримують форму внутрішньої порожнини відливка.

Скриньки виготовляють із таких самих металевих сплавів, що й моделі. Для виготовлення відливка складної форми потрібно мати кілька різних стрижнів і відповідно стрижневих скриньок.

Опоками називають рами, в яких ущільнюють формову суміш.

Їх виготовляють із чавуну, сталі або алюмінієвих сплавів. Залежно від форми відливка опоки можуть бути прямокутними, круглими або фасонними. Великі опоки мають перегородки для утримування формової суміші. Для виготовлення відливків складної форми використовують форми, які складаються з кількох частин. Кожну частину форми виготовляють в окремій опоці. У процесі складання форми опоки скріплюють штирями, які вставляють в отвори.

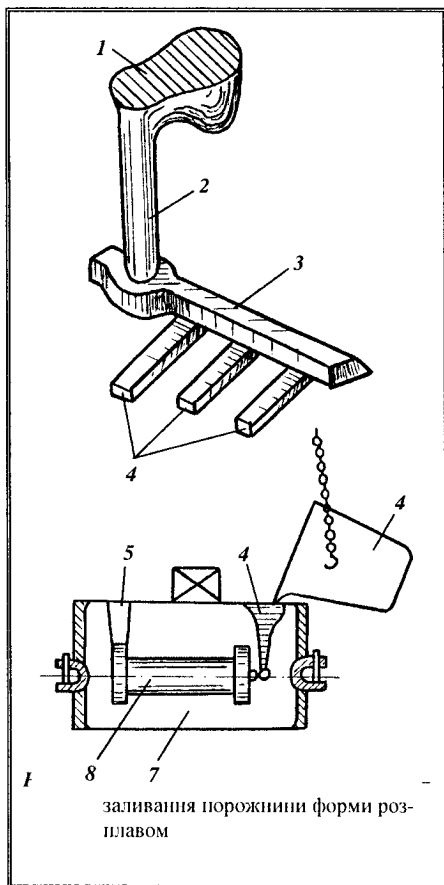
Підмодельною плитою називають підставку, на якій кріплять постійні або змінні моделі.

Підмодельні плити з постійно закріпленими моделями використовують у масовому виробництві. Підмодельні плити із змінними моделями використовують у разі частої зміни моделей.

Розплавлений сплав заливають у порожнину ливарної форми за допомогою ливникової системи.

Ливниковою системою називають сукупність каналів, призначених для подання розплаву в порожнину форми.

Ливникові системи мають різну конструкцію. Вибір системи залежить від розмірів, маси та



складності форми відливка. Елементами ливникової системи (рис. 63,а) є чаша **1**, яка під час заливання форми розплавом має бути повною, щоб повітря та шлак не потрапляли в порожнину форми; стояк **2**, звужений донизу, щоб запобігти засмоктуванню повітря у форму; шлаковловлювач **3**, розміщений вище каналів **4**, по яких надходить розплав у порожнину форми. Шлаковловлювач призначений для затримування шлаку. Випори **5** (рис. 63,б) забезпечують вихід повітря та газів. За їх допомогою контролюють закінчення заливання форми розплавом. Малі відливки виготовляють у формах без випорів.

3. Виготовлення форм і стрижнів. Форми виготовляють ручним і машинним способами. Машинне формування – основний спосіб виготовлення форм у ливарному виробництві. Частка ручного формування становить менш як 8% і постійно скорочується. Ручне формування дуже трудомісткий і малопродуктивний спосіб виготовлення ливарних форм. Його використовують для виготовлення окремих відливків або невеликих партій.

Розглянемо технологічний процес виготовлення форми в двох опоках. Це найпоширеніший спосіб ручного формування для малих і середніх за розмірами відливків.

Для виготовлення нижньої півформи на підмодельну плиту встановлюють половину моделі (наприклад, втулки), опоку і засипають формову суміш, ущільнюють і спеціальною голкою роблять отвори для виходу газів. Цим закінчується формування однієї півформи.

Далі півформу перевертають, підмодельну плиту разом з моделлю знімають і приступають до виготовлення другої півформи. Другу півформу виготовляють так само, як і першу. Внутрішні поверхні півформи очищають від випадкових частинок формової суміші стисненим повітрям і починають складати. Для утворення ливника та випору вставляють їх моделі.

Складання форми – дуже відповідальний процес, оскільки від цього залежить точність розмірів відливка. Положення опок в процесі складання форми фіксується штирями. У форму вставляють окремо виготовлений стрижень для утворення внутрішньої поверхні у відливку (у разі потреби).

Машинне формування у порівнянні з ручним прискорює роботу в 10-25 разів і забезпечує ліпшу якість форми, а відповідно і відливків, зменшує брак, поліпшує умови праці формівників. У ливарних цехах

працюють напівавтоматичні й автоматичні формувальні установки, потокові та автоматичні лінії.

Піщано-глиняні форми можуть бути сирими та сухими.

Сирі форми виготовляють із піщано-глиняної суміші, яка містить 10-12% глини та 4-5% води. Така формова суміш є пластичною, добре формується і легко вибивається. Собівартість сирої форми мала. Головні *недоліки* сирих форм – невелика міцність і збільшена вологість, що спричинює дефекти у відливках. Сирі форми використовують для виготовлення малих і середніх за розмірами відливок у серійному та масовому виробництві.

Сухі форми виготовляють із сумішей, які містять 10-20% глини. Ці форми сушать у печах за температури 250-430°C. Температура висушування залежить від складу формової суміші. У разі надмірно високої температури зв'язувальні речовини (термореактивні смоли тощо) у формових сумішах руйнуються.

Висушування триває 1-10 годин залежно від товщини стінок форми. Після висушування форми набувають міцності. У таких формах одержують великі та якісні відливки.

Стрижні виготовляють у стрижневих скриньках. Скриньки набивають стрижневою сумішшю (ручним або машинним способом). Перед набиванням робочі поверхні скриньки очищують і наносять захисний шар, щоб запобігти налипанню суміші до стінок скриньки; потім скриньку збирають і скріплюють. Порожнину скриньки поступово наповнюють сумішшю й утрамбовують. У стрижнях, як і у формах, роблять газовиводи. У криволінійних стрижнях газовиводи виготовляють за допомогою воскових гнотів, які розтоплюються в процесі сушіння. Для збільшення міцності стрижнів, їх армують дротом. Після завершення формування стрижня скриньку розбирають, стрижень виймають. Для надання міцності стрижням їх висушують.

Якщо до складу стрижневої суміші додають термореактивну смолу, то такі стрижні виготовляють у металевих скриньках, нагрітих до температури 250-280°C. Під дією теплоти смола полімеризується, твердне і стрижень набуває потрібної міцності.

4. Заливання форм розплавом. Розплав заливають у форми за допомогою ковшів **6** (див. рис. 63,б). Перед заливанням у форми розплав певний час витримують у ковші для виходу газів з розплаву, спливання шлаку та неметалевих включень на поверхню.

Розплав у форму **7** заливають безперервним потоком, литникова чаша **1** повинна бути заповненою. Якщо не дотримуватися цих ви-

мог, то розплав у формі може окиснюватися, а у відливках будуть виникати дефекти – спаї.

Після заповнення форми розплав кристалізується, відливок δ застигає. Тривалість охолодження відливка залежить від його маси, виду сплаву, властивостей формової суміші і становить від кількох хвилин до кількох годин або навіть діб. Тривале охолодження економічно не вигідне, тому іноді охолодження прискорюють, наприклад, форму обдувають холодним повітрям. Дрібні чавунні відливки можна витягати з форм за температури $700-800^{\circ}\text{C}$, середні – за температури $400-500^{\circ}\text{C}$.

Застиглий відливок вибивають із форми за допомогою вібраторів та інших машин; стрижні вибивають вручну або на пневматичних машинах чи в гідрокамерах струменем води під тиском $3-10\text{ МПа}$.

Ливники та випори відокремлюють від сталевих відливоків газовим різанням, а від чавунних – зубилами, пилами тощо.

Поверхню відливоків від залишків формових і стрижневих сумішей очищають за допомогою піску та шротин у спеціальних апаратах – піскометах і шротинометах. Застосовують також піскогідравлічне очищення, при якому струмінь води з піском під тиском $\geq 7\text{ МПа}$ спрямовують на відливок.

§ 32.3.2. Лиття в оболонкові форми

У процесі цього способу лиття відливки отримують у тонкостінних формах-оболонках товщиною $6-15\text{ мм}$. Оболонкові форми виготов-

ляють із піщано-смоляних сумішей: пісок з мінімальним вмістом глини та термореактивна смола, яка виконує роль зв'язки. У процесі нагрівання піщано-смоляних сумішей до температури $100-200^{\circ}\text{C}$ смола розплавляється, перетворюється на клейку масу і покриває поверхню зерен піску тонкою плівкою; за температури 250°C смола твердне і суміш набуває монолітності, а форма – міцності.

Лиття в оболонкові форми застосовують за умов масового та серійного виробництва невеликих за розміром, переважно тонкостінних, відливоків з чавуну, сталі та сплавів кольорових металів.

Для виготовлення оболонкової форми необхідно мати формову та стрижневу суміші, модель, підмодельну плиту, скриньки для формування стрижнів, пристрої для зняття форми-оболонки з поверхні мо-

делі. Моделі та стрижневі скриньки виготовляють із сірого чавуну, іноді – з алюмінієвих сплавів.

На рис. 64 показано схему виготовлення оболонкової форми.

На металеву підмодельну плиту **1** кріплять модель **2** і все разом нагрівають до 200-250°C у печі (рис. 64, *а*). Потім модель покривають тонким шаром кремнійорганічної або іншої сполуки. Утворений шар захищає модель від налипання формової суміші і полегшує зняття форми-оболонки з моделі. Пливу з моделлю закріплюють на бункері, в якому міститься формова суміш **3** (рис. 64, *б*). Бункер повертають разом із плитою на кут 180°, формова суміш покриває нагріту модель (рис. 64, *в*). Шар суміші, який прилягає до нагрітої моделі, нагрівається, смола топиться і твердне. За 10-20 с модель покривається суцільною оболонкою **4** товщиною 5-15 мм.

Потім бункер повертають у початкове положення (рис. 64, *г*), знімають підмодельну плиту з моделлю й оболонкою (рис. 64, *д*) та кладуть у піч (рис. 64, *е*), нагріту до температури 300-350°C, на 1-3 хв. для остаточного затвердіння смоли. Надлишок суміші залишається в бункері. Готову оболонку знімають з моделі штовхачем і отримують півформу. Так само виготовляють другу частину форми-оболонки. Потім півформи склеюють або з'єднують за допомогою затискачів, вставляють виготовленні стрижні та передають на заливання розплавом. Малі форми перед заливанням вкладають на шар піску, великі, щоб запобігти руйнуванню, вставляють у металеві контейнери; проміжок між стінками контейнера та формою засипають піском або чавунними шротинами. У процесі заливання форми розплавом смола згоряє, утворені гази захищають поверхню відливка від пригорання до форми. З часом форма втрачає міцність і руйнується, що полегшує звільнення відливка від форми. Формову суміш випалюють за температури 700-800°C (для повного вигорання смоли) і повертають на формування.

Лиття в оболонкові форми порівняно з литтям в піщано-глиняні має такі *переваги*:

- ✓ простота звільнення відливка від форми (смола вигоряє, пісок розсипається і форма втрачає монолітність);
- ✓ менша шорсткість поверхні відливків (для виготовлення форми та стрижнів використовують дрібнозернистий пісок);
- ✓ точніші розміри відливків, тому відпадає потреба в обробленні їх різанням на верстатах або скорочується час різання;

- ✓ менше браку, оскільки ліпша газопроникність оболонкових форм;
- ✓ менші витрати піску у 8-10 разів і немає потреби в опоках;
- ✓ висока продуктивність формування;
- ✓ можна легко автоматизувати.
- ✓

§ 32.3.3. Лиття у форми, виготовлені за разовими моделями

Лиття у форми, виготовленні за разовими моделями є одним з найдавніших способів виготовлення точних відливок.

Колись цим способом виготовляли прикраси, скульптури тощо. Нині його найчастіше застосовують для виготовлення відливок із сплавів, які важко обробляти різанням і тиском (лопаті турбін із жароміцних і жаростійких сталей тощо).

Суть цього способу полягає в тому, що за суцільною моделлю виготовляють суцільну форму, в яку після звільнення від моделі або при наявності моделі з полістиролу заливають розплав. Відливки, отримані цим способом, мають дуже точні розміри і малу шорсткість поверхні, завдяки чому відпадає потреба обробляти їх різанням на верстатах.

Для отримання відливок цим способом необхідно мати: **прес-форму** для виготовлення моделей майбутніх виробів і ливникової системи; **сировину** для формування моделей виробів, ливникової системи та ливарних форм.

Прес-форми виробляють з алюмінієвих та інших сплавів, моделі виробів і ливникової системи – з легкотопких, легкорозчинних і тих,

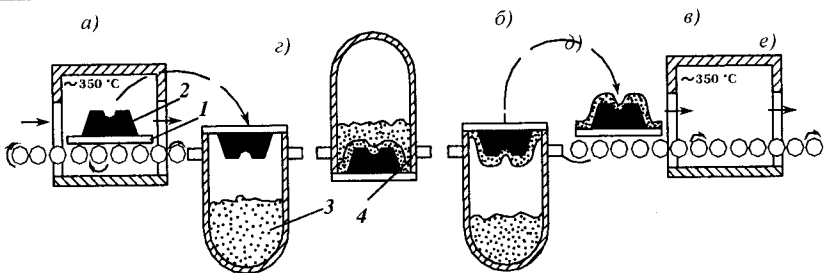


Рис. 64. Схема виготовлення оболонкової форми

які при нагріванні перетворюються на газ, речовин, а форми – із суспензії на основі кварцового піску або кварцового порошку. Спочатку у прес-формах виготовляють разові моделі, потім ливарні форми, а після цього – відливки у формах.

1. Виготовлення разових моделей. Модельна суміш може складатися з різних *легкотопких* речовин: парафіну, стеарину, воску та ін. Часто використовують суміш, яка складається з 50% парафіну та 50% стеарину. Її температура топлення становить 55°C. Недоліком цієї суміші є те, що за температури 35°C вона розм'якшується, а відповідно втрачає міцність. Вищу міцність мають суміші, до складу яких входять парафін з етилцелюлозою.

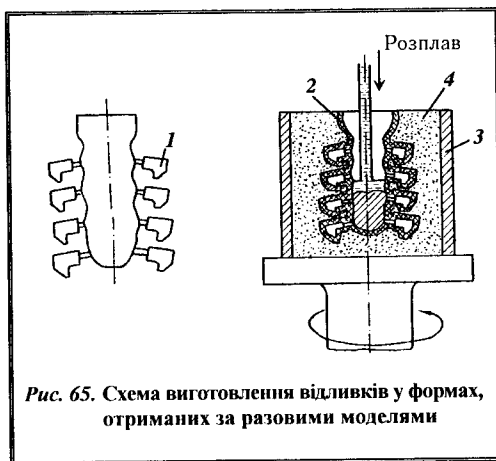
Легкорозчинні моделі виробляють із сумішей на основі карбаміду (сечовини) з додаванням поліефірного спирту. Вони легко розчиняються в теплій воді. У формах виготовлених за такими моделями у деяких випадках отримують якісніші відливків ніж у попередніх.

Моделі, які при нагріванні *перетворюються на газ*, виготовляють із полістиролу. Їх не витягують із форм перед заливанням розплаву. За температури понад 500°C полістирол перетворюється на газ. Використання полістиролових моделей є прогресивним шляхом удосконалення цього способу виготовлення відливків. Це значно спрощує формування, робить його дешевшим; крім того, отримані відливки є якіснішими.

Моделі відливків виготовляють запресуванням тістоподібної модельної маси у прес-форму. Так само виробляють ливникову систему. На великих заводах моделі та ливникову систему виготовляють на напів-автоматичних та автоматичних установках.

Моделі **1** збирають у блоки по кілька або декілька штук (рис. 65,а) і приступають до виготовлення ливарної форми.

2. Виготовлення ливарних форм. Форми виготовляють із суміші, яка складається з 60-70% кварцового піску та 30-40% гідролізованого етилсилікату. Для виготовлення ливарної форми блок моделей (рис. 65, а) занурюють у формову суміш. Надлишок суміші стікає, а на моделях, елементах ливникової системи залишається тонка плівка формової суміші, яку висушують на повітрі протягом 2-4 год. Висушування можна скоротити до 3-5 хв., якщо його проводити в «псевдокиплячому шарі» сілікагелю. Одночасно підвищується якість форми.



Покриття наносять кілька разів, поки не отримають форму 2 (рис. 65,б) потрібної товщини ($\geq 2,5-3$ мм).

Звільняють форму від моделі різними способами. Наприклад, легкотопкі (парафіно-стеаринові моделі) витоплюють у ваннах з гарячою водою (90°C). Це простий спосіб: модель із нанесеною на неї формовою сумішшю кладуть у гарячу

воду, модельна суміш розтоплюється і витікає у воду (90-95% цієї суміші придатні для повторного використання). Проте тривале перебування форми у гарячій воді зменшує її міцність. Використання рідин, які мають високу температуру кипіння, наприклад, полігліколів, скорочує час витоплення моделі та поліпшує якість форми. Оскільки форму отримують недостатньо міцною, її поміщують у піч і випалюють за температури $800-900^{\circ}\text{C}$. Формова суміш перетворюється на моноліт, а форма стає міцнішою.

3. Виготовлення відливків. Щоб запобігти руйнуванню випалених форм під час заливання розплавом форми встановлюють в опоки 3 (рис. 65, б). Простір між стінками форми й опоки засипають піском 4, ущільнюють вібруванням і нагрівають до температури 800°C . Розплав заливають у гарячі форми відразу після їх випалення. Таким способом виготовляють тонкостінні відливки. Після кристалізації сплаву та застигання відливка форму руйнують. Для зняття залишків керамічної форми в отворах, різі та інших важкодоступних місцях відливки кип'ятять у розчинах лугів, а потім промивають у гарячій воді. Можна застосовувати очищення металевими щітками та іншими способами.

32.4. Лиття в багаторазові ливарні форми

Спільним *недоліком* способів лиття в разові ливарні форми є те, що форми використовують лише один раз і для того, щоб витягнути відливки, форму руйнують.

У формах багаторазового використання можна виготовити сотні тисяч штук відливків. Ці форми виготовляють із чавуну, сталі, алюмінієвих та інших сплавів.

Використання багаторазових форм у ливарному виробництві має ряд *переваг* порівняно з литтям у разові форми:

- ✓ відсутність стрижневих і формових сумішей, модельно-опокowego обладнання, дільниць для звільнення форми від моделі та вибивання форм;
- ✓ зменшення кількості пилу в ливарному цеху та поліпшення санітарних умов праці;
- ✓ обслуговування багаторазових форм не потребує фахових робітників;
- ✓ вища продуктивність праці;
- ✓ отримані відливки мають велику щільність, а також точність розмірів і малу шорсткість поверхні, що скорочує або зовсім виключає механічне оброблення їх на різальних верстатах.

Проте лиття в металеві форми має *недоліки*: велику вартість металевих форм, через що їх застосовують лише в серійному та масовому виробництві; деякі форми важко виготовити для відливків складної конфігурації тощо.

Серед відомих способів лиття в багаторазові форми найширше застосовують лиття в кокіль, відцентрове лиття, лиття під тиском тощо.

1. Підготовки металевих форм до заливання розплавом.
Перед заливанням розплав у форму на її внутрішню поверхню, яка контактує з розплавом, *наносять вогнетривке покриття* або спеціальну фарбу, щоб збільшити тривалість використання форми, поліпшити поверхню відливка, полегшити звільнення відливка від форми, а в разі отримання сталевих відливків – запобігти поверхневому гартуванню.

Потім форми *нагрівають* до температури 100-300°C. Нагрівання форми полегшує заповнення її розплавом і захищає від перед-

часного руйнування внаслідок великої різниці температури форми та розплаву.

Металеві форми на відміну від разових не газопроникні, тому для запобігання утворенню браку у форми *вставляють газовиводи* у вигляді трубок або форму чи розплав вакуумують.

§ 32.4.1. Лиття в кокіль

Кокілем (від франц. *«coquille»* – черепашка, мушля) *називають ливарну форму багаторазового використання, у якій отримують відливки.*

Форма може бути суцільною або збірною.

Суцільні кокілі використовують для виготовлення малих відливок простої форми. Великі та складні відливки отримують у збірних кокілях, які складаються з двох півформ. Внутрішні поверхні відливок виготовляють за допомогою стрижнів, які в складній формі можуть бути розбірними. Найчастіше кокілі виготовляють із чавуну та сталі.

Перед заливанням розплаву на внутрішню поверхню кокілю наносять покриття пульверизатором або помазком і вставляють газовиводи на глибину 0,2-0,5 мм.

Після кристалізації розплаву й охолодження відливок виштовхують або витрясають з кокілю. Унаслідок швидкого охолодження відливки, отримані в кокілях, мають дрібнокристалітну структуру і відповідно добрі механічні властивості.

В одному кокілі можна виготовити 300-500 сталевих відливок масою 100-150 кг, 5000 дрібних відливок з чавуну або кілька десятків тисяч відливок з алюмінієвих сплавів.

Лиття в кокіль – дуже продуктивний спосіб виготовлення відливок. Залежно від обсягу виробництва всі операції лиття в кокіль виконують ручним, механізованим та автоматизованим способами. Отримані відливки мають дуже точні розміри і малу шорсткість поверхні, що зменшує або зовсім вилучає механічне оброблення на різальних верстатах.

Недоліком цього способу є велика вартість кокілів і труднощі в процесі виготовлення тонкостінних відливок.

§ 32.4.2. Лиття під тиском

Литтям під тиском *називають спосіб виготовлення відливок, при якому форму заповнюють розплавом під тиском поришня.*

Лиття під тиском – один з найпродуктивніших способів виготовлення невеликих і точних за розмірами відливків в основному із сплавів кольорових металів.

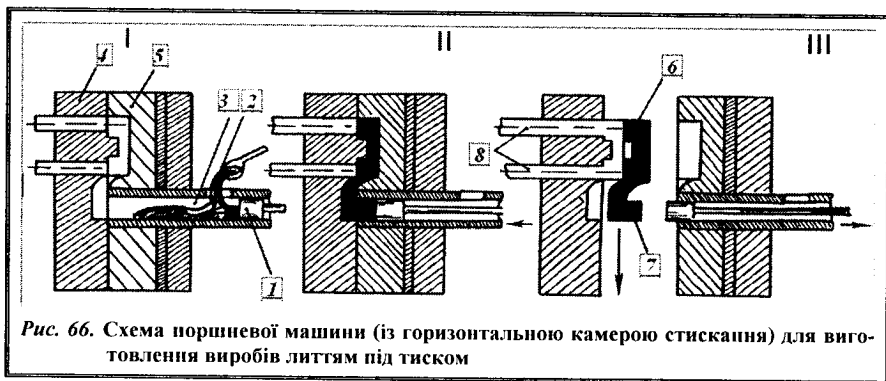
Відливки отримують у сталевих прес-формах. Розплав заповнює прес-форму під тиском поршня до 300 МПа. Після кристалізації розплаву й охолодження відливка прес-форма розкривається і відливки виштовхується в контейнер. При цьому способі лиття можна виготовити відливки з малими отворами (діаметром до 2 мм), різню та малою товщиною стінок (близько 0,5 мм).

Прес-форму заповнюють розплавом за частки секунди. Одночасно закупорюються газовиводи прес-форми і з її порожнини не повністю витісняється повітря та газ, що утворилися в процесі випаровування та згоряння покриття. Це спричинює утворення газових включень у відливках. Для запобігання цьому прес-форму та розплав перед заливанням вакуумують.

Відливки в прес-формах виготовляють на поршневих машинах. Найчастіше застосовують поршневі машини з холодною та гарячою камерами стискування.

1. Машини з холодною камерою стискування. Їх застосовують для виготовлення відливків з алюмінієвих, магнієвих і мідних сплавів, а також із сталі та чавуну.

Машина складається з прес-форми та камери стискування. Камери стискування можуть бути горизонтальними та вертикальними. Тиск поршня на розплав у машині з горизонтальною камерою стискування нижчий, ніж з вертикальною, і становить 40-200 МПа. Машини з горизонтальною камерою стискування застосовують частіше. Вони простіші в обслуговуванні й мають на 10-20% більшу продуктивність.



На машинах з горизонтальною камерою стискання (рис. 66) розплав 2 заливають у камеру стискання 3 міркою (положення I) і подають поршнем 1 до прес-форми, яка складається з рухомої 4 та нерухомої 5 частин.

Після кристалізації розплаву й охолодження відливка, яке триває кілька секунд (положення II), прес-форма розкривається; рухома частина прес-форми відходить вліво, відливоч 6 разом із литником 7 відокремлюється від форми штовхачами 8 (положення III) і падає в контейнер (на рис. 66 не показано). І все починається спочатку: підготовки форми до заливання розплаву, заливання розплаву в камеру стискання тощо.

2. Машина з гарячою камерою стискання. У цих машинах камера стискання розміщена безпосередньо в тиглі з розплавом і зазнає його дії. Тиск поршня на розплав становить 10-30 МПа. Ці машини застосовують для виготовлення відливок із цинкових, магнієвих і алюмінієвих сплавів, які мають невисоку температуру плавлення. Тиглі виготовляють із матеріалів, які є корозієстійкими в цих розплавах. На цих машинах виготовляють відливки від кількох грамів до 25-30 кг. Це дуже продуктивні машини (понад 3000 відливок за 1 год.).

Недоліками лиття під тиском є малі розміри відливок (максимальна маса відливка 50 кг), їх пористість, велика вартість і складність виготовлення прес-форм.

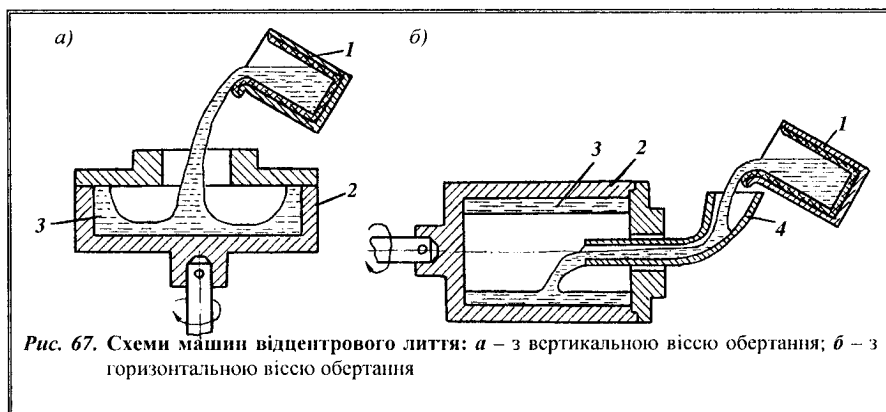
§ 32.4.3. Відцентрове лиття

Відцентровим литтям називають спосіб виготовлення відливок у формі, яка обертається навколо своєї осі.

У процесі обертання форми на розплав діють відцентрові сили. Кристалізація розплаву під дією відцентрових сил зумовлює отримання щільних відливок. Гази та неметалеві вклучення (шлак, оксиди тощо) як більш легкі відтісняються розплавом до внутрішньої поверхні відливка, де і збираються. Після застигання відливка його внутрішню поверхню очищують різанням.

У процесі відцентрового лиття застосовують форми з вертикальною (рис. 67, а) та горизонтальною (рис. 67, б) осями обертання.

Якщо діаметр відливка перевищує його висоту (шків, триби, колеса тощо), то використовують форми з вертикальною віссю обертання. Форму з горизонтальною віссю обертання застосовують тоді,



коли діаметр відливка значно менший ніж його довжина (гільзи, труби). В обох випадках вісь обертання форми збігається з віссю відливка і внутрішня порожнина його утворюється без допомоги стрижнів. Якщо потрібно виготовити фасонні відливки, внутрішню порожнину отримують за допомогою стрижнів. Такий спосіб називають *центрифугуванням*.

1. Форма з вертикальною віссю обертання. Розплав з ковша *1* заливають в обертову форму *2*. На розплав діють гравітаційна та відцентрова сили. Під дією цих сил розплав *3* стікає до низу і притискається до стінок форми, кристалізується й утворюється відливка. Отримані відливки мають неоднакову товщину стінок: у нижній частині відливка товщина стінки більша, ніж у верхній. Для вирівнювання товщини стінки використовують різання на верстатах. Якщо відливки отримують із сплавів, які легко окиснюються, то форму поміщають у вакуумну камеру.

2. Форма з горизонтальною віссю обертання. Цю форму використовують для виготовлення чавунних і сталевих труб. Для полегшення заповнення розплавом і виймання відливка форма нахилена під кутом 5° . Форма обертається навколо своєї осі за допомогою електродвигуна й охолоджується водою. Розплав з ковша *1* по нерухомому жолобу *4* потрапляє в обертову форму *2*. Після заповнення форми розплавом *3* її обертання продовжується до повної кристалізації розплаву. Потім вимикають електродвигун і кліщами виймають трубу з форми. Чавунні труби подають на термічну обробку за температури $850-920^\circ\text{C}$ для зняття внутрішніх напружень і вирівнювання фазового складу сплаву.

Продуктивність машин із формами, які мають горизонтальну вісь обертання, дорівнює 40-50 труб за 1 год. ($d = 200-300$ мм; $l = 2-5$ м).

Швидкість обертання форми залежить від діаметра відливка та густини розплаву. Її розраховують за формулою:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma r}},$$

де: γ – густина розплаву;

r – внутрішній радіус відливка.

Для різних відливків швидкість обертання форми різна і може до-рівнювати 4,16-25 с⁻¹.

Відцентрове лиття – дуже продуктивний спосіб виготовлення відливків із щільною структурою, без порожнин, неметалевих включень. У процесі виготовлення труб, втулок не потрібно стрижнів, литників, випорів.

Проте цей спосіб лиття має *недоліки*, одним з яких є посилення ліквачії під впливом відцентрових сил у сплавах, схильних до неї. Хімічний склад виробів, отриманих з таких сплавів, неоднорідний.

Відливки, отримані у формах з вертикальною віссю обертання, потребують додаткового оброблення різанням.

§ 32.4.4. Лиття витисканням

Площа таких виробів дорівнює кільком квадратним метрам, товщина стінок – 2-5 мм.

Лиття витисканням проводять на автоматичних установках, складовою частиною яких є матриця (рис. 68). Матриця складається з рухомої 2 та нерухомої 3 частин. Розплавлений метал 1 (положення I) заливають у матрицю, рухома частина якої переміщується паралельно нерухомій (положення II). Розплав

Цей спосіб лиття призначений для виготовлення тонкостінних великих за розміром виробів у вигляді панелей з алюмінієвих і магнієвих сплавів.

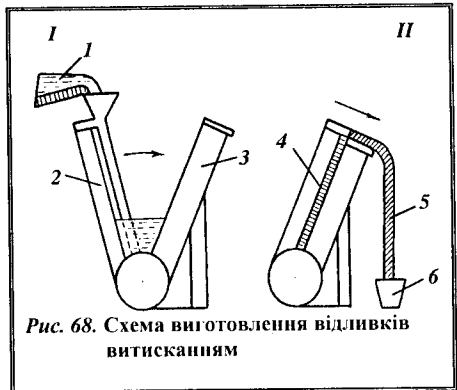


Рис. 68. Схема виготовлення відливків витисканням

заповнює внутрішню порожнину форми, а надлишок 5 зливається в ківш 6. Таким чином отримуємо виріб 4.

32.5. Дефекти відливоків та їх виправлення

§ 32.5.1. Дефекти відливоків

Контроль якості відливоків починають із зовнішнього їх огляду. Потім перевіряють їх розміри, механічні властивості, хімічний склад та структуру.

Якщо відливки не відповідають вимогам, кажуть, що вони браковані.

Основними причинами отримання бракованих відливоків є порушення технології виготовлення ливарних форм, заливання їх розплавом та звільнення відливоків від форм.

Браковані відливки мають дефекти, основними з яких є раковини (газові, усадкові, шлакові та ін.), тріщини (гарячі, холодні), пошкодження поверхні відливоків (пригар, окисні плівки, спаї тощо), невідповідність форми, розмірів і маси відливка кресленню виробу (перекіс, недоливи, переливи, короблення тощо).

Раковини виникають з різних причин. Так, газові раковини мають відливки, виготовлені в сирих формах або у формах, які мають велику здатність виділяти гази та низьку здатність пропускати їх. Погано розкиснений розплав також спричинює утворення газових раковин. Під час різкого переходу від тонкої частини вилівка до товстої виникають усадкові раковини та нещільність. Причиною утворення усадкових раковин є надто перегрітий розплав, шлакові раковини спричинені недосконалістю конструкції шлако-вловлювачів.

Тріщини у відливках виникають унаслідок недостатньої податливості форм і стрижнів та нерівномірного охолодження. У першому випадку утворюються гарячі тріщини, у другому – холодні.

Дефекти поверхні спричинені недостатньою вогнетривкістю формової та стрижневої сумішей. Унаслідок цього виникає пригар.

Доливання форми прохолодним розплавом призводить до утворення *спаю*, який погіршує міцність виробу.

Невідповідність форми, розмірів і маси відливка кресленню виробу може виникнути з багатьох причин: неточно складена форма і вставлені стрижні (буде перекіс), заливання форми прохолодним розплавом (зменшиться його текучість), нерівномірне охолодження окремих частин відливка (спричинить виникнення внутрішніх напружень і, як наслідок, – короблення).

Дефекти поділяють на виправні та невивправні.

Невивправні дефекти мають великі розміри. Виправляти такі дефекти економічно не вигідно. Відливки з такими дефектами переплавляють.

Виправні дефекти мають малі розміри, їх економічно вигідно виправляти.

§ 32.5.2. Виправлення дефектів відливок

Найпоширенішими способами виправлення дефектів у відливках є наплавлення, термічна обробка, заварювання, просочування тощо.

Наплавлення розплавленим чавуном або сталлю використовують для виправлення дефектів чавунних та сталевих відливок.

Для зняття внутрішніх напружень відливки **відпалюють**.

Тріщини та спаї на чавунних та сталевих відливках **заварюють** електродуговим способом з використанням вугільного електрода.

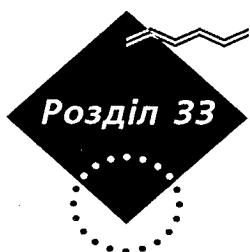
Відливки, вироби з яких призначені для зберігання газів і рідин, виправляють **просочуванням**. Цим способом виправляють дефекти в бронзових, алюмінієвих і латунних відливках. Для цього в порожнину відливок під тиском нагнітають бакелітовий лак, нагрітий до температури 60°C. Просочені відливки висушують за кімнатної температури протягом 40-50 год., потім у печі за температури 130°C лак твердне остаточно.

Металеві покриття наносять на шорстку поверхню відливок напиленням розплавленого металу за допомогою електродугових пістолетів або плазмотронів.

32.6. Техніко-економічні показники ливарних цехів

Основними техніко-економічними показниками ливарних цехів є випуск відливок у тонах за рік; випуск відливок у тонах, що припадає на одного робітника ливарного цеху; відсоток бракованих відливок; собівартість однієї тони відливок.

У ливарному виробництві основні витрати припадають на розплав – близько 80% вартості відливок. Собівартість 1 т відливок залежить від обсягу виробництва: чим більше за обсягом виробництво, тим дешевші відливки.



ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ТИСКОМ

Виливки, отримані розливанням металів і сплавів у виливниці та на машинах безперервного розливання, подають на оброблення тиском. Під дією зовнішніх сил виливки зазнають деформації, унаслідок якої змінюються їх форма та розміри.

Тиском виготовляють вироби (заготовки і деталі) з металів, сплавів та інших конструкційних матеріалів. Цей вид оброблення конструкційних матеріалів використовують дуже давно і його можливості ще далеко не вичерпані. Останнім часом успішно ведуться роботи з удосконалення технологічних операцій, поліпшення техніко-економічних показників обладнання та якості виготовленої продукції.

Основними способами оброблення конструкційних матеріалів тиском є вальцювання, вільне кування, штампування, пресування та волочіння.

33.1. Поняття про деформацію

Деформацією (від лат. «*deformatio*») – перекручення, спотворення називають зміну форми та розмірів заготовки під дією прикладених до неї зовнішніх сил.

Зовнішні сили, які прикладають до заготовки, називають *навантаженням*.

Деформацію поділяють на пружну та пластичну.

Пружна деформація зникає після припинення дії зовнішніх сил, форма заготовки повертається до початкової.

Пластична деформація залишається після припинення дії зовнішніх сил і заготовка набуває нової форми та розмірів. Саме тому пластичну деформацію називають *залишковою*.

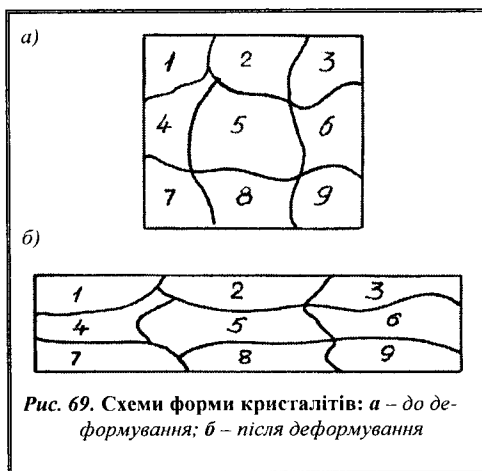
У процесі пластичної деформації одна частина кристаліту зміщується відносно другої на відстань, яка значно перевищує міжатомну в кристалевій комірці оброблюваного металу чи сплаву.

У металах і сплавах, які є полікристалітними тілами, у процесі пластичної деформації змінюються форма кристалітів та їх орієнтація. Окремі кристаліти подрібнюються. На рис. 69 схематично показано зміну форми кристалітів металу до (а) і після (б) деформування (кристаліти відповідно пронумеровані).

Переважаючу орієнтацію кристалітів називають *текстурою*. Текстура зумовлена анізотропією (від грецьк. «анізо» – неоднаковий і ...«тропія») механічних властивостей металів і сплавів. У процесі деформації кристаліти видовжуються. У разі більшої деформації кристаліти видовжуються настільки, що нагадують волокна. Таку структуру металу називають *волоконистою*.

Напрямок волокон урахувують у процесі конструювання та розробки технології виготовлення деталей, оскільки волокна визначають анізотропію механічних властивостей.

Оскільки в основі обробки металів і сплавів тиском лежить пластична (залишкова) деформація, то метал або сплав після припинення дії зовнішніх сил зберігає надану йому форму.



33.2. Чинники, які впливають на пластичність металів і сплавів

На пластичність металів і сплавів впливають будова їх комірок, хімічний склад і структура. Велике значення мають умови деформування: температура заготовки, швидкість деформування тощо.

Велику пластичність мають метали та сплави, комірки яких відповідають формі куба (наприклад, мідь, залізо, алюміній тощо).

Метали найпластичніші. Із сплавів тверді розчини (аустеніт, ферит) пластичніші, ніж хімічні сполуки (цементит) чи механічні суміші (ледебурит, перліт). Вміст компонентів у сплаві також впливає на його пластичність. Наприклад, із збільшенням вмісту вуглецю в сталі пластичність зменшується. Якщо вміст вуглецю в сталі перевищує 1,5%, сталь майже не піддається куванню. Кремній, хром і воль-

фрам збільшують пластичність сталі. Фосфор і сірка надають сталі крихкості.

Зменшують пластичність сплавів різні фази, неметалеві включення та порожнини.

Важливим чинником, який впливає на пластичність металів і сплавів, є температура. З підвищенням температури нагрівання металів і сплавів їх пластичність збільшується.

У процесі деформування металів і сплавів змінюються їх властивості: міцність, твердість, крихкість, пластичність, ударна в'язкість тощо.

Зміну властивостей, пов'язану з деформацією не нагрітої (холодної) заготовки, називають *наклепом*. Позбутися наклепу можна термічною обробкою (відпалюванням). У процесі відпалювання структура наклепаного металу відновлюється, зменшується твердість і міцність, збільшується пластичність. Із підвищенням температури нагрівання спостерігається ріст кристалітів.

Утворення нових кристалітів називають *рекристалізацією* (перекристалізацією).

Температуру, при якій зароджуються нові кристаліти, називають *температурою рекристалізації*. Так, для заліза температура рекристалізації становить близько 450°C, для міді – 280°C, алюмінію і олова – відповідно 100 і 80°C. Щоб прискорити рекристалізацію, метали та сплави нагрівають до вищих температур.

У процесі гарячої деформації (заготовка нагріта до певної температури) пластичність металів більша, ніж у процесі холодної, тому гаряча деформація супроводжується меншими затратами енергії, ніж холодна.

Нагрівання заготовок перед обробленням тиском впливає на якість і вартість продукції. Основні вимоги до нагрівання заготовок: рівномірне прогрівання її до певної температури за мінімальний час з

найменшою втратою металу на утворення окалини (оксидних плівок) й економною витратою палива та електроенергії. Недотримання цих вимог спричиняє в заготовці дефекти (тріщини, знеуглецьовування, окиснення, перегрівання, перепалення) і зростають затрати.

Температурний інтервал деформування визначають залежно від температури плавлення та рекристалізації металів або сплавів: починають деформування за температури, нижчої ніж температура плавлення заготовки, а закінчують вище температури рекристалізації металу чи сплаву заготовки. У цьому інтервалі температур метали та сплави мають найбільшу пластичність.

Для вуглецевих сталей температуру початку та кінця деформування вибирають на основі діаграми стану залізо-цементит (рис. 70). Деформування починають за температури, яка на 100-200°C нижча від

температури початку плавлення сталі (лінія AE), а закінчують – на 50-100°C вище температури рекристалізації. Нагрівати вуглецеві сталі до вищих температур небезпечно: матиме місце перегрівання або перепалення сталі.

У разі **перегрівання** сталі ростуть кристаліти, сталь має мале відносне видовження. Цей дефект можна виправити термічною обробкою, доцільніше нормалізаційним відпаленням.

Перепалення сталі відбувається за вищих температур, ніж перегрівання. У разі **перепалення** сталі поверхні кристалітів окиснюються, а легкоплавкі

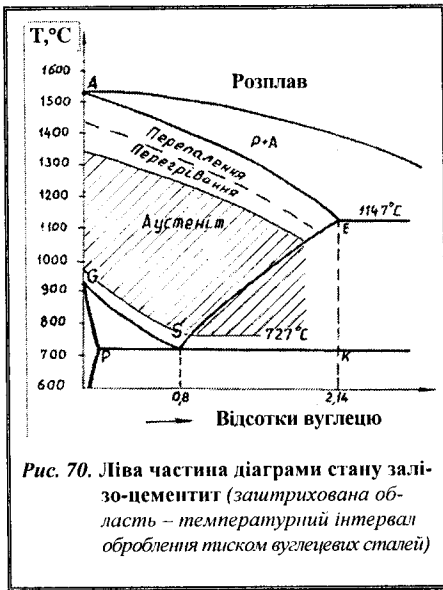


Рис. 70. Ліва частина діаграми стану залізо-цементит (заштрихована область – температурний інтервал оброблення тиском вуглецевих сталей)

евтектики, які розміщуються між кристалітами, розплавляються. Наприклад, евтектика, яка складається із сполук FeO і FeS плавиться за температури 940°C. Це спричинює появу тріщин і втрату пластичності. Такі дефекти не можна виправити. Сталеву заготовку переплавляють.

Нагрівання сталевих заготовок. До температури 727°C сталеві заготовки нагрівають повільно, витримують за цієї температури певний час, а потім швидко нагрівають до кінцевої температури. Пові-

льне нагрівання на початку дає можливість уникнути утворення тріщин за температур холодноломкості (200-400°C) і фазових перетворень (727-820°C). Час нагрівання залежить від розмірів заготовки та способу нагрівання. Чим триваліше нагрівання, тим товстіший шар оксидної плівки (окалини) утвориться на заготовці. А це втрати металу. Крім того, окалина сприяє швидкому спрацюванню інструменту, оскільки твердість окалини значно перевищує твердість нагрітої сталі.

У процесі нагрівання сталевих заготовок одночасно з окисненням має місце знеуглецьовування приповерхневого шару (вигорання вуглецю) на глибину до 1,5-2 мм. Знеуглецьовування приповерхневого шару змінює властивості сталевих заготовок.

33.3. Обладнання для нагрівання заготовок

Для нагрівання заготовок використовують печі (полуменеві, електричні) індукційне та контактне нагрівання.

§ 33.3.1. Печі

За джерелом теплової енергії печі поділяють на полуменеві й електричні.

Джерелом теплової енергії в *полуменевих печах* є паливо (мазут, природний, коксовий, доменний та інші гази або їх суміші). Якщо для згорання палива беруть надлишок повітря, то до складу пічних газів входить кисень. Таку атмосферу називають *окиснюючою*. Нагрівання заготовок у такій атмосфері призводить до окиснення сталевих заготовок і відповідно до великих втрат металу (0,5-2%). Щоб уникнути окиснення, заготовки нагрівають в атмосфері, яка утворюється за неповного згорання палива, тобто за недостатчі повітря, а разом з ним і кисню. Це означає, що до складу паливної суміші входить лише 50% теоретично обчисленої кількості повітря. За таких умов згорання палива в атмосфері печі утворюються відновні гази CO і H_2 , які запобігають окисненню сталевих заготовок.

В *електропечах* заготовки нагрівають теплотою, яка виділяється в процесі проходження електричного струму в нагрівниках, що мають великий опір.

За розподілом температури в нагрівному просторі печі поділяють на камерні та методичні.

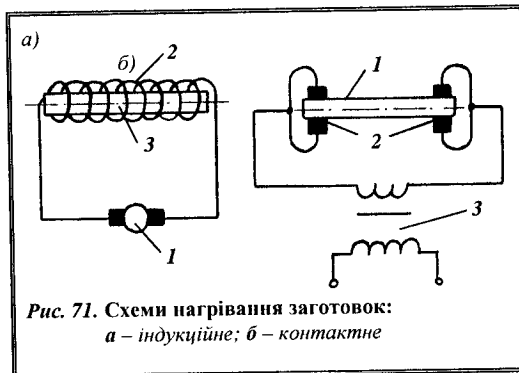
У *камерних печах* температура однакова в усьому нагрівному просторі. Це печі періодичної дії. Різновидом камерних печей є на-

грівні колодязі, в яких нагрівають великі виливки перед вальцюванням. У колодязях заготовки розміщують вертикально по 6-8 штук одночасно.

Методичні печі є дуже продуктивними печами безперервної дії. У цих печах заготовки нагріваються поступово в процесі переміщення їх від місця завантаження до виходу з печі. Для цього печі оснащені механізмами для проштовхування заготовок. Для повнішого використання теплоти пічних газів печі обладнані теплообмінниками-рекуператорами та регенераторами, за допомогою яких використовують теплоту вихідних газів для підігрівання повітря та газового палива. Питома витрата палива в методичних печах менша, ніж у камерних, а продуктивність їх більша. Методичні печі використовують у масовому виробництві.

Кожна піч оснащена допоміжними механізмами для закривання та відкривання дверей, пристроями для завантаження та розвантаження великих заготовок. Сучасні печі обладнані різними приладами й автоматичними системами регулювання температури, завдяки чому поліпшується якість нагрітих заготовок, зменшуються витрати палива, збільшується продуктивність печей і поліпшуються умови праці.

§ 33.3.2. Індукційне та контактне нагрівання заготовок



Прогресивним методом нагрівання заготовок перед обробленням тиском у масовому виробництві є індукційне та контактне нагрівання (рис. 71). Ці способи нагрівання заготовок найчастіше використовують у ковальських цехах.

У процесі **індукційного нагрівання** (рис. 71, а) заготовка рухається всередині індуктора, виготовленого з мідної трубки у вигляді котушки.

У трубі-індукторі циркулює вода для його охолодження. Індуктор 2 підімкнено до джерела струму 1 промислової або збільшеної частоти. Навколо витків індуктора виникає змінне магнітне поле. Якщо в індуктор помістити ста-

леву заготовку **3**, то під впливом змінного магнітного поля в ній виникнуть вихрові струми, які швидко нагріють метал до потрібної температури. Для нагрівання 1 кг металу витрачається 0,4-0,5 кВт·год. електроенергії.

У процесі *контактного нагрівання* (рис. 71, б) заготовку **1** зати-скають між мідними контактами **2** і пропускають через неї змінний струм силою десятки тисяч Ампер, напругою 2-15 В від трансформатора **3**. Контактне електронагрівання доцільно застосовувати для сталевих заготовок, діаметер яких не перевищує 60 мм. Для товстіших заготовок потрібний струм більшої сили. Найкраще нагрівати дріт, прутки, труби. Витрати електроенергії на 1 кг металу становлять 0,35-0,45 кВт·год.

Швидкість електронагрівання в 10-20 разів більша, ніж у печах, а інтенсивність утворення окалини – у 4-5 разів менша. Крім того, ліпші умови праці.

Обмеженням широкого впровадження індукційного та контакт-ного нагрівання заготовок є часта зміна індукторів, які залежать від форми та розмірів заготовки і мала стійкість контактів під час елект-роконтактного нагрівання.

33.4. Вальцювання

Після розливання металів і сплавів у виливниці чи на машинах безперервного розливання отримані заготовки надходять на вальцю-вання. Його проводять на вальцівнях.

Вальцювання є найпоширенішим видом оброблення тиском мета-лів, сплавів та інших конструкційних матеріалів.

Вальцюванням називають спосіб виготовлення виробів обтис-канням заготовки обертовими валками вальцівні.

Виріб, отриманий вальцюванням, називають *вальцівкою*.

Відстань між валками вальцівні називають *зazorом*. Він завжди менший за товщину заготовки. У процесі обтискання товщина заго-товки зменшується, а довжина та ширина збільшуються.

У початковий момент, коли заготовка торкається валків вальцівні, виникають сили тиску (F_m) і тертя ($F_{тер.}$) (рис. 72,а). Розкладемо ці сили на складові і проаналізуємо: складова сили тиску (P) буде ви-штовхувати заготовку з-між валків вальцівні; складова сили тертя (R) навпаки — втягуватиме її в зазор між валками.

Для здійснення процесу вальцювання необхідно, щоб горизонтальна складова сили тертя R перевищувала горизонтальну складову сили виштовхування P , тобто має виконуватися нерівність $R > P$. Чим більшою є горизонтальна складова сили тертя R , тим з більшою силою захопитись заготовка валками вальцівні. Потрібне співвідношення сил досягається відповідним вибором кута захоплення α (α – центральний кут, який відповідає дузі дотику заготовки до валка), який залежить від різних чинників і змінюється в межах 5-30°. Кут захоплення встановлюють підніманням або опусканням верхнього валка.

Абсолютним обтисканням заготовки (Δh) називають різницю між початковою товщиною заготовки (h_0) та її товщиною після n -разового обтискання валками (h_1):

$$\Delta h = h_0 - h_1.$$

За допомогою простих розрахунків можна знайти, що обтискання заготовки Δh збільшується із збільшенням діаметра валків (D) і величини $(1 - \cos \alpha)$:

$$\Delta h = D \times (1 - \cos \alpha).$$

Отже, із збільшенням діаметра валків і кута захоплення збільшується обтискання заготовки і відповідно збільшується продуктивність вальцівні. Одноразове обтискання заготовки валками не перевищує 70-80%. Після кожного проходження заготовки між валками зазор зменшують. Остаточного розміру заготовка набуває лише після багаторазового обтискання валками.

§ 33.4.1. Види вальцювання

На практиці застосовують такі основні види вальцювання: поздовжнє, поперечне та поперечно-гвинтове (рис. 72).

При **поздовжньому вальцюванні** (рис. 72,а) валки **1** обертаються на зустріч один одному, а заготовка **2** рухається перпендикулярно до осей валків. Товщина (висота) заготовки зменшується, а довжина та ширина збільшується. Це найпоширеніший вид вальцювання. Близько 90% усієї продукції отримують цим способом.

У процесі **поперечного вальцювання** (рис. 72,б) валки **1** обертаються в одному напрямі, а заготовка **2**, яка обтискається ними, – у протилежному. Так виготовляють, наприклад, трибові колеса.

Поперечно-гвинтове вальцювання (рис. 72,в) характеризується розташуванням валків *1* під кутом один до одного. Валки обертаються в одному напрямі й надають заготівці *2* одночасно обертального та поступального руху. У результаті додавання цих рухів заготовка переміщується по гвинтовій лінії.

Поперечне та поперечно-гвинтове вальцювання використовують для виготовлення безшовних труб, куль для млинів тощо.

§ 33.4.2. Вальцівні

Вальцівня складається з робочої машини та привода. Робоча машина має одну або кілька клітей. Кожна кліть складається з комплекту валків, установлених між парою станин. Привод складається з двигуна та передавальних механізмів.

Вальцівні *класифікують* за призначенням, кількістю та розміщенням валків у клітях, взаємним розміщенням клітей.

1. **За призначенням** (за видом продукції, яку виробляють) вальцівні поділяють на дві групи. До першої належать вальцівні, на яких виготовляють заготовки, що потребують подальшої обробки – блюмінги (англ. «*blooming*» від «*bloom*» – заготовка квадратного перерізу), слябінги (англ. «*slabbing*» від «*slab*» – плита) та заготівельні вальцівні. На блюмінгах одержують заготовки квадратної форми, на слябінгах – прямокутної. Друга група об'єднує вальцівні, на яких виготовляють готову продукцію, – сортові, листові, трубні вальцівки та вальцівки спеціального призначення.

2. **За кількістю та розміщенням валків у клітях.** У кожній кліті може бути два, три та більше валків, розташованих горизонтально, вертикально, горизонтально та вертикально, під кутом один до одного тощо. Якщо валки в кліті розміщені горизонтально, то на таких вальцівнях виготовляють сортові та фасонні вироби. Так, на дво- та три-валкових вальцівнях виготовляють товсті листи. Тонкі листи виготовляють на чотиривалкових вальцівнях. Для холодного вальцювання тонких листів і стрічки використовують богатовалкові вальцівні. Кліті, в яких валки розміщені вертикально, призначені для обтискання бічних поверхонь заготовки, яку вальцюють. Такі кліті застосовують звичайно в поєднанні з клітями, які мають горизонтальні валки. Кліті, в яких валки розміщені під кутом, призначені для поперечно-гвинтового вальцювання. Їх застосовують у виробництві безшовних труб, куль та інших виробів.

До складу обладнання цеху крім вальцівні входять нагрівні пристрої (печі) й обладнання для проведення термічної обробки та викинення отриманих виробів.

Термічну обробку виробів проводять для надання їм міцності, пластичності, в'язкості. Термічна обробка складається з нормалізаційного відпалювання, гартування та відпускання. Правлення проводять для надання виробам відповідної форми.

§ 33.4.3. Види вальцівок

На вальцівнях отримують готові вироби та заготовки для подальшого оброблення куванням, штампуванням, пресуванням, волочінням або різанням.

Продукцію, отриману вальцюванням класифікують за сортаментом (профілями та розмірами) і якістю.

Профілем вальцівки називають форму її поперечного перерізу.

Сукупність різних профілів і розмірів становить сортамент вальцівок. Увесь сортамент вальцівок можна поділити на чотири групи: сортові, листові, трубкові, спеціальні.

Сорткові вальцівки використовують для виготовлення машин, верстатів і різних конструкцій. На рис. 73 показано деякі види сортових вальцівок загального та спеціального призначення. Прикладом вальцівок загального призначення є квадратові, кругові, штабові, кутникові, двотаврові, швелерові, таврові, рейкові, зетові.

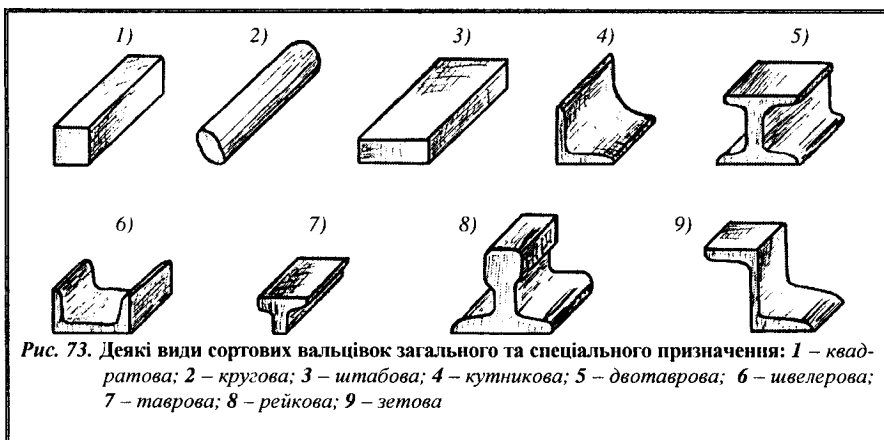


Рис. 73. Деякі види сортових вальцівок загального та спеціального призначення: 1 – квадратові; 2 – кругові; 3 – штабові; 4 – кутникові; 5 – двотаврові; 6 – швелерові; 7 – таврові; 8 – рейкові; 9 – зетові

гонобудуванні та будівництві. Сортові вальцівки отримують за допомогою валків, поверхня яких має заглиблення, що відповідає формі потрібної вальцівки.

Листові вальцівки поділяють на товсті, тонкі та фольгу. Тонкі листи мають товщину до 4 мм. Листи, товщина яких перевищує 4 мм, належать до товстих.

Труби залежно від технології отримання поділяють на безшовні та зварні. Безшовні труби виробляють у два заходи: спочатку виготовляють гільзу, потім трубу (рис. 72, в). Зварні труби виготовляють із металевих листів за допомогою різних способів зварювання. Ці труби дешеві порівняно з безшовними, але в зоні шва мають гірші механічні властивості та корозієстійкість.

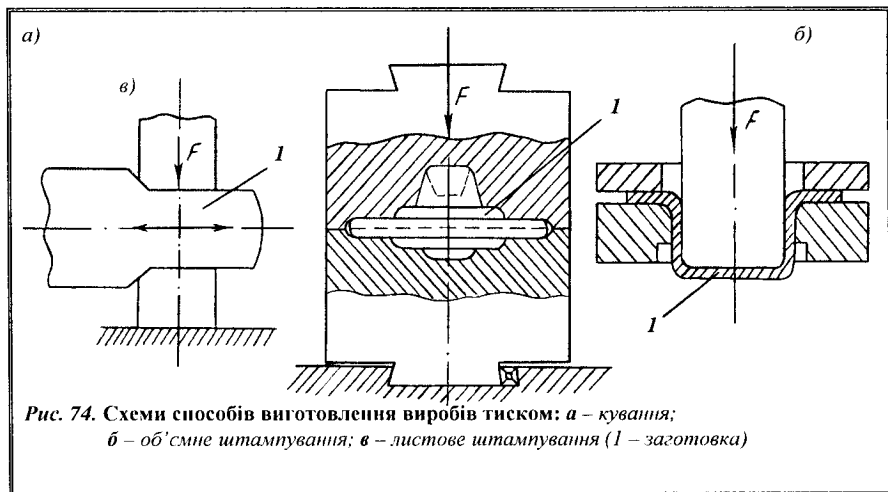
33.5. Вільне кування та штампування

§ 33.5.1. Вільне кування

Куванням називають спосіб виготовлення виробу деформуванням нагрітої заготовки під дією молота або преса.

У процесі кування метал вільно переміщується від центра до країв заготовки, тому кування називають **вільним** (рис. 74, а).

Виріб, виготовлений куванням, називають **поковкою**, а цех, в якому її виготовляють – **ковальським**.



Для виготовлення поковок використовують продукцію ливарних і вальцювальних цехів. Кування застосовують в одиничному та мало-серійному виробництві. Готові поковки мають різні форму та масу: від кількох грамів до 300 т і більше.

У більшості випадків поковки є заготовками, з яких різанням виготовляють деталі машин. Вони мають великий припуск на обробку.

У процесі виготовлення поковок відходи становлять 25-30% маси заготовки, із них 2-3% – це окалина, яка утворилася за одне нагрівання заготовки. Чим складніша форма заготовки, тим більше разів її нагрівають.

Вільне кування проводять ручним і машинним способом. Інструментами в процесі кування є ковадло, молоти, сокири, обтискачі, прошивки тощо.

Технологічний процес кування складається з окремих операцій, основними з яких є протягування, осаджування, згинання, рубання та ін.

Протягування застосовують для збільшення довжини заготовки. При цьому зменшуються її поперечні розміри. У процесі протягування заготовка витягується й дещо розширюється.

У процесі **осаджування** зменшується висота заготовки та збільшуються її поперечні розміри. Осаджування лежить в основі виготовлення дисків, фланців тощо.

Згинанням виготовляють гаки, скоби, якорі тощо. Під час цієї операції заготовку згинають під необхідним кутом. Місце згинання нагрівають.

Рубанням заготовку поділяють на частини. У процесі рубання використовують прямі та фасонні сокири.

Дрібні та середні поковки масою до 1 т виготовляють у ковальсько-пресових цехах за допомогою пресів. У процесі виготовлення поковок є великі втрати металу: чим складніша за формою поковка, тим більші втрати металу.

§ 33.5.2. Штампування

Штампуванням називають спосіб виготовлення виробів за допомогою спеціальних форм-штампів.

Кожний штамп призначений для отримання виробів лише певної форми та розміру.

Виріб отриманий штампуванням називають **штамповкою**.

Заготовки перед штампуванням можуть бути нагрітими до певної температури або ні. Залежно від цього штампування називають *гарячим* або *холодним*.

Залежно від форми заготовки штампування буває об'ємне та листове.

Об'ємне штампування проводять у штампах, які складаються з двох частин: верхньої та нижньої. У процесі об'ємного штампування метал переміщується від центра заготовки до країв, обмежених стінками порожнини штампа (рис. 74, б). Внутрішня порожнина штампа є відбитком зовнішньої форми виробу, який треба виготовити.

Порівняно з вільним куванням об'ємне штампування має такі *непреваги*: невеликі вимоги до фаховості працівників; отримані вироби (штамповки) мають менший припуск на оброблення різанням (у 3-4 рази); точніша форма штамповок; вища продуктивність (у 50-100 разів) тощо.

Недоліками об'ємного штампування є обмеженість маси штамповок (0,3-100 кг, у деяких випадках – до 1,5 т); кожна нова штамповка потребує виготовлення нового штампа (вартість штампів дуже велика і вони придатні лише для даного виробу-штамповки).

Технологічний процес об'ємного штампування складається з таких операцій:

- ✓ різання вальцівок на заготовки певного розміру та маси;
- ✓ нагрівання заготовок;
- ✓ штампування нагрітих заготовок;
- ✓ обрізування зайвого металу (облоїв);
- ✓ правлення штамповок;
- ✓ термічна обробка;
- ✓ очищення поверхонь штамповок від окалини тощо.

Листовим штампуванням виготовляють плоскі й об'ємні тонкостінні вироби з листів за допомогою штампів (рис. 74,в). Штампи складаються з матриці та пуансона, які деформують заготовку: матриця надає заготовці зовнішньої форми, пуансон – внутрішньої.

Листове штампування може бути гарячим і холодним. Найпоширеніше холодне штампування з металевих листів товщиною 0,1-5 мм. Вироби, товщина стінок яких перевищує 5 мм, одержують гарячим штампуванням.

Листове штампування – економічний і продуктивний спосіб виготовлення як простих, так і складних за формою виробів.

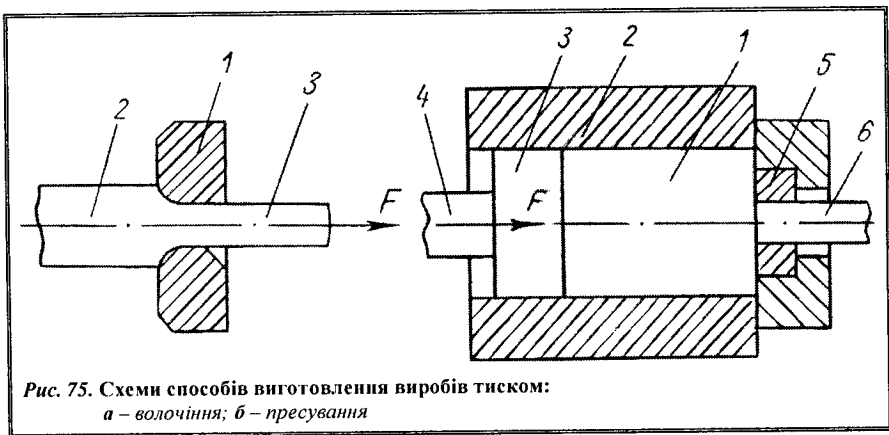
Листовим штампуванням виготовляють деталі велосипедів, автомобілів, мотоциклів, рами та кузови автомобілів, деталі приладів, літаків, вагонів тощо.

Основний *недолік* листового штампування – значні відходи (до 40%).

33.6. Волочіння та пресування

1. Волочіння. *Волочінням* називають спосіб виготовлення виробів протягуванням заготовки через спеціальний отвір під дією зовнішньої сили.

Інструмент, в якому зроблено кілька отворів, називають *волочитьною дошкою, волокою* або *матрицею*. Волоки виготовляють з інструментальної сталі, твердих сплавів і технічних алмазів. Для зменшення тертя в отворі волоки заготовку змащують мінеральними мастилами, графітом або іншими речовинами. Змащування зменшує витрати енергії та шорсткість поверхні виробу. На рис. 75, а схематично зображено процес волочіння: загострену заготовку **2** протягують через отвір волоки **1** і одержують виріб **3**.



Виріб, отриманий волочінням, називають *волочівкою*. Волочінням виготовляють тонкий дріт (діаметром 16-0,002 мм), прутки різного профілю та труби з товщиною стінки 0,05-15 мм. Вироби, виготовлені волочінням, мають велику точність розмірів, а поверхня – малу шорсткість.

У процесі волочіння заготовка може бути гарячою або холодною.

У ході **холодного волочіння** кінець заготовки загострюють, щоб він вільно пройшов через отвір волюки, і захоплюють кліщами волочильні. Внаслідок тертя, яке виникає під час проходження металевої заготовки через отвір, отриманий дріт наклепується, структура стає волокнистою. Щоб позбутися наклепу дріт відпалюють.

У ході **гарячого волочіння**, яке проводять дуже рідко, заготовку попередньо відпалюють для отримання дрібнокристалітної структури металу та підвищення його пластичності, потім очищують від окалини в розчині сірчаної кислоти та промивають у нейтралізуючому розчині. Швидкість волочіння залежить від температури нагрівання заготовки та діаметра виробу. Наприклад, якщо діаметр заготовки дорівнює 6 мм, то швидкість волочіння становитиме $5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, якщо діаметр 2 мм, то швидкість волочіння – $16,66 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Швидкість виготовлення труби і прутків значно менша.

2. Пресування. *Пресуванням називають спосіб виготовлення виробів витисканням заготовки із замкнутої порожнини (контейнера) через отвір у матриці.*

У процесі пресування (рис. 75, б) конструкційний матеріал (заготовка) переміщується лише в напрямі отвору. Отвори можуть мати різну форму. У процесі пресування отримують вироби, поперечний переріз яких відповідає формі отвору.

Виріб, отриманий пресуванням, називають **пресівкою**.

Пресуванням виготовляють дріт з найменшим діаметром 5 мм, прутки діаметром 5-250 мм, труби із зовнішнім діаметром 200-400 мм і найменшою товщиною стінки 1,25 мм та інші вироби. Пресуванням виготовляють вироби з міді, алюмінію, цинку, свинцю, магнію та їх сплавів, а також із сталі. Заготовки з більшості металів і сплавів перед пресуванням нагрівають.

Пресування є двох видів – одnobічне та зустрічне.

У ході **одnobічного** пресування (рис. 75, б) напрям руху (переміщення) заготовки та пуансона збігаються. Нагріту заготовку **1** закладають у контейнер **2**, куди вкладають також прес-шайбу **3**. Пуансон **4** тисне на прес-шайбу, внаслідок чого метал заготовки витискається через отвір матриці **5** у вигляді прутка (виробу) **6**. Витиснути з контейнера весь метал не вдається. У ньому залишається 8-12% маси заготовки. Одnobічним пресуванням виготовляють труби і дріт.

У ході **зустрічного** пресування матриця поєднана з прес-шайбою.

У процесі пресування заготовка залишається нерухомою, переміщується матриця. Метал заготовки витискається назустріч руху матриці. Зустрічне пресування потребує менших зусиль, ніж однобічне. Крім того, у контейнері залишається невикористаним менший залишок металу (6-10%), ніж у процесі прямого. Цим способом пресують труби та дріт.

Змінюючи матрицю, можна легко перейти від виготовлення виробів одного профілю до виготовлення іншого профілю. Тому малі серії виробів з одним профілем економічніше виготовляти пресуванням, ніж вальцюванням.



ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ ПОРОШКІВ

34.1. Історія розвитку порошкової металургії та застосування її продукції

Одним з основних напрямків розвитку технології машинобудування на сьогодні є вдосконалення відомих і розроблення нових безвідходних, матеріалоощадних технологій, тобто таких технологій, за допомогою яких можна отримувати заготовки для майбутніх деталей без або з найменшим припуском на оброблення різанням. У розв'язанні цієї проблеми певна роль належить порошковій металургії.

Порошкова металургія займається виробництвом порошків і виробів з них. Порошковою металургією отримують нові конструкційні матеріали, які називають *металокерамікою*. Свій початок історія порошкової металургії бере в сивій давнині. Цим способом у Стародавньому Єгипті та Київській Русі виробляли різні вироби із заліза та кольорових металів. Проте її розвиток як виробничого способу почався в XIX ст.

Суть цього способу полягала в тому, що з губчастої платини холодним пресуванням формували вироби, які потім спікали.

У наш час порошкова металургія набула широкого розвитку в багатьох країнах Світу. Порівняно з традиційними способами виготовлення заготовок – різанням, литтям, тиском – вона майже безвідходна. Так, відходи при виготовленні деталей різанням із заготовок, отриманих литтям, становлять до 20-80%, а в процесі виготовлення їх порошковою металургією – всього 5-10%. У разі використання цієї технології виготовлення виробів невеликі затрати праці. Наприклад, у процесі виготовлення деталі кількість технологічних операцій скорочується з 20-40 до 4-6. За допомогою даної технології можна отримувати матеріали та вироби з наперед заданими властивостями – високою твердістю, зносостійкістю, жароміцністю, стабільними магнітними властивостями. Ще одна важли-

ва перевага порошкової металургії – за її допомогою можна отримувати такі штучні матеріали та вироби з них, які не можна виготовити іншими способами. Якщо порівняти втулки бронзової вальниці, виготовлені литтям і спіканням з порошків, то перевага буде на боці останньої. У процесі спікання в матеріалі утворюються пори, в які заходить мастило. Саме тому такі деталі довговічніші й мають нижчий коефіцієнт тертя. Ефект зростає, якщо до складу шихти додати графіт або іншу мастильну речовину. Заміна мастильних матеріалів у шихті на фрикційні дає можливість отримати матеріали, з яких виготовляють муфти зчеплення. Деталі для гальм тощо.

Ефективність порошкової металургії збільшується за умов масового виготовлення виробів. Так, у процесі виготовлення 1 тис. тонн деталей економиться понад 200 т сталі, вивільнюється 200 робітників і 50 металорізальних верстатів. Із збільшенням випуску виробів собівартість порошкових виробів зменшується порівняно із собівартістю виробів, отриманих литтям.

Порошкова металургія забезпечує *машинобудівну промисловість* конструкційними, фрикційними й антифрикційними матеріалами; *електротехнічну й електронну* – магнітами, катодами, резисторами; *інструментальну та добувну* промисловості – твердими та надтвердими сплавами; *авіаційну та космічну* техніку, *атомну енергетику* – жаростійкими та міцними матеріалами; *хімічну та металургійну* промисловості – хімічно- та термічно-стійкими матеріалами, каталізаторами, вогнетривами. Але основна маса продукції порошкової металургії (60-70%) використовується в автомобілебудуванні.

34.2. Способи виготовлення порошків

Виробництво порошків – складова частина технологічного процесу порошкової металургії. Порошки виробляють механічними та фізико-хімічними способами. Такий поділ умовний.

Механічні способи виготовлення порошків (подрібнення, розмелення, розпилення) приводять до зміни розмірів та форми частинок. Хімічний склад отриманої продукції, якщо не враховувати забруднення матеріалами, з яких виготовлено обладнання, залишається без зміни.

Фізико-хімічні способи (відновлення, дисоціація) характеризуються тим, що хімічний склад отриманого порошку значно відрізняється від складу сировини.

Іноді для підвищення економічності або поліпшення властивостей порошків застосовують комбіновані способи їх виготовлення. Так, у ході розпилення розплавлений метал спочатку гранулюють, а потім відпалюють у середовищі водню. У процесі електролізу отримують щільні, але крихкі частинки, які потім розмелюють. У промисловості найширше застосовують способи відновлення з оксидів і розпилення.

Спосіб отримання порошку впливає на форму та розмір частинок, його властивості та вартість. Порошки одного й того самого хімічного складу, але отримані різними способами відрізняються розмірами та формою частинок, плинністю. Чим дрібніший порошок, тим більша кількість частинок міститься в одному й тому самому об'ємі, а відповідно збільшиться й тертя частинок у ході пресування, що призводить до нагрівання частинок. Вони стають пластичнішими та міцніше схоплюються між собою. Проте, **слід пам'ятати**, що надто дрібний порошок швидше окиснюється, а це часто спричиняє зменшення міцності виробів. Тому вибір способу виробництва порошку залежить від сировини, способу пресування, спікання, а також призначення отриманої деталі.

34.3. Властивості порошків

Порошки характеризуються фізичними, хімічними та технологічними властивостями. Основні з них регламентуються стандартами та технічними умовами.

Технологічні властивості порошків основні. До них належать насипна маса, плинність, здатність пресуватись і формуватись.

Насипною масою називають масу одиниці об'єму вільно насипаного порошку (кг/м^3).

Чим більші за розміром частинки і точніша їх форма, тим більша насипна маса порошку. Залежно від способу отримання порошку насипна маса порошку одного й того самого матеріалу буде різною.

Плинністю називають швидкість проходження порошку через отвір певного діаметра.

Ця властивість порошку впливає на рівномірність заповнення прес-форми порошком і швидкість ущільнення в ході пресування. Чим менший розмір частинок, тим гірша плинність.

Здатність пресуватись – це здатність ущільнюватись і набувати форми під дією зовнішніх сил.

Здатність формуватись – це здатність виробу зберігати свою форму після ущільнення за мінімального тиску.

Усі ці властивості впливають на кінцевий результат порошкової металургії, яким є виріб.

34.4. Підготовка шихти до пресування виробів

Шихта складається з порошоків і спеціальних речовин (каучук, бензин, парафін, графіт тощо). Порошки подрібнюють, очищують, додають спеціальні речовини і все разом перемішують.

Підготовлення шихти – дуже важлива операція технологічного процесу, оскільки на поверхні порошоків є оксидні плівки, молекули води, мастил та інших речовин. Вони потрапляють на поверхню порошоків у процесі їх виготовлення та транспортування.

Незначний вміст названих речовин у порошку згубно діє як на технологічні, так і на експлуатаційні властивості виробів. Так, вміст оксидів на поверхні порошку, з якого виготовляють радіодеталі, має не перевищувати 1%, інакше деталі матимуть дефекти. Оксиди хрому, кремнію, алюмінію погіршують пресування порошоків та спікання виробів. А наявність водню, азоту, оксиду вуглецю збільшують ще й крихкість, особливо порошоків важкоплавких металів. Чим дрібніше помелені порошки, тим вони більше забруднені. Щоб запобігти забрудненню порошоків, їх зберігають у щільно закритих контейнерах, заповнених інертним газом. Це дорогий спосіб зберігання порошоків. Тому в більшості випадків порошки перед використанням очищують. Наприклад, проводять відпалення в печах із використанням відновної атмосфери. Ця операція не лише очищує порошок від оксидних плівок, а й підвищує його технологічні властивості.

Щоб полегшити формування та спікання виробів, до порошку додають спеціальні речовини. Так, до порошоків, з яких отримують тверді сплави, додають розчин каучуку в бензині або парафіні, до порошоків із сталі – веретенне мастило або олеїнову кислоту.

У процесі виробництва антифрикційних деталей до шихти додають графіт, для фільтрів – карбонат алюмінію або натрію. У ході спікання виробів, виготовлених із шихтових матеріалів, в яких містяться також леткі речовини, виділяється велика кількість газів, що призводить до утворення закритих пор.

Перемішують шихтові матеріали у млинах, змішувачах тощо.

Під час роботи з порошками слід пам'ятати, що вони шкідливі для здоров'я; можуть самозайматися. Тому в ході роботи з порошками потрібно користуватись респіраторами (від лат. «*respiro*» – ди-хаю), а приміщення обладнати вентиляцією.

34.5. Формування виробів із порошків

§ 34.5.1. Способи формування виробів

Виріб, отриманий з порошку, називають *порошківкою*. Найпоширенішим способом формування порошків є холодне та гаряче пресування, вальцювання та шлікерне лиття.

1. Пресування. Вироби пресують у прес-формах. Зусилля прикладають з одного або з двох чи більше боків.

Однобічне пресування (рис. 76, а) застосовують для виготовлення виробів простої форми (втулки, кільця тощо).

Під дією пуансона **1** порошок **2** ущільнюється, деформується і навіть частинки руйнуються. Внаслідок впливу сил тертя порошку об стінки прес-форми **3** прикладене зусилля розподіляється нерівномірно, що спричинює нерівномірність густини матеріалу та погіршення якості виробу. Чим більше відношення висоти виробу до його діаметра, тим більшим буде коливання Густини матеріалу.

Двобічне пресування (рис. 76, б). У процесі двобічного пресування два пуансони рухаються назустріч один одному. Цим способом пресування виготовляють вироби,

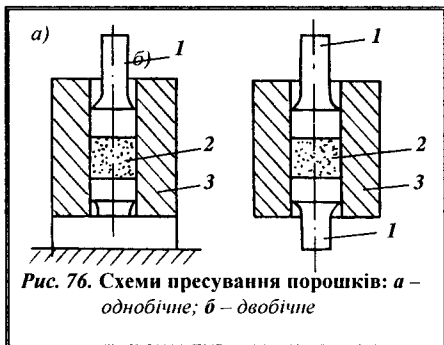


Рис. 76. Схеми пресування порошків: а – однобічне; б – двобічне

в яких відношення висоти до діаметра перевищує два. Внаслідок зустрічного руху двох пуансонів збільшується рівномірність розподілу густини частинок порошку за висотою. Для досягнення однакової середньої густини порошку прикладають зусилля, яке на 30-40 % менше, ніж у ході однобічного пресування. Для отримання виробів складної форми використовують машини з кількома пуансонами.

Мундштукове пресування (рис. 77) застосовують у випадку отримання виробів, довжина яких значно перевищує діаметр (прутки, труби тощо). Ці вироби виготовляють із порошків, які важко пресуються (порошки берилію, вольфраму, тощо).

Процес отримання виробів полягає в тому, що порошок, який перебуває в порожнині контейнера 2, витискається пуансоном 1 через отвір мундштука матриці 3. Профіль отриманого виробу визначається формою отвору мундштука і може бути як простим, так і складним.

Щоб підвищити густину матеріалу майбутнього виробу, використовують вібрацію, яка до порошку передається через контейнер або пуансон. За допомогою вібрації в кілька разів можна зменшити зусилля на пуансоні.

Гаряче пресування характеризується суміщенням двох процесів: пресування та спікання виробів. У процесі нагрівання порошку до високих температур (майже до температури спікання) підвищується його пластичність, тому тиск у ході пресування значно нижчий. Гарячим пресуванням можна отримати вироби з порошків, які важко пресу-

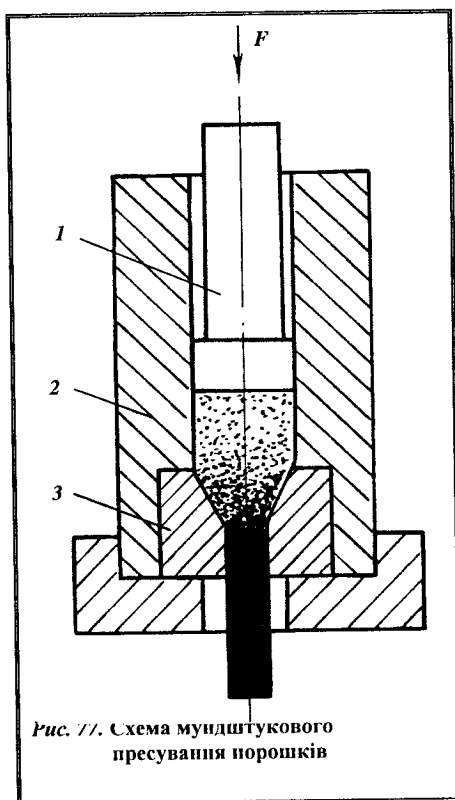
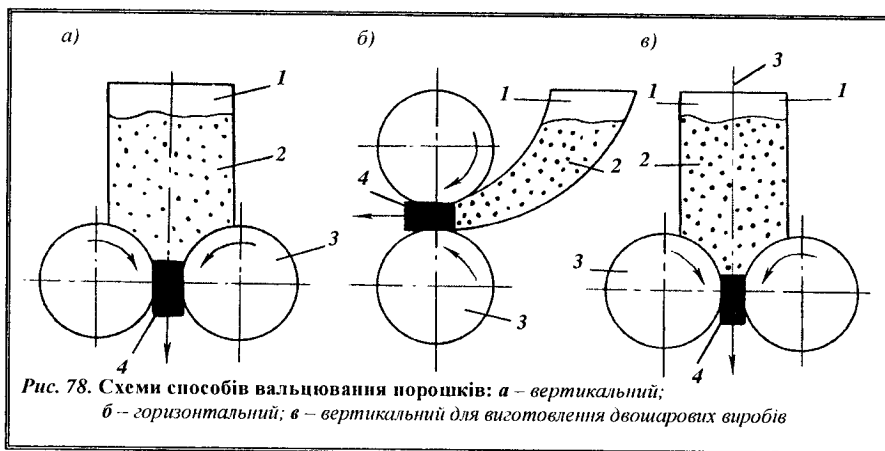


Рис. 77. Схема мундштукового пресування порошків

ються. Це порошки жароміцних матеріалів, твердих сплавів і чистих важкоплавких металів (вольфрам, молібден).

2. **Вальцювання.** Цей спосіб виготовлення порошків є економічно вигідним. Вироби виготовляють безперервним формуванням, а потім спікають. Цим способом отримують стрічку та прутки. Вальцювання можна проводити у вертикальному та горизонтальному напрямках (рис. 78).



На сьогодні вальцюванням отримують листи товщиною 0,025-3 мм і шириною до 300 мм і прутки різного профілю.

3. **Шлікерне лиття.** Його застосовують для виготовлення виробів складної форми (наприклад, лопаті турбін) із крихких і твердих порошків (карбідів, сіліцидів, нітридів тощо).

Шлікером називають суспензію порошку та рідини, яку заливають у гіпсову або керамічну форму.

Рідина із шлікера виходить крізь пори у формі, а в середині неї утворюється виріб. Підсушений виріб витягують із форми, для чого форму руйнують. Після остаточного висушування виріб спікають.

§ 34.5.2. Спікання та викінчення порошкових виробів

Вироби, отримані з порошків, мають малу міцність. Щоб надати їм великої міцності та твердості, їх спікають.

1. Спікання виробів. *Спіканням* називають відпалення виробів за температури, яка становить 0,7-0,8 температури плавлення основної складової шихти.

Час спікання становить 1-2 год. Під час спікання у виробках відбуваються складні фізико-хімічні процеси (відновлення оксидів, дифузія, рекристалізація, зняття залишкових напружень), поліпшуються механічні властивості тощо.

Процес спікання — досить тривалий, який потребує великих затрат енергії. Щоб скоротити час спікання, використовують ультразвук, магнітне поле тощо. До хімічних чинників, які прискорюють процес спікання, належать відновно-оксидні реакції. Важливу роль відіграє склад атмосфери, в якій проводять спікання. Атмосфера може бути захисною або відновною. Це водень, дисоційований (лат. dissociatio, від dissocio —роз'єдную) амоніак. Ефективним є також вакуум. Використання вакууму підвищує собівартість виробів. Тому у вакуумі спікають лише вироби, виготовлені з порошків титану, танталу, ніобію, берилію.

Спікання проводять у печах різного типу, які працюють періодично та безперервно. Печі періодичної дії використовують у ході спікання невеликих партій порошкових виробів. У процесі масового виробництва виробів використовують методичні печі безперервної дії (конвеєрні, з рухомим черенем тощо).

Технологія спікання досить складна, а тому робітники, що працюють у термічних цехах, мають знати основи порошкової металургії, щоб не допускати дефектів у виробках.

У термічних цехах завжди є отруйні та вибухонебезпечні гази (водень і кисень), електричний струм. Тому **слід пам'ятати** про герметичність обладнання, вентиляцію, сигналізацію (звукову, світлову) тощо.

2. Викінчування виробів. У разі потреби порошкові вироби викінчують. Викінчення складається з таких операцій: калібрування, різання, термічна та хіміко-термічна обробка, повторне спікання тощо.

У процесі *калібрування* уточнюють розміри виробів, ущільнюють і полірують їх поверхні тощо.

Різання (точіння, свердління, фрезування тощо) застосовують тоді, коли пресуванням не можна виготовити вироби потрібної форми та розмірів, для нарізання внутрішньої та зовнішньої різі, отримання вузьких, але глибоких отворів тощо.

У процесі різання користуються інструментами, виготовленими з надтвердих сплавів або алмазів.

Термічну та хіміко-термічну обробку порошків проводять так само, як для металів і сплавів (див. Розділ 23).

Повторне пресування проводять тоді, коли в ході першого пресування не можна отримати виріб складної форми.



ВИГОТОВЛЕННЯ НЕРОЗБІРНИХ З'ЄДНАНЬ

35.1. *Поняття про з'єднання та їх види*

Деталі у вузли та окремі частини різних виробів і споруд з'єднуються між собою рухомо та нерухомо.

Нерухомі з'єднання можуть бути розбірними та нерозбірними.

Розбірні з'єднання утворюються за допомогою з'єднувальних деталей, якими є прогоничі, шурупи тощо. Такі з'єднання можна розібрати без пошкодження їх складових частин і з'єднувальних деталей.

Нерозбірні з'єднання не можна розібрати на окремі складові без їх пошкодження. З'єднання цього виду поділяють на дві групи. До *першої* належать з'єднання гарантійним натягом, до *другої* – з'єднання, отримані зварюванням, паянням, склеюванням, клепаанням. Їх широко використовують у процесі виготовлення різних конструкцій та при їх ремонті.

З усіх видів нерозбірних з'єднань, які належать до другої групи, найширше застосовують зварювання.

Зварювання широко використовують, *по-перше*, завдяки великій економії матеріалу. Якщо порівняти масу конструкції, виготовленої зварюванням, із масою такої самої конструкції, виготовленої за допомогою з'єднувальних деталей, то маса звареної конструкції на 20% менша. *По-друге*, унаслідок зменшення ручної праці в процесі виготовлення з'єднань, оскільки можна впровадити механізацію та автоматизацію виробництва. *По-третє*, зварні з'єднання дуже часто забезпечують більшу міцність і надійність у процесі експлуатації виробів порівняно з іншими видами нерозбірних з'єднань, що особливо важливо для корпусів суден, труб, вакуумних установок тощо.

Зварювання успішно поєднують з іншими технологічними процесами, наприклад, із штампуванням. Поєднання штампування із зва-

рюванням дає можливість виготовляти заготовки складної форми та точних розмірів. При цьому зменшуються витрати матеріалу та трудомісткість подальших обробних робіт.

Якщо в III ст. до н. е. деталі у вузли з'єднували переважно куванням і литтям, то в XX ст. н. е. зварювання вийшло на одне з перших місць щодо застосування. Зварювання використовують у машино-, приладо-, мосто-, літако- та суднобудуванні, у ході виконання будівельних робіт, виготовлення труб тощо. Воно майже витіснило зв'язування та клепа́ння. Їх місце все частіше займає склеювання.

Відтоді, коли грек М.М. Бенардос, який у 1886-1905 рр. навчався у Київському університеті, запропонував спосіб електродугового зварювання за допомогою неплавкого вугільного електрода, постійно розроблюють нові та вдосконалюють старі способи зварювання. Особливі заслуги у створенні нових і вдосконаленні відомих способів зварювання, їх автоматизації та механізації належать науковцям Інституту електрозварювання НАН України та його засновнику академіку Євгену Оскаровичу Патону.

До основних напрямків розвитку зварювання належить комплексна механізація й автоматизація процесів зварювання та впровадження робіт і маніпуляторів. Людина керуватиме зварюванням на відстані за допомогою системи електронних машин (комп'ютерів).

35.2. *Поняття про зварювання*

Зварюванням називають технологію отримання нерозбірних з'єднань у конструкціях, виготовлених із металів, сплавів та інших матеріалів, розплавленням або пластичною деформацією місця з'єднання.

Зварюванням з'єднують вироби виготовлені з однорідних і різнорідних металів і сплавів (наприклад, мідь – мідь, сталь – сталь, мідь – вольфрам, мідь – алюміній, мідь – сталь); металів і неметалів, таких як кераміка, скло, графіт тощо.

З'єднання деталей зварюванням ґрунтується на міжатомній взаємодії контактуючих поверхонь. Щоб дві поверхні з'єдналися зварюванням, потрібно наблизити їх на відстань, яка приблизно дорівнює лінійному параметру кристалевої комірки матеріалу, з якого виготовлені вироби.

У реальних умовах здійснити це непросто, оскільки на поверхні виробів завжди є оксидні плівки й адсорбовані гази, які перешкоджають цьому наближенню. Ось чому перед зварюванням контактуючі поверхні очищують, а потім крайнім атомам очищених поверхонь надають енергії, щоб наблизити їх один до одного. Ця енергія може бути механічною або тепловою. Залежно від виду енергії зв'язок між атомами контактуючих поверхонь може відбуватись у *твердій фазі* або в *розплаві*.

У *першому випадку* вироби стискають із зусиллям, що дорівнює границі плинності матеріалу, з якого виготовлені вироби. У зоні контакту матеріали переходять у пластичний стан. Зварне з'єднання утворюється за рахунок взаємної дифузії атомів одного матеріалу в інший. Для підвищення пластичності зону контакту зварюваних виробів нагрівають.

У *другому випадку* краї зварюваних виробів розплавляють і утворюється спільна зварювальна ванна, яка під час охолодження кристалізується. Так утворюється зварний шов, який з'єднує зварювані вироби в єдине ціле.

Підготування поверхонь перед зварюванням і розміщення швів регламентуються стандартами і залежать від матеріалів зварювальних виробів та їх товщини.

Однією з найголовніших технологічних властивостей матеріалів є здатність утворювати міцні та надійні зварні шви. Цю властивість називають *зварюваністю*. Властивості зварних швів і матеріалів, з яких виготовлені вироби, не повинні значно відрізнятись, оскільки це може стати причиною руйнування виробів, а відповідно призвести до аварії, внаслідок чого будуть людські жертви та матеріальні збитки.

У процесі зварювання металевих виробів виникає неоднорідність властивостей, зумовлена різною структурою та величиною кристалітів. Нагрівання поверхонь зварюваних виробів до температури плавлення призводить до утворення великокристалітної структури у зварному шві і може спричинити окиснення, азотування, насичення шва воднем або вигорання легуючих компонентів у розплаві зварного шва. Навколо зварного шва структура металу також змінюється.

На зварюваність сталей впливає вміст у них вуглецю, мангану, хрому, молібдену, нікелю тощо. Маловуглецеві та малолеговані сталі, а також чистий алюміній мають добру зварюваність.

Погану зварюваність мають чавуни, багатохромисті сталі й алюмінієві сплави. Найважче зварювати вироби, виготовлені з різних матеріалів. Для отримання якісних зварних з'єднань різних матеріалів використовують нові способи зварювання.

35.3. Зварні з'єднання та шви

1. **Зварні з'єднання.** У процесі виготовлення зварних конструкцій деталі по-різному можна розташовувати одну відносно одної. Основними видами зварних з'єднань є стикове, внапуск, кутове та таврове (рис. 79).

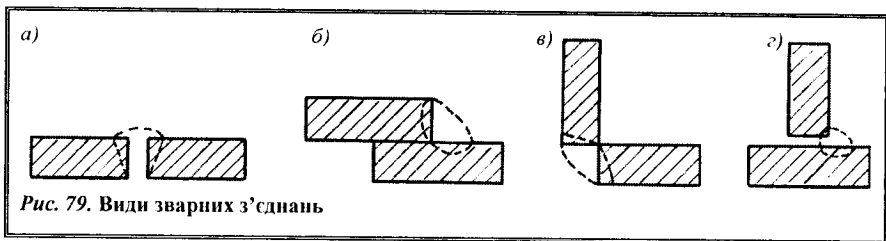


Рис. 79. Види зварних з'єднань

Стиковим називають такий вид зварного з'єднання, при якому деталі розміщені в одній площині (рис. 79, а).

Якщо деталі розміщені паралельно і перекривають одна одну, то такий вид зварного з'єднання називають **з'єднанням внапуск** (рис. 79, б). У разі **кутового з'єднання** деталі розміщені під кутом одна до одної (рис. 79, в). Якщо потрібно з'єднати торцеву частину однієї деталі з поздовжньою другої, проводять **таврове з'єднання** (рис. 79, г).

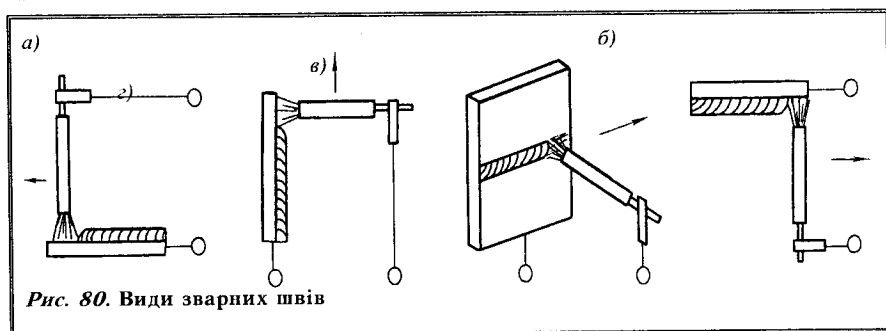
2. **Зварні шви.** **Зварним швом** називають місце з'єднання виробів, яке утворилося після кристалізації розплавлених або пластичнодеформованих приповерхневих шарів виробів.

Зварні шви поділяють на **основні** (великі) та **допоміжні** (малі).

За конструкцією шви поділяють на одно- та двосторонні, лицеві та виворотні тощо.

За розміщенням у просторі в ході виконання зварних робіт шви поділяють на нижні, вертикальні, горизонтальні та верхні (рис. 80).

Найзручнішими для виконання є нижні та горизонтальні шви (рис. 80, а, в). Виконання вертикальних і верхніх швів (рис. 80, б, г)



трудомісткіше відповідно на 20-25 і 40-45%, ніж нижніх та горизонтальних.

Оскільки товщина зварюваних виробів може бути різною, то різними будуть і шви. Вироби товщиною до 10 мм зварюють за одне проходження, і отриманий шов називають *одношаровим*. У разі більшої товщини виробів шов отримують за кілька проходжень. Такий шов називають *багатошаровим*.

35.4. Класифікація способів зварювання

На сьогодні налічується понад 20 способів зварювання. Їх класифікують за різними ознаками.

1. **За станом місця контакту зварювальних виробів.** Усі способи зварювання поділяють на три групи: термічні, термомеханічні та механічні. В основі такого поділу лежить спосіб утворення зварного шва. Зварний шов може утворитися плавленням або деформацією місця контакту виробів (заготовок або деталей).

У ході *термічних способів* зварювання місце майбутнього з'єднання двох виробів нагрівають до температури, яка перевищує температуру плавлення матеріалу, з якого виготовлені вироби. До них належать способи зварювання за допомогою електричної дуги, полум'я, утвореного при горінні газів, терміту, плазми, світлового променя, пучка електронів тощо.

Для зварювання виробів *термомеханічними способами* використовують теплову та механічну енергію: теплову – для нагрівання контактуючих поверхонь зварюваних виробів до пластичності, механічну – для наближення крайніх атомів поверхонь виробів один до одного. Внаслідок нагрівання та прикладеного зусилля процеси ди-

фузії, які лежать в основі цих способів зварювання, прискорюються. До термомеханічних способів зварювання належать електроконтактне, дифузійне, газопресове та інші.

Для зварювання виробів *механічними способами* використовують механічну енергію. До механічних способів зварювання належать зварювання тертям, вибухом, ультразвуком, тощо.

2. **За видом енергії, яку використовують у процесі зварювання виробів.** За цією ознакою зварювання поділяють на електричне, механічне, плазмове, променеве, електромеханічне, хіміко-механічне тощо.

3. **За ступенем автоматизації зварювання.** Зварювання поділяють на ручне, напівавтоматичне та автоматичне.

4. **За способом захисту розплаву в зоні зварювання.** За цією ознакою зварювання поділяють на зварювання на повітрі, у вакуумі, у захисному газі, під шаром флюсу, з комбінованим захистом тощо.

Вибір способу зварювання залежить від хімічного складу конструкційного матеріалу, з якого виготовлені вироби, кількості виробів, їх форми, розмірів, товщини тощо.

35.5. Термічні способи зварювання

§ 35.5.1. Дугове зварювання

З усіх відомих на сьогодні термічних способів зварювання перше місце посідає дугове. Його використовують у процесі виготовлення залізничних вагонів і платформ, палуб та інших частин суден, парових казанів (у тому числі високого тиску), труб для газів, рідин і сипких речовин, металевих конструкцій і арматури будинків, промислових споруд, мостів, вузлів із деталей машин, приладів тощо.

Цим способом зварюють майже всі конструкційні сталі, чавуни, мідь, алюміній, нікель, титан і сплави на їх основі.

Дуговим зварюванням називають спосіб утворення нерозбірного з'єднання двох виробів, місця з'єднання яких розплавляють теплотою, яка виділяється під час горіння дуги між електродами, одним з яких найчастіше є виріб.

Електричною дугою називають потужний електричний розряд, який супроводжується виділенням великої кількості теплової та світлової енергії.

І. Запалення електричної дуги. Дугове зварювання починається із запалення дуги (рис. 81).

Оскільки гази за звичайних умов складаються з нейтральних атомів і молекул, і не мають електричної провідності, то через повітря електричний струм не проходить. Електричний струм проходить через гази при наявності в них електронів та іонів, тобто коли вони іонізовані.

Іонізацією називають процес утворення заряджених частинок (іонів й електронів) з нейтральних атомів та молекул.

Для іонізації повітря електрод **1** і виріб **2** на короткий час зводять до купи, тобто «змикають» (рис. 81, а). У результаті утворюється замкнене коло. Через місце дотику електрода **1** і виробу **2** проходить електричний струм, який миттєво розплавляє місце дотику. Між електродом і зварюваними виробами утворюється «місточок» з розплавленого металу. Після відведення електрода від виробу метал у зоні «місточка» кипить і випаровується (рис. 81, б). Починається процес термічної іонізації. Поверхня катода випускає потік вільних електронів **3**, які під дією електричного поля напрямляються до анода **2** і на своєму шляху зіштовхуються з молекулами повітря та парами металів; іонізують їх **4**, тобто розщеплюють на іони та електрони. З часом температура стовпа дуги підвищується, кінетична енергія атомів та молекул збільшується, частішають їх співударі, що спричинює додаткову іонізацію газового стовпа. Додаткову іонізацію спричинює також світлове випромінювання дуги. Повітряний проміжок між електродом і зварними виробами стає електропровідним і настає електричний розряд. Процес запалення дуги закінчується утворенням стійкого дугового розряду (рис. 81, в).

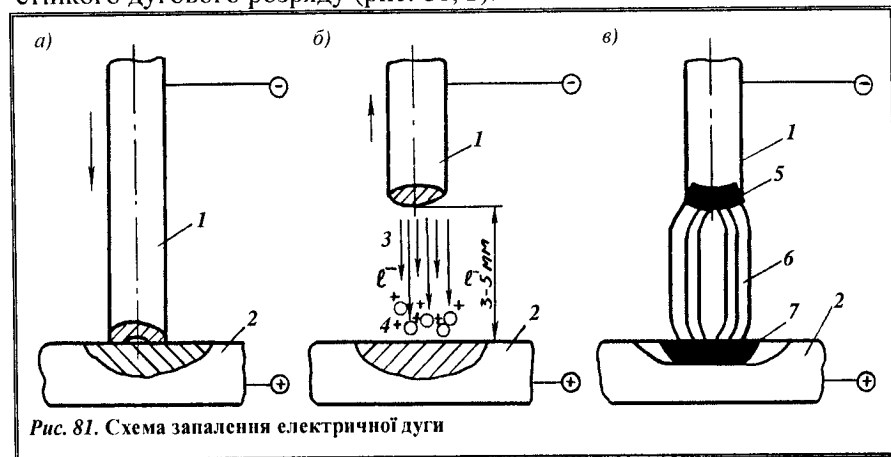


Рис. 81. Схема запалення електричної дуги

Дуговий розряд виникає за напруги, яка залежить від матеріалу, з якого виготовленні електроди. Так, для сталевих електродів напруга виникнення дугового розряду становить 45-50 В, а для вугільних 55-60 В. Після виникнення дугового розряду напругу знижують на 25 В. Для стійкого горіння дуги необхідно, щоб її довжина становила 0,6-0,8 діаметра електрода.

Електрична дуга складається з трьох зон: катодної 5, анодної 7, стовпа дуги 6. Довжина катодної зони становить 10^{-5} , анодної – 10^{-3} - 10^{-4} см. Стовп дуги лежить між катодною й анодною зонами. Тут відбуваються процеси іонізації та переміщення заряджених частинок до катода і анода. У середині стовпа дуги лежить зона найвищих температур (5500-7500°C). Не вся теплота, яка виділяється під час горіння дуги, витрачається на плавлення зварюваних виробів і електрода: приблизно 50% витрачається на нагрівання виробів, близько 30% – на нагрівання електрода і приблизно 20% становлять втрати теплоти в довкілля.

Для виготовлення з'єднань електродуговим зварюванням необхідно мати електроди, джерела струму та захисні засоби.

II. Електроди. У ході електродугового зварювання використовують вугільні (графітові) та металеві електроди. Розміри електродів стандартизовані.

Вугільні електроди виготовляють у вигляді стрижнів діаметром 6-30 мм. У процесі зварювання вугільні електроди не плавляться.

Металеві електроди за хімічним складом в основному не значно відрізняються від металів, з яких виготовлені зварювані вироби. Для їх виготовлення використовують якісні метали та сплави. В процесі зварювання електроди плавляться. Електроди без покриття називають **зварювальним**, або електродним, **дротом**.

Діаметр металевих електродів становить 0,3-12 мм. У процесі зварювання в атмосфері інертних газів і водню використовують неплавкі електроди, виготовлені з вольфраму.

При ручному зварюванні використовують електроди з покриттями. **Покриття** надає стійкості горінню дуги, захищає розплавлений метал від дії компонентів атмосфери (кисню, азоту та ін.), легує метал зварного шва за відсутності відповідних за хімічним складом електродів тощо.

У процесі зварювання покритими електродами дуга горить між стрижнем електрода та зварюваними виробами. Стрижень електрода плавиться, разом з ним плавиться також покриття, утворюючи газо-

вий або шлако-газовий захист дуги та розплавленого металу від дії атмосфери. Після розплавлення місця з'єднання дугу пересувають на ще не зварене місце. Тим часом розплавлений метал кристалізується, й утворюється шов. Розплавлений шлак застигає на поверхні шва у вигляді кірки, яка легко злущується.

Покриття на електродах можуть бути тонкими та товстими. *Тонкі покриття* називають *стабілізуючими*. Вони підвищують стабілізацію зварювальної дуги. Проте електроди із стабілізуючим покриттям не можуть захистити розплавлений метал майбутнього шва від насичення киснем і азотом, а тому шов не має доброї якості. Електроди з тонким покриттям використовують у процесі зварювання звичайних конструкцій, виготовлених із вуглецевих сталей.

У процесі зварювання відповідальних конструкцій використовують електроди з *товстим покриттям*. Товщина цих покриттів дорівнює 1-3 мм. До складу товстого покриття входять легуючі елементи, газо- й шлакоутворюючі та зв'язуючі речовини.

Джерелом *легуючих елементів* у товстому покритті найчастіше є феросплави (фероманган, феросіліцій, ферохром, феротитан та ін.). У процесі зварювання вони плавляться, легуючі елементи переходять у шов і тим самим поліпшують його механічні властивості та корозієстійкість.

Газоутворюючими є органічні речовини – крохмаль, деревне борошно, целюлоза тощо. У ході згоряння цих речовин утворюється в основному оксид вуглецю, який створює навколо дуги і розплавленого металу захисне середовище. Останнє захищає розплавлений метал від окиснення та розчинення в ньому газів (азоту, водню тощо), які містяться у повітрі.

Шлакоутворюючими є мінеральні речовини – польовий шпат, манганова руда, ільменіт та ін. У процесі горіння дуги ці речовини плавляться і рівномірно покривають шов, захищаючи розплав від окиснення та насичення азотом, воднем тощо. Утворений шлак сповільнює охолодження розплаву, що сприяє виділенню розчинених газів і поліпшенню структури шва.

Зв'язуючі речовини використовують для зв'язування компонентів покриття. Роль зв'язки найчастіше виконує розчин скла.

Покриття на електроди наносять зануренням металевих стрижнів у рідинне середовище, яке складається з газоутворюючих, шлакоутворюючих і зв'язуючих речовин та легуючих елементів. Потім електроди

висушують і відпалюють. Після цих операцій електроди готові до використання.

ІІІ. Джерела струму. Для живлення електричної дуги використовують постійний і змінний струми. Стійкість горіння дуги, яка живиться постійним струмом, перевищує стійкість горіння дуги, яка живиться змінним струмом. Проте використовувати постійний струм економічно не вигідно, оскільки обладнання для його виробництва більш громіздке і витрати електроенергії більші. Для живлення дуги постійним струмом використовують зварювальні генератори.

Електрична дуга, яка живиться змінним струмом, менш стійка і може згаснути. Стабільність дуги збільшується, якщо використовують змінний струм частотою 150-450 Гц або спеціальні стабілізуючі покриття. Для живлення дуги змінним струмом використовують зварювальні трансформатори та генератори змінного струму.

ІV. Способи дугового зварювання. Залежно від матеріалу, з якого виготовлені електроди, та їх кількості, а також способів увімкнення електродів і зварюваних виробів в електричне коло, є кілька способів дугового зварювання (рис. 82).

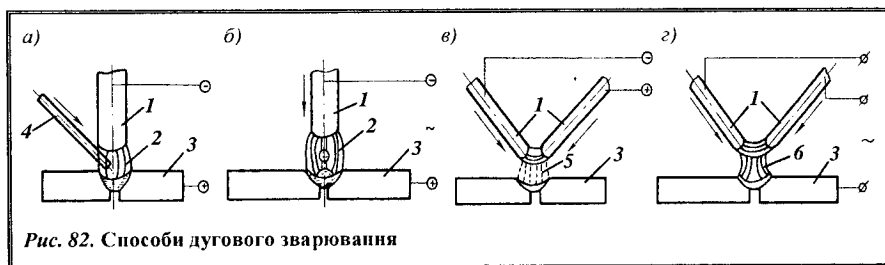


Рис. 82. Способи дугового зварювання

1. Зварювання неплавким електродом. Цей спосіб зварювання називають *способом Бенардоса* (рис. 82, а). При цьому способі зварювання використовують електроди виготовлені з графіту або вольфраму. У процесі зварювання електроди не плавляться. Дуга живиться від джерела постійного струму. Вироби з'єднуються за рахунок розплавлення тільки металу виробу 3, або металу виробу та присадного дроту 4. Дуга може мати пряму та обернену полярність: у разі прямої полярності «мінус» на електроді, «плюс» – на виробі, у разі оберненої — навпаки.

У разі оберненої полярності дуга горить нестабільно і вуглець з електроду, виготовленого з графіту, переноситься в шов, тобто відбувається науглецювання металу виробу. Цей спосіб широко вико-

ристовують для виправлення дефектів чавунних відливків і нанесення порошків твердих сплавів на поверхні деталей, які в процесі роботи контактують, тобто труться поверхнями.

2. Зварювання плавким металевим електродом і дугою прямої дії. Для утворення дуги використовують як постійний, так і змінний струм (рис. 82,б). При цьому способі зварювання відсутній присадний дріт. Його роль виконує металевий електрод **1**. Зварний шов утворюється з розплавів металу виробу **3** та металу електрода **1**.

Цим способом виконують близько 99% усіх зварних робіт, із них 80% при змінному струмі.

Продуктивність цього способу зварювання більша, ніж способу Бенардоса. Крім того, відсутнє науглецьовування утворених швів.

3. Зварювання плавкими металевими електродами і дугою непрямої дії. При цьому способі зварювання (рис. 82, в) дуга **5** горить між двома плавкими електродами **1**. Місце з'єднання виробів **3** плавиться теплотою, яка виділяється під час горіння дуги. Шов утворюється за рахунок розплавів металу виробів і електродів.

4. Зварювання трифазною дугою. При цьому способі зварювання (рис. 82, г) використовують два ізольованих один від одного електроди, які разом з виробами ввімкнено у зварювальне коло. Електроди **1** і вироби **3** приєднані до різних фаз трифазного струму. У разі ввімкнення джерела струму виникають три дуги **б**: між кожним електродом і виробами та між електродами. За продуктивністю цей спосіб зварювання в 2-3 рази перевищує зварювання одним електродом. Його використовують у процесі автоматичного зварювання виробів великої товщини.

5. За способом виконання зварних робіт. Дугове зварювання проводять ручним, напівавтоматичним і автоматичним способами.

У ході *ручного зварювання* електроди переміщують уздовж місця з'єднання виробів уручну. Для ручного зварювання використовують електроди з покриттям. Цей спосіб зварювання зручний у разі виконання коротких і криволінійних швів, швів у важкодоступних місцях, а також у процесі з'єднання виробів складної форми. Проте цей спосіб зварювання має малу продуктивність порівняно з автоматичним дуговим зварюванням під шаром флюсів. Якість шва залежить від фаховості робітника-зварника.

У ході *напівавтоматичного зварювання* подання електродного зварювального дроту механізоване, а дуга переміщується вручну. Цей спосіб зварювання застосовують тоді, коли не можна застосува-

ти автоматичне зварювання.

Ручний і напівавтоматичний способи зварювання мають малу продуктивність і дають незначну якість шва.

6. Автоматичне зварювання під шаром флюсів.

Недоліків, які мають ручне і напівавтоматичне зварювання позбавлене автоматичне зварювання під *шаром флюсів*. Серед автоматичних способів зварювання таке зварювання посідає провідне місце. При цьому способі зварювання використовують непокритий зварювальний дріт і флюси. Подання електродного дроту в зону зварювання механізоване, запалення дуги автоматизоване.

У ході автоматичного зварювання під шаром флюсів (рис. 83) дуга 4 горить між зварювальним дротом 2 і виробами 1. Дуга та зварювальна ванна 5, яка утворилась у процесі плавлення електродного дроту і країв виробів, з усіх боків щільно закриті шаром флюсів 3 товщиною 30-50 мм. За високої температури в зоні горіння дуги флюси плавляться, взаємодіють зі складовими атмосфери і поверхня розплавленого металу покривається розплавленим шлаком 6. Унаслідок переміщення електроду металеве 5 і шлакова 6 ванни застигають і утворюється зварний шов 8, який зверху прикритий твердою шлаковою кіркою 7.

Електричний струм силою 1000-4000 А і потужна, прикрита шаром флюсів, дуга сприяють збільшенню швидкості зварювання (до $3,3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) та глибини проплавлення металу, що дає можливість зварювати вироби значної товщини за одне проходження.

Порівняно з ручним зварюванням швидкість процесу в 5-10 разів більша, а витрати електроенергії – у 1,5 рази менші. Проте слід пам'ятати, що в процесі автоматичного зварювання під шаром флюсів ставляться значні вимоги до підготовки поверхонь зварюваних виробів. Тому цей спосіб зварювання доцільніше застосовувати у серійному виробництві в процесі утворення нижніх швів досить великої довжини (понад 0,5 м) і товщини (понад 3 мм).

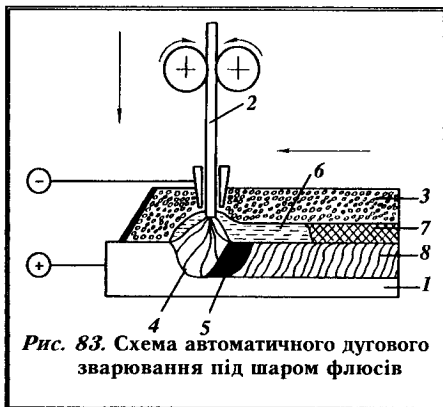


Рис. 83. Схема автоматичного дугового зварювання під шаром флюсів

У процесі автоматичного зварювання під шаром флюсів порівняно з ручним зварюванням продуктивність у 5-10 разів більша, якість утворених швів ліпша, а собівартість одного метра шва значно менша. Продуктивність збільшується за рахунок використання струмів великої сили (до 2000 А) та безперервності процесу зварювання. Щільний флюсовий захист зварювальної ванни запобігає розбризкуванню розплавленого металу, захищає його від дії атмосфери, забезпечує стійке горіння дуги та отримання зварного шва певного хімічного складу.

Для зварювання виробів з маловуглецевих і малолегованих сталей використовують кремнієвий та мангановий флюси. Їх шлаки мають великий вміст SiO_2 і MnO . Флюси виплавляють в електропечах із манганової руди та плавикового шпату. Вироби, виготовлені з багатолегованих сталей, зварюють під шаром флюсів, які отримують сплавленням плавикового шпату, алюмосилікатів й алюмініатів.

Дугове зварювання під шаром флюсів використовують у серійному та масовому виробництві в процесі виготовлення казанів, резервуарів для зберігання рідин і газів, корпусів суден, труб тощо.

7. Дугове зварювання в захисних газах. Для захисту дуги та розплавленого металу від дії складових атмосфери (кисню, азоту) крім флюсів використовують гази (водень, метан, оксид вуглецю), які здатні відновлювати оксиди заліза та оксиди інших металів або інертні гази (гелій, аргон), які не взаємодіють з компонентами матеріалів зварюваних виробів. Іноді використовують суміші двох або більше газів, наприклад, аргон і вуглекислий газ. Газове захисне середовище порівняно із флюсовим (шлаковим) спрощує процес зварювання, дає можливість спостерігати за зварним швом, але вимагає захисту зварника від випромінювання дуги. При цьому способі зварювання в зону дуги, яка горить між зварюваним виробом і плавким або неплавким електродом, подають захисний газ, який відтискає повітря від місця зварювання.

8. Аргонно-дугове зварювання та зварювання в середовищі вуглекислого газу. Ці способи зварювання часто використовують у промисловості. Тут надійніше захищається розплавлена ванна від дії атмосфери, що забезпечує ліпшу якість шва, більшу продуктивність і ширшу можливість автоматизації та механізації зварювальних робіт. Крім того, ці способи зварювання не потребують електродів з покриттями.

§ 35.5.2. Електрошлакове зварювання

великою золотою медаллю на Всесвітній виставці в Брюсселі.

Електрошлаковим зварюванням називають спосіб бездугового електричного зварювання під шаром розплавлених флюсів.

У процесі електрошлакового зварювання метали виробів і електродів розплавляють теплотою, яка виділяється під час проходження електричного струму через розплавлені флюси.

Флюси, які використовують при зварюванні, мають бути електропровідними. Вони повинні мати вищу температуру плавлення, ніж метали виробів і електродів.

Для зварювання використовують плавкі електроди без покриття. Їх кількість залежить від товщини виробів.

У простір між краями вертикально встановлених деталей **6** (рис. 84), початковою планкою **9** і шлакоутримувальними мідними повзунами **7** подають флюси і один, що кріпиться в електродотримачі **5**, як показано на рис. 84, або кілька електродних дротів **4**.

Процес зварювання починається із запалення дуги між електродним дротом **4** і початковою планкою **9**. Після розплавлення флюсів і утворення достатньої кількості розплаву **3** електродний дріт опускають у розплав і горіння дуги припиняється. Проте струм продовжує протікати через розплав, і теплота, яка виділяється в ньому, витрачається на подальше плавлення флюсів, країв зварюваних виробів та електродного дроту. Електроди плав-

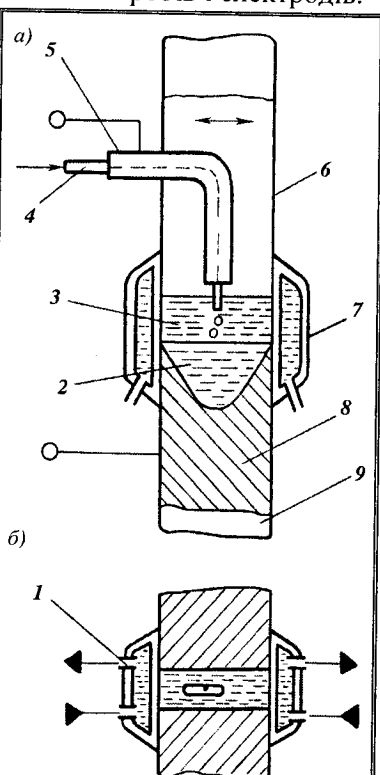


Рис. 84. Схема електрошлакового зварювання

ляться в розплаві флюсів та краплями стікають до зварювальної ванни 2. Метал з електродів під час проходження через флюси очищується від домішок (сірки, неметалевих включень, газів тощо), тобто рафінується. Отриманий шов має добрі механічні властивості. Вони майже не відрізняються від властивостей металів зварюваних виробів. Шов 8 формується між двома мідними повзунами 7, які охолоджуються водою, що протікає по трубах 1. Електродний дріт до зони зварювання подається автоматично. Так само автоматично переміщуються повзуни вздовж шва після кристалізації розплавленого металу.

Цим способом можна зварювати вироби товщиною 50-3000 мм. Для з'єднання виробів товщиною до 150 мм використовують один електрод, за більшої товщини – кілька. Діаметр електродного дроту – 2-3 мм, сила струму – 750-1000 А.

Електрошлакове зварювання використовують для виготовлення великих конструкцій – вузлів вальцівень, казанів високого тиску, деталей потужних пресів і верстатів, роторів і валів гідротурбін тощо.

Електрошлакове зварювання порівняно з автоматичним під шаром флюсів має ряд *переваг*: більшу продуктивність, меншу собівартість 1 м зварного шва, поліпшену мікроструктуру шва. Збільшення продуктивності зумовлене безперервністю процесу зварювання, виконанням шва за одне проходження в разі різної товщини зварюваних виробів і збільшенням сили струму в 1,5-2 рази. Мікроструктура та властивості шва поліпшуються за рахунок однопрохідності, в разі якої на відміну від багатопрохідності відсутня багатшаровість. Собівартість виготовлення з'єднання зменшується за рахунок збільшення продуктивності зварювання, зменшення витрат електродного дроту, флюсів та електроенергії.

Електрощлакове зварювання має також *недоліки*, до яких належать крупнокристалічність структури шва та зони, яка прилягає до нього, внаслідок повільного нагрівання й охолодження. Саме тому після зварювання вироби відпалюють для зменшення розмірів кристалів у зварному шві.

§ 35.5.3. Газове зварювання

На початку ХХ ст. газове зварювання було найпоширенішим у процесі виготовлення нерозбірних з'єднань. Тепер газове зварювання використовують в основному під час ремонтних ро-

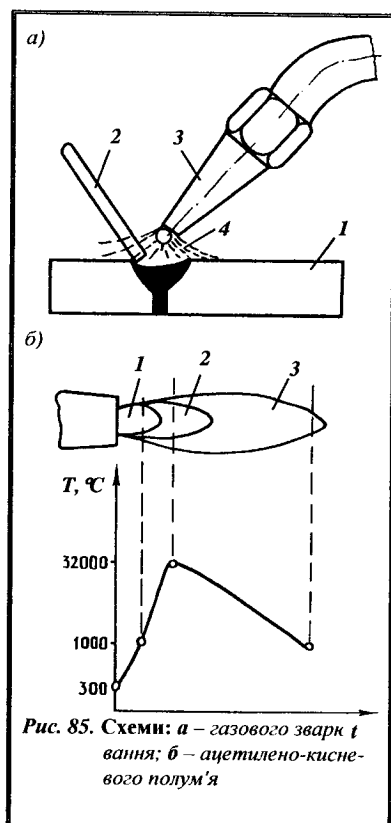
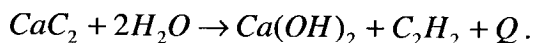


Рис. 85. Схеми: а – газового зварк-
вання; б – ацетилено-кисне-
вого полум'я

користовується ацетилен (C_2H_2), під час згорання якого виділяється найбільше теплоти. До місця проведення зварних робіт ацетилен подають у балонах, пофарбованих набіло, або беруть безпосередньо від газогенератора, в якому його отримують у процесі взаємодії води з карбідом кальцію:



У процесі взаємодії 1 кг карбіду кальцію з водою виділяється 250-300 л ацетилену.

Ацетилен легший за повітря, без кольору, має ефірний запах, добре розчиняється в ацетоні. В одному об'ємі ацетону розчиняється 23 об'єми ацетилену. Цю властивість ацетилену використовують для зберігання його в балонах. Ацетиленові балони заповнюють пористою масою (активованим вугіллям), просоченою ацетоном. Це необхідно для збільшення вмісту ацетилену в балоні та запобігання вибуху.

Тиск ацетилену в балоні дорівнює 1,5 МПа. Щоб випустити ацетилен з балона, відкривають вентиль редуктора; при цьому тиск газу в балоні знижується і ацетилен виділяється з розчинника.

Кисень необхідний для згоряння ацетилену та утворення полум'я. При виконанні зварювальних робіт використовують технічно чистий кисень. До місця проведення зварювальних робіт кисень доставляють в балонах під тиском 15 МПа. У 40-літровому балоні за тиску 15 МПа вміщується близько 6000 л кисню. Кисень – вибухонебезпечний газ. Забруднення балона, в якому зберігається кисень, і особливо його вентиль, мастилами, які самозаймаються, *неприпустимо*. Балони з киснем не можна ставити біля відкритого вогню. Балони фарбують у голубий колір. Для зниження тиску кисень від балона проходить через редуктор, а потім шлангом надходить до пальника.

2. Газові пальники. Для утворення горючої суміші, яка складається з кисню та горючого газу, і стійкого полум'я використовують газові пальники. За принципом дії пальники бувають інжекторні (всмоктувальні) – низького тиску та безінжекторні – високого або середнього тиску. На виробництві найчастіше використовують інжекторні пальники, оскільки вони безпечніші в роботі і працюють за низького та середнього тиску ацетилену.

До інжекторного пальника (рис. 86) ацетилен надходить шлангом під тиском 0,01-0,02 МПа, а кисень – під тиском 0,1-0,4 МПа. Трубкою 6 кисень надходить до сопла інжектора 4. Виходячи із сопла, струмінь кисню створює значне розрідження та засмоктує ацетилен 5 у камеру змішування 3, звідки утворена суміш газів через наконечник 2 і мундштук 1 виштовхується в атмосферу. На виході її запалюють і утворюється полум'я.

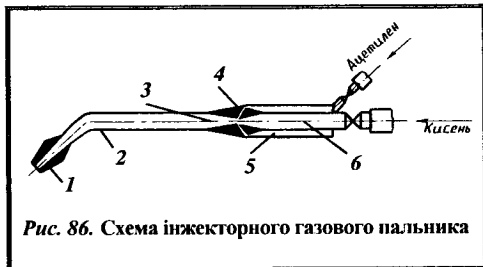


Рис. 86. Схема інжекторного газового пальника

Швидкість витікання горючої суміші газів з пальника має перевищувати швидкість її згоряння для того, щоб полум'я не проникало всередину пальника.

Безінжекторні пальники мають змінні наконечники з різними діаметрами вихідних отворів інжектора та мундштука, що дає можливість регулювати потужність зварювального полум'я.

У процесі зварювання пальник переміщують уздовж шва; при цьому дотримуються потрібного кута нахилення мундштука до поверхні зварюваних виробів. Чим більшу товщину мають зварювані вироби, тим більший кут нахилення. Для зварювання листів товщиною 1 мм кут нахилення мундштука становить 20° . Якщо товщина листів перевищує 15 мм, кут нахилення досягає 80° .

3. Присадний дріт. Для утворення шва в процесі газового зварювання використовують присадний дріт, як і в процесі електродугового зварювання неплавкими електродами.

Присадний дріт вводять у полум'я, він розплавляється і стікає у зварювальну ванну, де змішується з розплавленим металом виробів. Після кристалізації й охолодження утворюється зварний шов.

4. Полум'я. Ацетилено-кисневе полум'я складається з трьох основних зон (рис. 85, б): ядра **1**, зони зварювання **2** та факела **3**. Основною є зона зварювання, в якій ацетилен згоряє за рахунок кисню, який входить до складу газової суміші. Температура в зоні зварювання найвища (3150°C). У разі повного згоряння ацетилену утворюється вуглекислий газ та водяна пара.

Залежно від співвідношення кисню та ацетилену в горючій суміші, яка виходить з пальника, розрізняють три основних види полум'я: нормальне (відновне), окиснювальне (з надлишком кисню), науглецьовувальне (з надлишком ацетилену).

У більшості випадків у процесі газового зварювання використовують *нормальне полум'я*, яке утворюється за такого співвідношення кисню і ацетилену: (1,1-1,2) до 1. Його використовують для зварювання виробів зі сталі.

Науглецьовувальне полум'я використовують у процесі зварювання виробів із чавуну, оскільки за рахунок вуглецю полум'я поповнюється вміст вуглецю в шві, який вигорів у процесі плавлення країв зварюваних виробів.

Окиснювальне полум'я використовують в процесі зварювання виробів, виготовлених із латуні. Це зумовлено тим, що надлишок кисню утворює з цинком важкоплавкі оксиди, які захищають зварювальну ванну від подальшої взаємодії з киснем і випаровування.

Наявність у полум'ї оксиду вуглецю (CO) та водню (H_2) частково захищає розплавлений метал від окиснення. Проте в процесі зварювання активних відносно кисню металів, наприклад, алюмінію, такий захист недостатній. Тому в таких випадках застосовують флюси: буру з борною кислотою тощо.

5. Способи газового зварювання. Основними з них є два – лівий і правий.

У разі *лівого способу зварювання* (рис. 87, а) полум'я **1** переміщується справа наліво і воно напрямлене на ще незаварені краї виробів.

У разі *правого способу зварювання* (рис. 87, б) полум'я **1** переміщується зліва направо. Полум'я спрямоване на готовий шов **2**.

Лівий спосіб застосовують у процесі зварювання листів товщиною до 5 мм, а також виробів з легкоплавких металів, для яких не потрібно нагромаджувати велику кількість теплоти у місці зварювання. Правий спосіб зварювання забезпечує глибоке проварювання металу, тому його застосовують у процесі зварювання виробів товщиною понад 5 мм. У разі правого способу зварювання краще використовується теплота, а тому витрати ацетилену на 15-20% менші.

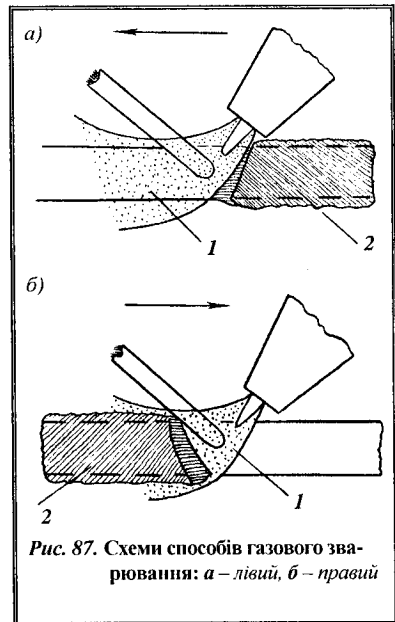


Рис. 87. Схеми способів газового зварювання: а – лівий, б – правий

§ 35.5.4. Електронно-променеве зварювання

місця з'єднання яких розплавляють теплотою, що виділяється у процесі бомбардування їх електронами, які швидко рухаються у вакуумі.

Електронно-променевим зварюванням називають спосіб утворення нерозбірного з'єднання двох виробів,

При потраплянні на поверхні зварюваних виробів електрони гальмуються, внаслідок чого їх кінетична енергія перетворюється на теплову.

Електронний промінь має велику густину енергії, тому місце з'єднання виробів глибоко проплавляється.

Електронним променем зварюють вироби у спеціальних вакуумних камерах, в які вмонтовано електронно-променеві гармати. У них утворюється сфокусований потік електронів.

Цей спосіб зварювання використовують у процесі виготовлення конструкцій із нержавіючих і міцних сплавів на основі алюмінію та титану, а також з деяких видів кераміки, скла та кераміки з металами. Зварювання електронним променем дає велику якість з'єднання, затрати енергії при цьому на 80-85% менші, ніж у процесі автоматичного зварювання під шаром флюсів.

Основними *недоліками* цього способу зварювання є необхідність створення вакууму й обмеженість розмірів вакуумних камер.

§ 35.5.5. Лазерне зварювання

Лазерним зварюванням називають спосіб утворення нерозбірного з'єднання двох виробів, місця з'єднання яких розплавляють за допомогою потужного світлового променя.

Джерелом отримання потужних світлових променів є оптичні квантові генератори – лазери. Для зварювання використовують твердотільні та газові лазери. Частіше використовують газові *СО₂-лазери*. Зварювання за допомогою лазерів проводять у будь-якому середовищі, яке пропускає світлові промені, – на повітрі, в інших газах та у вакуумі.

Зварювання лазером ефективно використовують для з'єднання виробів, виготовлених із металів, які мають різну температуру плавлення та теплопровідність, наприклад, мідь і тантал, вольфрам і алюміній, а також металів із неметалами. Воно незамінне тоді, коли необхідна локальність (лат. *«localis»* від *«locus»* – місце) нагріву або треба уникнути механічної дії на зварювані вироби, оскільки вони крихкі.

Залежно від режиму дії лазерів (імпульсний або безперервний) відомо два способи зварювання: точковий і шовний.

У процесі зварювання використовують продуктивні установки. Так, для шовного зварювання використовують установку «Квант-

17», яка має два активних елементи, виготовлених із гранату. Тривалість імпульсів – 5 мкс, їх частота – 10 Гц. Швидкість зварювання залежить від товщини виробів. Так, якщо діаметр світлового променя 0,85 мм і глибина шва 0,1 мм, то швидкість зварювання становить $8,3 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$, а якщо глибина шва 0,3 мм, то швидкість – $5,8 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$. Використання цієї установки для герметизації корпусів інтегральних мікросхем одночасно двома променями дає можливість за одну годину зварити 120 виробів.

Для зварювання виробів великої товщини використовують газові лазери безперервної дії. В автомобільній промисловості ***CO₂-лазерами*** зварюють деталі кузовів, карданного вала. Використання лазерів для зварювання карданного вала збільшує продуктивність у 2,3 рази порівняно з електродуговим способом. Крім того, зменшується деформація виробів.

Значне місце займають лазери у випадку приварювання виводів контактів напівпровідникових пристроїв, тонкоплівкових схем; при з'єднанні деталей у важкодоступних місцях, наприклад, всередині електровакуумних приладів.

Неметалеві матеріали (скло, кераміку тощо) зварюють ***CO₂-лазерами***. Випромінювання з довжиною хвилі 10,6 мкм добре поглинається склом, тому лазери використовують для виготовлення скляних термометрів, зварювання скляних і кварцових трубок діаметром до 200 мм і товщиною до 6 мм.

§ 35.5.6. Плазмове зварювання

Плазмовим зварюванням називають спосіб утворення нерозбірного з'єднання двох виробів, місця з'єднання яких розплавляють плазмою.

Плазму отримують у спеціальних приладах, які називають ***плазмотронами***. Будова та принципи роботи плазмотронів описано у § 10.3.

Для зварювання використовують плазму у вигляді потоку, температура якого досягає 30000°C . Потужність плазмового потоку регулюють зміною сили струму та напруги, складу та витрат плазмутворюючого газу, відстані між соплом і зварюваними виробами. Змінюючи потужність плазми, можна зварювати вироби товщиною 0,08-5 мм; отриманий шов дуже якісний.

Для зварювання виробів, виготовлених із металів, використовують плазмотрони із залежною дугою. Напівпровідникові та діелектричні матеріали зварюють за допомогою плазмотронів із незалежною дугою.

Порівняно з аргонно-дуговим зварюванням за допомогою вольфрамових електродів плазмове зварювання має ряд *переваг*.

По-перше, плазма як концентроване джерело теплової енергії дає можливість зварювати вироби товщиною до 10 мм без присадного дроту.

По-друге, плазма є стабільною, що забезпечує якість швів.

Недолік полягає в недовговічності плазмотронів, оскільки швидко виходять з ладу сопла й електроди.

35.6. Термомеханічні способи зварювання

§ 35.6.1. Електроконтактне зварювання

Електроконтактним зварюванням називають спосіб утворення нерозбірного з'єднання двох виробів, місця з'єднання яких нагрівають

теплотою, що виділяється під час проходження електричного струму через зону зварювання та механічного стискання розігрітих виробів.

Згідно із законом Джоуля–Ленца в зоні зварювання виділяється певна кількість теплоти:

$$Q = I^2 \times R \times t,$$

де: *I* – сила зварювального струму;

R – опір;

t – час проходження струму через місце контакту зварюваних виробів.

Сила струму досягає десятків і навіть сотень тисяч ампер. Такі сили струму отримують за допомогою знижувальних однофазних трансформаторів, які мають у вторинній обмотці найчастіше лише один виток.

Місце контакту (від лат. «*contactus*» – дотик) зварюваних виробів має найбільший опір. Тут виділяється найбільша кількість теплоти. Опір залежить від стану зварюваних поверхонь, опору матеріалів, тиску, який прикладають до зварюваних виробів та інших чинників.

Час зварювання залежить від товщини виробів і матеріалу, з якого вони виготовлені, та змінюється від сотих і навіть тисячних часток секунди до кількох хвилин.

З усіх видів електроконтактного зварювання найширше використовують точкове, стикове та шовне.

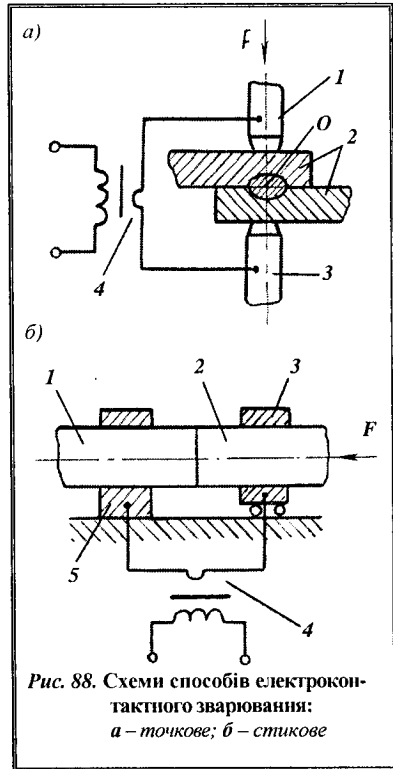
1. Точкове зварювання. У процесі точкового зварювання (рис. 88, а) вироби **2** затискають між електродами **1** і **3**, до яких надходять струм великої сили. Джерелом струму є зварювальний трансформатор **4**, вторинна обмотка якого підімкнена до електродів. Електричний струм подають короткочасними імпульсами, які називають **тривалістю зварювання** (0,01-0,5 с). У місцях дотику виробів один до одного метал виробів набуває пластичності або розплавляється. Після вимкнення струму і припинення дії сили **F** утворюється «зварна точка» **O** (рис. 88, а).

Електроди виготовляють із сплавів на основі міді та з чистої міді. Їх охолоджують водою.

Точкове зварювання виконують на стаціонарних і переносних машинах. Стаціонарні машини бувають одно- та багатоточковими. Багатоточкові машини мають близько 50 електродів. Ці машини досить продуктивні, роблять до 10000 точок за годину. Продуктивність одноточкових машин – 250-2000 точок за годину.

Точкове зварювання легко автоматизувати. Його використовують у масовому та великосерійному виробництві для з'єднання виробів з вуглецевих і легованих конструкційних сталей, алюмінієвих, мідних, титанових сплавів тощо. Товщина зварюваних виробів може дорівнювати 0,001-30 мм.

2. Стикове зварювання. У процесі стикового зварювання (рис. 88, б) вироби закріплюють у мідних затискачах **3** і **5** зварювальної машини. Один із затискачів рухомий **3**, другий – нерухомий **5**. Переміщують



рухомий затискач і стискають вироби *1* і *2* із силою *F* за допомогою спеціального механізму стискання.

Стикове зварювання проводять двома способами: 1) опором і 2) оплавленням.

У процесі зварювання опором поверхні виробів ретельно очищують і прикладають одну до одної. Після цього вмикають джерело струму *4*. Як тільки вироби нагріються до пластичності, одночасно з вимкненням струму вироби стискають, унаслідок чого утворюється зварне з'єднання.

Зварювання опором використовують для з'єднання виробів, виготовлених із маловуглецевих сталей і кольорових металів.

3. Шовне зварювання. Шовне, або роликове, зварювання застосовують для утворення міцних і щільних швів у процесі виготовлення тонкостінних посудин, призначених для зберігання та транспортування рідин, газів та інших речовин, а також у виробництві тонкостінних труб. Таким зварюванням з'єднують листи товщиною 0,3-3 мм із нержавіючої хромонікелевої сталі, латуні, бронзи та алюмінієвих сплавів. Підготовлені до зварювання вироби *2* складають внапуск і пропускають між обертовими роликами-електродами *1* і *3* шовної машини зварювання (рис. 89).

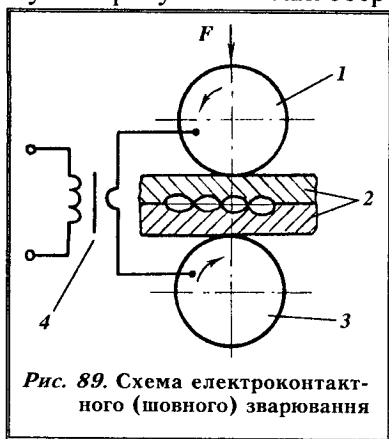


Рис. 89. Схема електроконтактного (шовного) зварювання

Через електроди проходить електричний струм. У місці дотику зварюваних виробів виділяється теплота. Спеціальний привід (на рис. 89 не показано) одному чи обома роликам надає обертання. У разі ввімкнення струму й одночасного обертання роликів відбуваються переміщення роликів та нагрівання до розплавлення контактуючих поверхонь виробів. Під дією прикладеного зусилля *F* вироби стискаються та зварюються. Зусилля, прикладене до роликів, досягає 10 кН. Швидкість зварювання виробів із сталі становить 0,009-0,1 м·с⁻¹. Роликове зварювання проводять на стаціонарних і переносних машинах.

§ 35.6.2. Дифузійне зварювання

Дифузійним зварюванням називають спосіб утворення нерозбірного з'єднання двох виробів, який ґрунтується на взаємній дифузії атомів зварюваних поверхонь цих виробів.

Щоб прискорити дифузійні процеси, з'єднувані вироби нагрівають до температури рекристалізації найлегкоплавкішого матеріалу і стискають. Дифузійне зварювання у більшості випадків проводять у вакуумі (10^{-4} - 10^{-7} кПа). Висока температура та вакуум сприяють руйнуванню оксидних плівок на поверхні зварюваних виробів, які перешкоджають дифузії атомів матеріалів контактуючих виробів. Дифузійне зварювання можна проводити також у середовищі інертних захисних газів, наприклад, в аргоні.

У процесі дифузійного зварювання вироби 3 (рис. 90) вставляють в охолоджувану водою камеру 2, в якій створено вакуум 5 і нагрівають до певної температури за допомогою вольфрамового чи молібденового нагрівника або індуктора 4, по якому протікає велико частотний струм 6. Для нагрівання важкоплавких металів і сплавів використовують електронні промені. Після досягнення відповідної температури до заготовок прикладають зусилля, яке становить 1-20 МПа. Зусилля прикладають за допомогою механічного 1, гідравлічного чи пневматичного пристрою протягом 5-20 хв. Такий тривалий час витримування збільшує площу контакту зварюваних виробів і товщину дифузійного з'єднання.

З'єднання, утворені дифузійним зварюванням, є міцними, корозієстійкими, щільними. Саме тому дифузійне зварювання у вакуумі застосовують для виготовлення дуже відповідальних конструкцій. Цим способом зварюють однакові та різні конструкційні матеріали незалежно від їх твердості. Дифузійне зварювання не потребує електродів, флюсів, присадного дроту тощо. Маса звареної конструкції не збільшується.

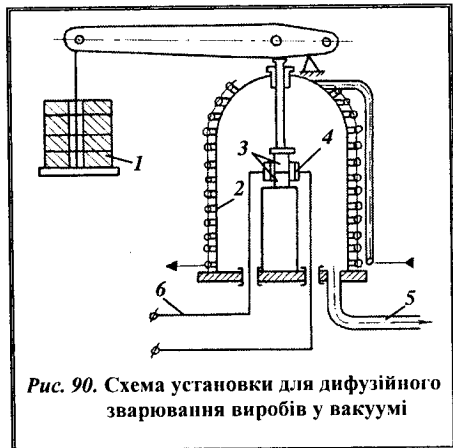


Рис. 90. Схема установки для дифузійного зварювання виробів у вакуумі

Після зварювання не потрібно очищувати шви від шлаку чи окалини.

Дифузійне зварювання застосовують для з'єднання виробів з тих конструкційних матеріалів, які важко або неможливо зварити іншими способами (наприклад, сталь з чавуном, титаном, ніобієм, вольфрамом, металокерамікою; метали із склоом, графітом, кварцом), для жароміцних сплавів, важкоплавких і хімічно активних металів, а також для отримання багатошарових виробів, наприклад, біметалевих.

Дифузійне зварювання застосовують у космічній техніці та радіоелектроніці, літако-, приладобудуванні тощо. Цей спосіб зварювання використовують для з'єднання деталей і вузлів вакуумних приладів, у процесі виробництва інструментів, високотемпературних нагрівників тощо.

§ 35.6.3. Газопресове зварювання

Газопресовим зварюванням називають спосіб утворення нерозбірного з'єднання

двох виробів, місця з'єднання яких нагрівають газовим полум'ям для збільшення пластичності або для оплавлення з подальшим стискуванням.

Зварювання за *підвищеної пластичності* проводять або за постійного тиску, або за визначеною температурою. У першому випадку перед стискуванням зварювані поверхні ретельно очищують. Потім прикладають зусилля $15\text{--}25 \text{ МПа/м}^2$ і ззовні по всьому периметру стискування виріб нагрівають теплотою, яка виділяється при горінні газу. Після досягнення потрібної осадки нагрівання та стискування припиняють.

Якщо задано температуру зварювання, то стискування збільшують із підвищенням температури. Коли температура виробів досягне $1150\text{--}1250^\circ\text{C}$, а тиск збільшиться до $25\text{--}35 \text{ МПа}$ – процес зварювання закінчується.

У процесі зварювання з *оплавленням* місце з'єднання виробів нагрівають до температури початку плавлення, потім прикладають зусилля $30\text{--}50 \text{ МПа}$.

Газопресове зварювання – це дуже продуктивний спосіб утворення нерозбірних з'єднань, який забезпечує велику якість зварних з'єднань. Найчастіше цей спосіб зварювання застосовують під час спорудження трубових нафто- та газогонів, у процесі з'єднання рейок тощо.

35.7. Механічні способи зварювання

При цих способах зварювання для утворення нерозбірного з'єднання використовують механічну енергію. Місце з'єднання виробів не плавиться, а перебуває у твердому стані.

§ 35.7.1. Ультразвукове зварювання

Ультразвуковим зварюванням називають спосіб утворення нерозбірного з'єднання двох виробів, місця з'єднання яких нагрівають до

пластичності та стискають за допомогою механічних коливань ультразвукової частоти.

Під дією ультразвукових коливань зварювані поверхні виробів очищуються від оксидних плівок, нагріваються та пластично деформуються. У разі наближення поверхонь виробів на відстань дії між-атомних сил між ними виникає міцний зв'язок.

Температура в зоні зварювання невисока, наприклад, у процесі зварювання виробів із міді вона не перевищує 600°C, а з алюмінію – 200-300°C. Це дуже важливо в процесі зварювання виробів, виготовлених із хімічно активних металів, а також пластмас.

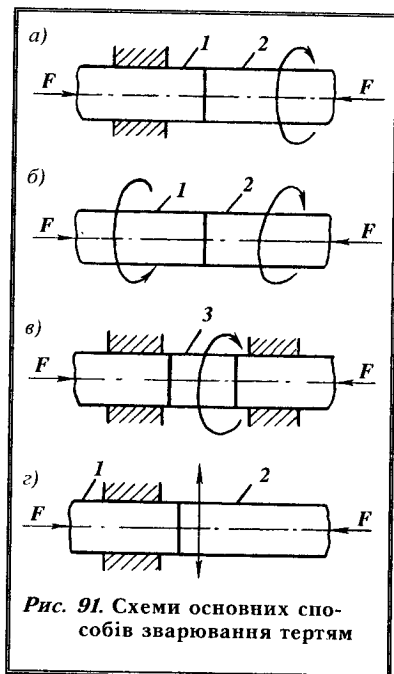
Ультразвукове, як і електроконтактне, зварювання може бути точковим і шовним. Зварюють вироби товщиною 0,001-1 мм, а також приварюють тонкі листи та фольгу до виробів різної товщини.

Ультразвукове зварювання використовують у радіоелектроніці, приладобудуванні, авіаційній промисловості тощо.

§ 35.7.2. Зварювання тертям

Зварюванням тертям називають спосіб утворення нерозбірного з'єднання двох виробів, місця з'єднання яких нагріваються до пластичності теплою, яка виділяється в разі взаємного тертя з наступним стисканням.

Унаслідок тертя механічна енергія перетворюється на теплову, оксидні плівки на контактуючих поверхнях руйнуються, збільшується пластичність. Між контактуючими поверхнями виникають металеві зв'язки, які приводять до утворення зварного з'єднання, тобто шва.



Зварюванням за допомогою тертя з'єднують одно- та різномірні метали та сплави з різними властивостями, наприклад, мідь із сталлю, алюміній із титаном тощо.

Основні параметри зварювання тертям – швидкість відносного переміщення зварюваних поверхонь, тривалість нагрівання, питоме зусилля, пластична деформація. Ці параметри залежать від властивостей зварюваних металів, площі перетину та конфігурації виробу. Для отримання якісного з'єднання в кінці процесу зварювання необхідно швидко припинити рух виробів і прикласти до них велике зусилля. Отримане з'єднання, тобто шов, має досить добрі механічні властивості.

На рис. 91 показано схеми основних способів утворення нерозбірних з'єднань тертям: обертання однієї деталі 2 (рис. 91, а), обертання обох деталей 1 і 2 (рис. 91, б), обертання вставки 3 (рис. 91, в), зворотно-поступальний рух однієї деталі 2 (рис. 91, г).

У промисловості зварювання тертям використовують для виготовлення різальних інструментів, пуансонів, осей, штампів тощо.

У процесі зварювання тертям по-рівняно з контактним зварюванням у стик у 5-10 разів зменшуються затрати енергії.

Цей спосіб зварювання можна здійснити на звичайних різальних верстатах (токарних, фрезувальних, свердлильних) або на спеціальних машинах, які випускає машинобудівна промисловість.

§ 35.7.3. Зварювання вибухом

Зварюванням вибухом називають спосіб утворення нерозбірного з'єднання двох виробів, при якому вироби з'єднуються силою напрямленого вибуху заряду вибухової речовини, що зумовлює їх сильне стискання.

У приповерхневих шарах виробів, які співударяються, метал тече подібно до рідини, дифузує та зварюється.

Зварювання вибухом застосовують, в основному, для виготовлення біметалевих виробів, найчастіше листових. Лист, який треба приварити по всій площині до іншого, встановлюють на відстані 2-3 мм і під кутом до нього. На поверхню приварюваного листа кладуть вибухову речовину (порох), яку запалюють. Виникає вибухова хвиля, яка поширюється по всій поверхні приварюваного листа і тисне на нього з величезною силою. Хвиля стискає листи, проходить взаємна дифузія, внаслідок якої відбувається зварювання.

Зварювання вибухом застосовується для з'єднання як однорідних (срібло, алюміній, титан, мідь, сталь тощо), так і різнорідних (титан і сталь, титан і мідь, алюміній і титан тощо) металів.

35.8. Контроль якості зварних з'єднань

§ 35.8.1. Дефекти зварних з'єднань

У процесі зварювання не завжди вдається уникнути дефектів. Вони бувають зовнішні та внутрішні.

До *зовнішніх дефектів* належать нерівномірність поперечного перерізу вздовж швів, незаповнений шов, тріщини, відкриті порожнини та шлакові включення.

Внутрішні дефекти – це непроварені краї або несплавлення окремих шарів у процесі багат шарового зварювання, порожнини, тріщини, шлакові включення тощо. До внутрішніх дефектів належить зміна хімічного та структурного складу металу зварного шва та шарів основного металу, які прилягають до шва. Після термомеханічних і механічних способів зварювання вироби можуть бути значно деформованими. Дефекти у зварних з'єднаннях утворюються з різних причин. У процесі дугового та газового зварювання переріз швів буде нерівномірним, якщо порушено режим зварювання або зварник немає достатньої фаховості.

Причиною утворення порожнин у зварних швах є насичення металу воднем, азотом та іншими газами, які проникають до шва під час зварювання електродами з вологим покриттям або в разі забруднення країв зварюваних виробів.

Тріщини та непроварені місця – найнебезпечніші дефекти зварних з'єднань. Тріщини утворюються найчастіше в процесі зварювання металів, які мають великий вміст сірки, фосфору та інших домішок.

Причинами непроварів можуть бути мала сила струму, погане очищення зварюваних поверхонь виробів, низька фаховість зварників тощо.

§ 35.8.2. Методи контролю якості зварних з'єднань

Після зварювання виробу оглядають для виявлення дефектів. Найпростішим способом є зовнішній огляд місця зварювання за до-

помогою лупи. Такий огляд дає можливість виявити поверхневі раковини, порожнини, малі тріщини, шлакові включення тощо. Внутрішні дефекти зварних з'єднань виявляють випробуванням на щільність, просвічуванням x - та γ -променями, за допомогою магнітних і ультразвукових дефектоскопів тощо. Проводять випробування і механічних властивостей зварних швів на розтяг і удар.

Дуже часто практикується випробування на згин. Це випробування полягає у визначенні кута згину, при якому в зварному шві з'являється перша тріщина.

Випробування на щільність проводять для баків, резервуарів, казанів, труб та інших ємностей, призначених для зберігання, перевезення або передавання на відстань рідин і газових речовин. Ці випробування проводять за допомогою гасу, стисненого повітря або води. Найчастіше застосовують випробування гасом і водою. У процесі випробування гасом один бік шва забілюють крейдою, а другий змочують гасом. Якщо на забіленій крейдою поверхні шва з'являються темні газові плями, то у шві є наскрізні дефекти. Отже, шов нещільний.

За допомогою води випробовують зварні з'єднання казанів, труб, баків тощо. Механічні випробування на розтяг, згин, ударну в'язкість проводять на окремо виготовлених спеціальних зразках.

Для виявлення внутрішніх дефектів у зварних швах труб газо- та нафтогонів використовують просвічування γ -промінням, яке випромінюють радіоактивні елементи. Найчастіше використовують ізотопи кобальту.

35.9. Техніка безпеки в процесі виконання зварних робіт

Зварюють вироби у зварювальних цехах, де застосовують електричний струм, гази (кисень, ацетилен, аргон, вуглекислий газ тощо) під високим тиском, вогненебезпечні горючі гази, електричні дуги, проміння яких шкідливо впливає на органи зору людини. У процесі зварювання з використанням покритих електродів виділяються шкідливі гази, а тому зварювальні цехи повинні мати вентиляцію. Розбризкування розплавленого металу, а також іскри можуть спричинити опіки шкіри та пошкодження одягу.

До виконання зварювальних робіт можна допускати лише тих працівників, які пройшли спеціальну підготовку і склали іспити з технології виконання цих робіт і правил техніки безпеки.

Дотримання правил техніки безпеки – надзвичайно важливий обов'язок робітників зварювальних цехів і адміністрації виробництва.

Місце праці зварника має бути обладнане вентиляцією, укомплектоване справними пристроями та інструментами, а зварювальник – спецодягом (костюм і рукавиці) і захисними засобами (темні окуляри, шолом, гумовий килимок, дерев'яний стілець).

Правила техніки безпеки повинні висіти в цеху на видному місці.



ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ РІЗАННЯМ

36.1. Поняття про різання

Різанням називають надання заготовці певної форми, розмірів і шорсткості поверхні за допомогою спеціальних інструментів.

Різання проводять на верстатах за допомогою різальних інструментів, а також використовують нові способи: електроіскровий, анодно-механічний, хіміко-механічний, електрохімічний, ультразвуковий тощо.

У процесі різання із заготовки зрізують шар матеріалу у вигляді стружки.

Чим більша кількість матеріалу зрізається із заготовки, тим дорожчою стає деталь. Саме тому для виготовлення деталей використовують заготовки, які за формою нагадують деталі та мають малий припуск на різання. Такі заготовки отримують способами точного лиття, штампування тощо.

Припуском на різання називають шар конструкційного матеріалу, який необхідно зрізати із заготовки, щоб надати їй форми та розмірів деталі.

Отже, розмір заготовки відрізняється від розміру деталі на величину припуску (на рис. 92 припуск на різання заштриховано).

Заготовки, залежно від призначення деталі, виготовляють із металів, сплавів, пластмас та інших конструкційних матеріалів.

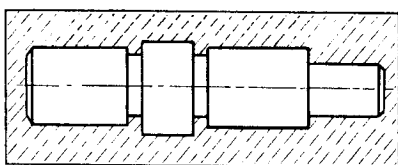


Рис. 92. Ескіз деталі з припуском на різання

Незважаючи на те, що способи отримання заготовок і їх різання за допомогою інструментів, постійно вдосконалюють, трудомісткість верстатних робіт у машинобудуванні становить 30-50% загальної трудомісткості виготовлення машин.

36.2. Основні способи різання

Поверхні майбутніх деталей можуть бути плоскими, циліндричними, а можуть мати і складну криволінійну форму. Для утворення поверхні потрібної форми, а також (у разі потреби) отворів у майбутній деталі використовують такі основні способи різання: точіння, свердління, фрезування, стругання, протягування, шліфування (рис. 93).

Для виготовлення деталі певної форми, розмірів і шорсткості поверхні заготовки та інструмент закріплюють на верстатах.

Рухи, які відбуваються на верстатах поділяють на основні та допоміжні.

Основні рухи призводять до зрізання шару матеріалу із заготовки, який називають **стружкою**.

У разі **допоміжних рухів** шар матеріалу не зрізують. Допоміжні рухи підводять інструмент до заготовки або, навпаки, відводять його.

Основний рух складається з головного руху (D_r) та руху подання (D_s). Рух, у якого швидкість найбільша, називають **головним**. Рух подання забезпечує безперервність процесу різання.

Поєднання головного руху та руху подання призводить до різання, тобто зрізання стружки із заготовки.

Точінням називають спосіб обробки поверхонь заготовки, яка обертається навколо своєї осі за допомогою різця.

У процесі точіння (рис. 93, а) головним рухом є обертання заготовки 2 навколо своєї осі.

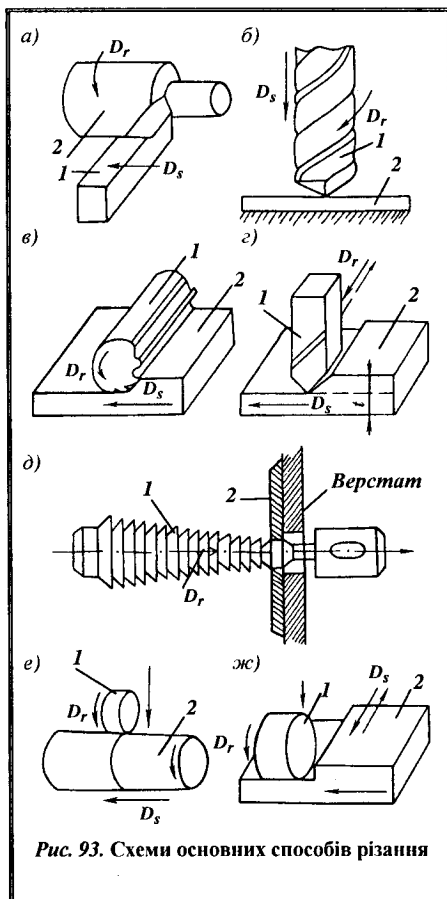


Рис. 93. Схеми основних способів різання

Поступальне переміщення інструмента (різця) **1** відносно заготовки **2** (вздовж її осі) називають **рухом подання**.

Точінням обробляють циліндричні, конічні та фасонні зовнішні і внутрішні поверхні, торцеві поверхні, а також нарізують різь. Процес точіння здійснюють на токарних, карусельних, револьверних, розточувальних верстатах, токарних і револьверних автоматах і напівавтоматах.

Свердлінням називають виготовлення отвору в заготовці за допомогою свердла.

Це один з найпоширеніших способів виготовлення отворів різанням (рис. 93, б). У ході свердління головним рухом є обертання інструмента (свердла) **1** або заготовки **2** навколо своєї осі, а рухом подання – переміщення інструмента вздовж своєї осі. Заготовка під час свердління на свердлильному верстаті закріплена нерухомо.

Свердління проводять на свердлильних, токарних, револьверних, фрезерних верстатах, токарних і револьверних автоматах тощо.

У процесі виготовлення отворів на верстатах токарної групи головним рухом є обертання заготовки, а рухом подання – переміщення свердла вздовж осі.

Щоб зробити точнішим розмір, а також отримати відповідну шорсткість поверхні, отвори обробляють зенкеруванням, розточуванням або розвертуванням.

Фрезуванням називають спосіб обробки плоских і криволінійних поверхонь заготовки за допомогою фрези.

Головним рухом є обертання інструмента (фрези) **1**, а рухом подання – поступальне переміщення заготовки **2** або інструмента (рис. 93, в).

Фрезування здійснюють на фрезувальних верстатах.

На практиці застосовують два способи фрезування: зустрічне й однобічне (рис. 94).

У ході **зустрічного фрезування** заготовку подають назустріч обертанню фрези (франц. «*fraise*» – обертовий інструмент з лезами). При цьому кожний зубець фрези зрізує стружку змінної товщини, яка зростає від нуля до найбільшої товщини на виході (рис. 94, а).

Однобічне фрезування має місце тоді, коли заготовку подають у напрямі обертання фрези. При цьому кожний зубець фрези зрізує стружку, товщина якої зменшується від найбільшої до нуля. Цей спосіб забезпечує більшу стійкість фрези, меншу шорсткість поверхні та затрати енергії (рис. 94, б).

Струганням називають спосіб обробки плоских поверхонь заготовки за допомогою різця.

Головним рухом у разі цього способу (рис. 93, г) є зворотно-поступальне переміщення інструмента або заготовки.

Протягуванням називають спосіб обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь заготовки за допомогою протяжки.

Це дуже продуктивний спосіб різання, який забезпечує високу точність розміру та малу шорсткість обробленої поверхні (рис. 93, д). Головним рухом є поздовжнє переміщення інструмента, а рух подачі відсутній.

Шліфуванням називають спосіб обробки поверхонь заготовки за допомогою шліфувальних кругів з метою досягнення точніших розмірів і зменшення шорсткості поверхні.

Найпоширеніші способи шліфування: *кругле зовнішнє* (рис. 93, е), *кругле внутрішнє* /для обробки отворів/ і *плоске* (рис. 93, ж) /для обробки площин/.

Головним рухом у ході шліфування є обертання інструмента. Рух подання переважно комбінований і складається з кількох рухів. Наприклад, у процесі круглого зовнішнього шліфування – це обертання заготовки навколо своєї осі, поздовжнє переміщення заготовки відносно інструмента та поперечне переміщення інструмента відносно заготовки.

36.3. Різальні інструменти.

Схема процесу різання та види стружки

§ 36.3.1. Класифікація різальних інструментів

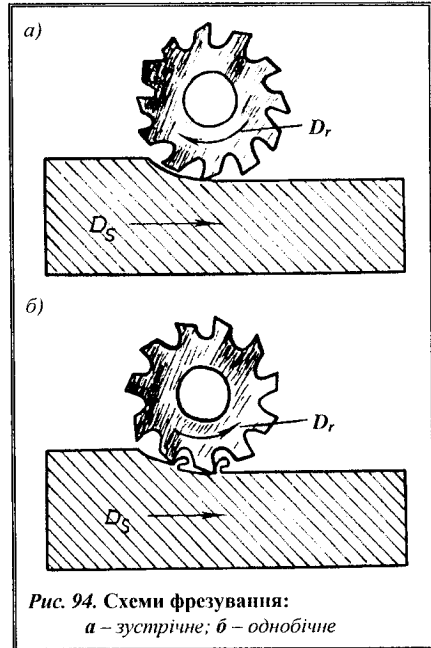


Рис. 94. Схеми фрезування:
а – зустрічне; б – однібічне

Різання проводять на верстатах за допомогою спеціальних інструментів, які поділяють на од- та багатолезові.

1. Однолезові інструменти. Вони мають по одному різальному лезу. Такі інструменти використовують в процесі точіння та стругання. Їх називають *різцями*.

Токарні різці залежно від виду роботи, яку вони виконують, поділяють на прохідні (для чорнової та чистової роботи), підрізні, відрізні, розточні, різьбові (для нарізання зовнішньої та внутрішньої різі) та фасонні.

За напрямом подання токарні різці поділяють на праві та ліві.

2. Багатолезові інструменти. Вони мають більше одного різального леза – це свердла, зенкери, розвертки, мітчики, плашки, фрези, протяжки, шліфувальні круги тощо.

Свердла – це інструменти, за допомогою яких роблять отвір у суцільному матеріалі. Свердла поділяють на спіральні, кільцеві та ін.

Спіральні свердла – найпоширеніші інструменти для свердління отворів. Їх виготовляють діаметром 0,1-80 мм.

Якщо глибина отворів перевищує 30 мм, використовують *спеціальні свердла*.

Для виготовлення наскрізних отворів діаметром понад 80 мм використовують *кільцеві свердла*, складовою яких є порожнистий корпус (рис. 95). На торцевій частині корпусу **1** закріплені пластинки, які вирізають у заготівці кільцевий канал. Після свердління таким

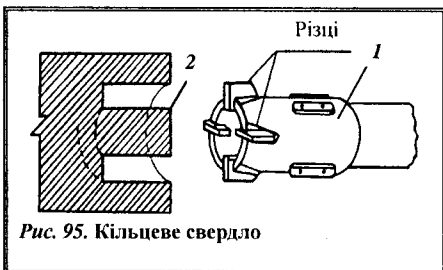


Рис. 95. Кільцеве свердло

інструментом крім стружки залишається циліндричний стрижень **2**, з якого можна виготовляти дрібні деталі. Отже, кільцеві свердла вигідно відрізняються від інших, оскільки руйнується значно менше матеріалу, в 3-4 рази вища продуктивність різання.

Зенкери за конструкцією нагадують свердла. Різниця полягає в тому, що вони не мають поперечного леза, а різальних лез – понад два.

Зенкерами обробляють отвори, отримані литтям, куванням, штампуванням або свердлінням. Після зенкерування отвори мають точніші розміри і меншу шорсткість поверхні.

Розвертки це – інструменти, за допомогою яких підвищують точність розмірів і зменшують шорсткість поверхні отворів, отриманих свердлінням і зенкеруванням. Розвертки бувають ручні, машинні та ін.

Мітчики та **плашки** використовують для нарізування різі. Мітчиками нарізують різі в отворах (наприклад, у мутрі), плашками – на валах (наприклад, на прогоничах).

Різь часто застосовують у машинобудуванні для з'єднання деталей між собою та для передачі руху.

Фрезами обробляють плоскі, фасонні та інші поверхні.

Найчастіше використовують циліндричні, торцеві, дискові, відрізні, фасонні та інші типи фрез.

Протяжки виготовлені переважно у вигляді стрижня, на поверхні якого розташовані зубці. Кожний зубець має різальне лезо. Висота кожного наступного зубця перевищує висоту попереднього. Загальний припуск зрізується за один робочий хід інструмента.

Протяжками обробляють отвори різної форми та зовнішні поверхні. Залежно від форми майбутнього отвору або зовнішньої поверхні виготовляють круглі, шліцеві, шестигранні тощо протяжки. Один зубець протяжки зрізає шар матеріалу товщиною 0,02-0,24 мм.

Шліфувальні круги складаються з абразивних частинок, з'єднаних зв'язкою. Кожна частинка зрізує дуже тоненьку стружку. А оскільки їх багато, швидкість різання велика, відповідно велика й продуктивність різання. Різальні властивості шліфувальних кругів визначаються властивостями абразивного матеріалу, з якого виготовлені вони.

Для виготовлення шліфувальних кругів використовують абразивні матеріали (електрокорунд, карборунд, алмаз тощо) і зв'язку (вогнетривка глина, тальк, кварц, розчин скла тощо; бакеліт, основою якого є фенолформальдегідна смола та інші речовини).

Форма шліфувальних кругів різна.

Плоскі круги призначені для зовнішнього круглого шліфування; **чашкової форми** – для шліфування площин, а **тарілчасті** – для загострення фрез, розверток, мітчиків тощо.

Перед встановленням шліфувальні круги перевіряють на відсутність тріщин, простукуючи їх дерев'яним молоточком. Великі вимоги ставлять до закріплення кругів. Недотримання цих вимог спричиняє нещасні випадки та аварії.

§ 36.3.2. Схема процесу різання та види стружки

Першим дослідником процесу різання та утворення стружки був І.А. Тіме, який опублі-

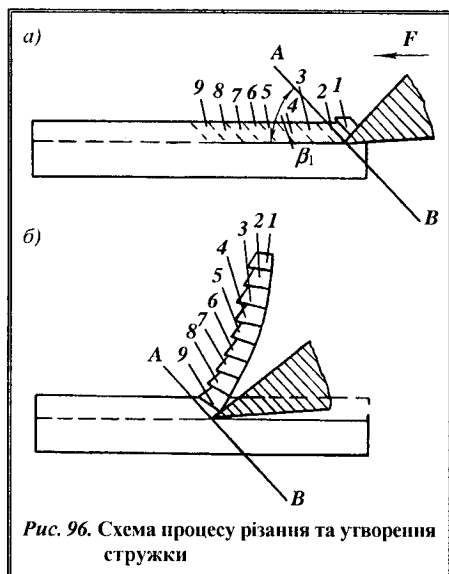


Рис. 96. Схема процесу різання та утворення стружки

кував свої праці ще в 1870 р. Основи різання залишаються незмінними незалежно від того, яким інструментом (різцем, свердлом, фрезою тощо) виконується різання.

На (рис. 96, а) показано схему процесу різання. Різець, який переміщується в напрямі стрілки під дією сили F заглиблюється в заготовку, стискаючи розташований перед ним шар матеріалу, внаслідок чого в зрізуваному шарі утворюються значні напруження, які зумовлюють пружну та пластичну деформації.

Коли створені у цьому шарі напруження перевищать міцність матеріалу, елемент стружки 1 зсунеться по площині AB . З оброблюваною поверхнею ця площина утворює кут β_1 , який називають *кутом зсуву*, $\beta_1 = 45^\circ$.

Переміщуючись далі, різець передньою поверхнею послідовно стискає та зсуває наступні об'єми зрізуваного шару, що спричинює утворення елементів стружки $2, \dots, 9$ і т. д., які також будуть відокремлені під кутом β_1 від основного матеріалу (рис. 96, б).

Вид стружки залежить від властивостей матеріалу, з якого виготовлена заготовка, режиму різання та геометрії різальної частини інструмента.

У процесі різання пластичних матеріалів утворюється *зливна* стружка – довга стрічка, окремі елементи якої явно не виражені.

Стружка *сколювання* утворюється у більшості випадків у процесі різання м'яких конструкційних матеріалів у разі малих швидкостей різання.

Під час різання крихких матеріалів, наприклад, чавуну, бронзи, утворюється стружка *надлому*, яка складається з окремих елементів.

36.4. Елементи режиму різання

До основних елементів режиму різання належать глибина різання, величина подачі та швидкість різання. Розглянемо їх на прикладі точіння.

Глибиною різання (t) називають товщину шару матеріалу, який зрізують за один прохід (мм).

Її визначають як відстань між оброблюваною й обробленою поверхнями, виміряну перпендикулярно до осі заготовки:

$$t = \frac{D - d}{2},$$

де D, d – діаметр відповідно початкової заготовки та обробленої заготовки за один прохід різця.

Подачею (S) називають відстань, на яку перемістився різець в напрямі руху подачі за час, поки заготовка зробить один оберт.

Швидкість різання (V) – це швидкість головного руху. Її вимірюють довжиною шляху, який проходить точка, що лежить на оброблюваній поверхні заготовки, відносно різальної кромки інструменту за одиницю часу. Швидкість різання визначають за формулою:

$$V = \frac{\pi \times D \times n}{1000},$$

де: D, d – діаметр заготовки, мм;

n – частота обертання заготовки.

Режим різання визначають глибиною різання, подачею та швидкістю різання. Його вибирають таким, який би давав найбільшу продуктивність різання. У першу чергу, вибирають глибину різання, виходячи з припуску на різання. Прагнуть увесь припуск зрізати за один прохід. Потім вибирають величину подачі, враховуючи вимоги до точності розмірів і жорсткості поверхні, та вибирають швидкість різання, яка має бути максимальною за вибраних глибини різання та величини подачі.

Вибираючи швидкість різання, враховують потужність двигуна верстата та стійкість інструменту.

Стійкістю інструменту називають час його роботи від загострення до загострення при певному режимі різання.

Цю величину вимірюють у хвилинах і вона залежить від матеріалу заготовки, матеріалу інструменту, режиму різання тощо.

Стійкість інструмента впливає на продуктивність і вартість різання. Чим більша стійкість інструмента, тим менша вартість різання.

Дані про стійкість різних інструментів наведені в довідниках. Так стійкість токарних різців, виготовлених із швидкорізальної сталі, становить 30-60 хв., а з твердих сплавів – 40-90 хв., стійкість циліндричних фрез – 180-240 хв.

36.5. *Мастильно-охолодні рідини та способи їх подання до зони різання*

У процесі різання металів близько 95% механічної роботи, деформації та тертя перетворюється в теплоту, яка розподіляється між стружкою, заготовкою та інструментом. Чим більше теплоти поглине стружка, тим менше залишиться для заготовки та інструмента. Відповідно розміри деталі будуть точнішими, а інструмент довговічнішим.

Щоб зменшити температуру в зоні різання, використовують мастильно-охолодні рідини (МОР). Використання МОР дає змогу збільшити швидкість різання та зменшити шорсткість обробленої поверхні.

1. Мастильно-охолодні рідини. Їх поділяють на дві основні групи: охолодні та мастильні.

1. Охолодні рідини. До них належать водні та мастильні емульсії тощо. Найкращу охолодну здатність мають водні емульсії.

Водні емульсії виготовляють розчиненням у воді мила та інших речовин. Додавання до води кальцінованої соди, мила, бури, нітрату натрію поліпшує змочення поверхні заготовки водою і сприяє утворенню оксидних плівок на поверхні виробів, які захищають останні від корозії.

Мастильні емульсії отримують додаванням до води 1,5-10% мінеральних масил. Щоб запобігти злиттю крапель масил у суцільний шар-плівку на поверхні води, до мастильних емульсій додають емульгатори.

Мастильні емульсії є проміжними між охолодними та мастильними рідинами.

2. Мастильні рідини. Найчастіше використовують мінеральні масила з додаванням до 30% олії. Для покращення мастильних властивостей замість олії додають олеїнову кислоту, сірку, гас тощо. Мاستи-

льні рідини мають добру мастильну здатність, але погану охолодну.

Різні способи різання потребують різних МОР.

У процесі чорнового різання міцних сталей використовують емульсії. У ході чистового різання та за малих швидкостей різання (розвертання, протягування нарізання різі тощо) використовують мастильні рідини.

II. Способи подання МОР до зони різання. Ефективність використання МОР залежить від способу подавання її до зони різання. Найпростішим способом охолодження є подання МОР потоком *згори* на шар металу, що зрізується. Проте цей спосіб малоефективний, оскільки МОР охолоджує стружку, а не інструмент. Крім того, витрати МОР становлять $1,33 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

Досконалішим способом є подавання МОР до зони різання *під тиском* до 3 МПа. Цей спосіб подавання МОР підвищує стійкість різця в кілька разів і зменшує витрати МОР до $1 \cdot 10^{-5} - 6,66 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

Відомі також інші способи подавання МОР до зони різання, наприклад, *розпиленням*.

Для охолодження крім рідин використовують гази (азот, стиснене повітря, вуглекислоту тощо). Проте використовують їх обмежено.

36.6. Продуктивність різання та шляхи її поліпшення

Продуктивність різання визначають кількістю заготовок, оброблених за певний час (годину, зміну тощо).

$$Q = \frac{T}{T_k},$$

де T, T_k – час обробки відповідно однієї та k заготовок.

Щоб збільшити продуктивність різання, необхідно зменшити припуск на різання, збільшити швидкість різання, запровадити автоматизацію верстата, застосувати швидкодіючі пристрої тощо. Щоб зменшити припуск на різання треба виготовляти заготовки способами точного лиття та тиску.

Основним джерелом збільшення швидкості різання довгий час було використання теплостійких матеріалів для виготовлення інструментів та використання МОР. Тепер запроваджують автоматизацію верстатів, застосовують швидкодіючі пристрої, багатопозиційні різцетримачі, автоматизацію вимірювань тощо.

36.7. Верстати

Верстатами називають машини, призначені для обробки різанням заготовок, виготовлених з конструкційних матеріалів, з метою надання їм певної форми, розмірів і шорсткості поверхні.

Залежно від способу різання верстати поділяють на групи. Кожну групу верстатів, у свою чергу, поділяють на підгрупи.

Кожній моделі верстата присвоюють номер (марка), який складається з трьох або чотирьох цифр, іноді з додаванням літер, якими позначають додаткову характеристику верстата. Перша цифра означає номер групи верстата, друга – номер підгрупи. Третя або третя і четверта цифри разом характеризують основний параметр верстата. Для токарних верстатів ці цифри означають висоту центрів; для револьверних верстатів і токарних автоматів – максимальний діаметр оброблюваної заготовки; для свердлильних верстатів – найбільший діаметр отвору, який можна просвердлити одним свердлом на цьому верстаті в сталі середньої твердості.

Літера, яка стоїть після першої цифри, означає модернізацію (поліпшення конструкції) основної базової моделі верстата. Літера, яка стоїть у кінці номера, означає модифікацію (видозміну) базової моделі, клас точності верстата або його особливості. Класи точності верстатів: **Н** – нормальної, **П** – поліпшеної, **В** – великої, **С** – особливо точні тощо.

Для прикладу розглянемо кілька марок верстатів. Марка моделі верстата **2A150**: **2** – означає, що цей верстат вертикально-свердильний, на якому в сталі середньої твердості можна робити отвори діаметром до 50 мм; **A** – модернізований.

Марка моделі **2H125** означає, що це вертикально-свердильний верстат, на якому можна робити отвори діаметром до 25 мм.

36.8. Нові способи різання

У сучасному машинобудуванні та інших галузях промисловості широко використовують тверді сталі та надтверді сплави, напівпровідникові матеріали, скло, кварц, рубіни, алмази тощо. Виготовляти вироби (деталі) з цих матеріалів механічним різанням дуже важко, а іноді неможливо внаслідок їх великої твердості та крихкості. Для виготовлення деталей з цих матеріалів використовують хімічні, електричні, ультразвуковий, плазмовий, лазерний та інші способи різання. Ці способи різання ґрунтуються на використанні електричної, хімічної, звукової, світлової та інших видів енергії. У разі застосування цих способів різання інструмент не тисне на заготовку, а це дуже важливо в процесі обробки крихких матеріалів. Крім того, їх легко автоматизувати. Ці способи використовують у процесі виробництва штампів, прес-форм, лопатей турбін, електронної апаратури, отворів у волоках тощо.

§ 36.8.1. Хімічні способи різання

Хімічні способи різання ґрунтуються на використанні хімічної енергії.

Перед обробкою заготовки різанням визначають, які поверхні необхідно обробити. На всі інші поверхні наносять стійкі покриття для захисту їх від дії хімічного середовища. Це можуть бути покриття лаками, фарбами, емульсіями тощо.

Підготовлену заготовку занурюють у хімічно активне середовище, яким можуть бути розчини кислот, лугів. Взаємодію матеріалу заготовки із середовищем називають *травленням*. Концентрацією розчинів (травників) підтримують незмінною, щоб забезпечити постійну швидкість травлення.

Хімічним способом обробляють поверхні, важкодоступні для різальних інструментів, зазори тощо. На початку розвитку мікроелектроніки цей спосіб різання застосовували у ході виробництва інтегральних мікросхем (див. Розділ 48).

§ 36.8.2. Електричні способи різання

У процесі електричних способів різання електрична енергія перетворюється на теплову, хімічну та інші

види енергії. Ці перетворення відбуваються безпосередньо у процесі зрізання шару конструкційного матеріалу певної товщини. Згідно з таким перетворенням електричної енергії ці способи різання поділяють на електрохімічні та електроерозійні.

1. Електрохімічні способи різання. В основі цих способів лежить анодне розчинення металу в разі пропускання через розчин електроліту постійного електричного струму.

Електрохімічні способи різання застосовують під час шліфування, полірування, очищення поверхні металів від оксидів, іржі тощо.

Продуктивність електрохімічного різання залежить в основному від властивостей електроліту, матеріалу, з якого виготовлена заготовка та густини струму.

Електрохімічне травлення використовують для очищення поверхонь металів від масних плям, оксидів тощо.

В електролізерну ванну, заповнену електролітом, поміщують заготовку, поверхню якої треба очистити. Заготовка підімкнена до анода. Катоди розміщені з обох боків заготовки-анода. Електролітом є розчини лугів, кислот. Температура електроліту – 60-80°C.

Електрохімічне полірування застосовують для полірування заготовок, виготовлених із чорних і кольорових металів та сплавів. Цей спосіб різання зменшує шорсткість поверхні виробів, підвищує їх корозієстійкість та втомну міцність.

Електрохімічне полірування (рис. 97) проводять у ванні 1, заповненій електролітом. Оброблювану заготовку 2 підключають до анода. Катод 3 виготовляють із свинцю, молібдену або сталі. Електроліт 4 підігрівають до температури 60-80°C.

У разі пропускання струму заготовка-анод розчиняється. Розчинення починається з мікрОВиступів 5 унаслідок великої густини струму на їх вершинах. Продукти

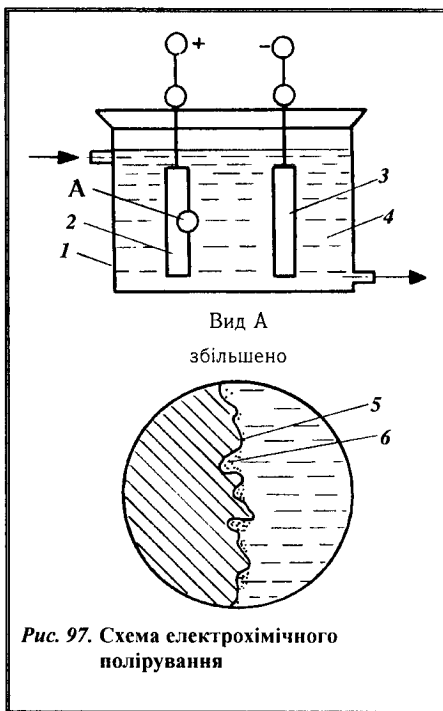


Рис. 97. Схема електрохімічного полірування

розчинення **6** осідають у западинах і захищають їх від дії струму. Внаслідок більшої швидкості розчинення мікровиступів, ніж западин, шорсткість поверхні зменшується і вона стає дзеркальною. Після закінчення обробки виріб промивають у воді й висушують. Швидкість полірування становить $5 \cdot 10^{-8} - 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Електрохімічне полірування підвищує корозієстійкість виробів. Цим способом очищують поверхні виробів перед нанесенням на них гальванічних покриттів, виготовляють фольгу.

2. Електроерозійні способи різання. Такі способи різання застосовують для обробки матеріалів, які проводять електричний струм. В основі електроерозійних способів різання лежить явище ерозії (від лат. «*erosio*» – роз'їдання, руйнування) поверхонь оброблюваних матеріалів під дією електричних розрядів.

У зоні різання енергія розрядів, які виникають між анодом (інструментом) і катодом (заготовкою), перетворюється на теплову енергію. Температура досягає $10000 - 12000^\circ\text{C}$, що спричинює опалення та випаровування окремих ділянок оброблюваної поверхні. На електроді-заготовці відтворюється форма електрода-інструменту. Це дає змогу ефективно обробляти вироби складної форми (штампи, ливарні форми, прес-форми, різної форми отвори тощо).

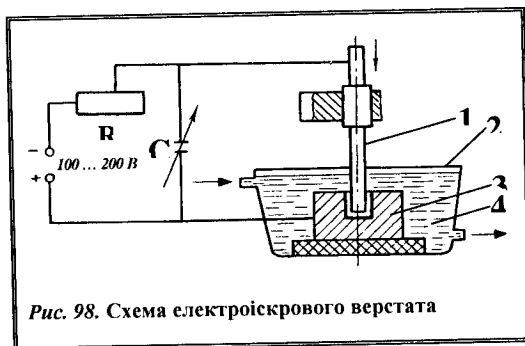
Електроерозійне різання проводять у рідинному діелектричному середовищі. Це може бути гас, мінеральне мастило тощо.

3. Електроіскровий спосіб різання. У процесі електроіскрового способу різання використовують імпульсні іскрові розряди, які виникають між електродами, одним з яких є заготовка (виконує роль анода), а другий – інструмент (катода).

За допомогою електроіскрового різання можна отримати наскрізні та глухі отвори різної форми, пази тощо. Цей спосіб різання широко використовують під час виготовлення штампів, ливарних прес-форм, філь'єр тощо.

На рис. 98 зображено схему електроіскрового верстата.

Заготовка **3** та інструмент **1** підімкнені до джерела постійного струму. Якщо інструмент наблизити до заготовки на відстань близько $0,05 \text{ мм}$,



то між ними проходить іскровий розряд енергії, нагромадженої в конденсаторі *C*. Іскровий розряд триває $\leq 0,0001\text{с}$ і супроводжується відриванням від анода (заготовки) частинок металу. Розряджений конденсатор заряджається і нагромаджена енергія знову перетворюється на іскровий розряд і т. д. У місці пробою виділяється велика кількість теплоти, внаслідок чого плавиться і випаровується матеріал заготовки. Щоб запобігти перенесенню частинок металу, вирваного із заготовки на поверхню інструмента, і зміні його форми, заготовку з інструментом поміщують у ванну 2, заповнену діелектричною рідиною 4. Рідина (гас або мінеральне мастило) зупиняє політ частинок металу і вимиває їх із зони різання.

Під дією багаторазових розрядів у заготовці утворюється заглибина, яка відображає відбиток торця електрода-інструмента.

Верстати для електроіскрового різання мають програмне керування, яке підтримує постійний зазор між заготовкою та інструментом, переміщення інструмента та регулювання подачі. Оптимальний режим роботи верстата встановлюється за допомогою змінного опору *R*.

Продуктивність роботи верстата залежить від частоти імпульсів, енергії розряду, властивостей матеріалу заготовки та інструмента. Із збільшенням сили струму продуктивність верстата зростає, проте, разом із тим погіршується якість утворених поверхонь. Сила струму коливається в межах 0,2-300 А. Електроди-інструменти виготовляють з міді, латуні тощо.

Цей спосіб різання не позбавлений *недоліків*: відносно мала продуктивність, недостатня точність форми і розмірів майбутньої деталі.

4. Анодно-механічний спосіб різання. В основі цього способу різання лежать процеси, які спричинюють руйнування металів і сплавів. Це *розчинення*, яке спостерігається в разі електрохімічного способу різання,

електроерозія, яка супроводжує електроерозійний спосіб різання, та *механічна дія інструмента*, який очищує оброблюваний матеріал від оксидної плівки та розплавленого металу.

Анодно-механічне різання застосовують для розрізання заготовок на частини, прорізання

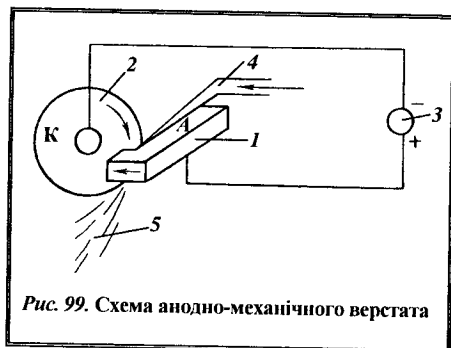


Рис. 99. Схема анодно-механічного верстата

пазів, шліфування поверхонь, заточування різальних інструментів тощо; цим способом обробляють матеріали, які проводять електричний струм.

Анодно-механічний верстат (рис. 99) працює на постійному струмі невеликої напруги.

Оброблювана заготовка **1** та інструмент **2** підімкнено до джерела постійного струму **3**. Заготовка виконує роль анода, а інструмент у вигляді диска – роль катода. У проміжок між електродами (заготовкою та інструментом) безпосередньо подають рідину (електроліт) **4**. Це може бути водний розчин рідинного скла в процесі первинної обробки заготовок та розчин сірчанокислого натрію або хлористого натрію в процесі кінцевої обробки. Під час різання інструмент (диск) обертається, а заготовка подається на нього. Інструмент обертається і викидає із зони різання продукти різання, здирає з оброблюваної поверхні оксидну плівку та поступово заглиблюється в заготовку. Інструмент-диск обертається зі швидкістю $8\text{--}20\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Густина струму впливає на процеси різання. За малих густин струму ($1\text{--}2 \cdot 10^4\text{ А} \cdot \text{м}^{-2}$) розігрівання заготовки незначне. На оброблюваній поверхні заготовки утворюється оксидна плівка. Процес анодного розчинення заготовки припиняється. Щоб відновити розчинення, плівку здирають за допомогою інструмента. Диск-інструмент, обертаючись безперервно, виносить продукти електрохімічного розчинення заготовки **5**. На місце зрізу надходить свіжа рідина.

За великих густин струму поверхня заготовки розігрівається, оплавляється і частинки, вирвані з неї, переміщуючись до катода, відкидаються відцентровою силою обертового диска-інструмента. На поверхні заготовки залишається западина. На цьому місці розряд припиняється, а відновлюється в іншому.

Густина струму впливає на продуктивність різання. Чим більша густина струму, тим більша продуктивність. Саме тому первинну обробку заготовок проводять за великих густин струму. Закінчують обробку за малих густин струму незважаючи на малу продуктивність. Шорсткість обробленої поверхні відповідає $8\text{--}10$ -му класу.

Анодно-механічне різання проводять на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК). У програму закладено керування швидкістю руху заготовок та інструмента, відстань між заготовкою

та інструментом, параметри електричного режиму під час переходу з первинної обробки на кінцеве тощо.

§ 36.8.3. Ультразвуковий спосіб різання

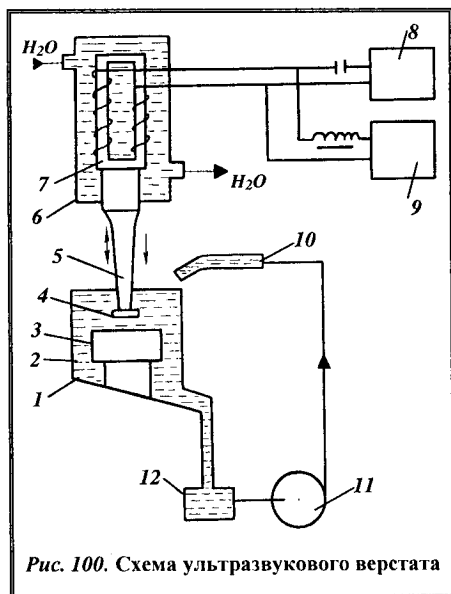


Рис. 100. Схема ультразвукового верстата

Ультразвуковий спосіб різання матеріалів є різновидом механічного різання. Він ґрунтується на руйнуванні оброблюваного матеріалу завислими в рідині частинками абразиву, які набувають великих швидкостей від вібратора, що коливається з ультразвуковою частотою. Для ультразвукового різання використовують частоту 16-30 кГц. Інструмент, за допомогою якого ріжуть матеріали, отримує коливання від магнетострикційного вібратора.

На рис. 100 показано схему ультразвукового верстата.

Заготовку 3 ставлять під інструмент 4 у ванну 1, заповнену абразивною суспензією 2. Інструмент за допомогою хвилеводу 5 з'єднаний із магнетострикційним вібратором 7, який охолоджують

водою 6. Із ультразвукового генератора 8, який живиться від джерела струму звичайної частоти 9, струм ультразвукової частоти подають до обмотки магнетострикційного вібратора, в якому електромагнітні коливання перетворюються на механічні. Амплітуда механічних коливань може досягти 0,10-0,12 мм. Інструмент дотикається до заготовки. Сила, з якою притискається інструмент, не повинна гасити його коливання. Енергія коливання інструменту передається абразивним частинкам, які набувають швидкості 40-50 м·с⁻¹. Вдаряючись об поверхню заготовки, частинки абразиву зрізають (сколюють) частинки оброблюваної поверхні заготовки. Із бака 12 за допомогою помпи 11 патрубком 10 до зони різання подають суспензію. Оскільки подача інструмента збігається з напрямом коливань його торця, то цим способом можна ви-

готовляти отвори й обробляти порожнину будь-якого профілю. Крім того, можна розрізати заготовки на частини, нарізати різь, робити напис тощо.

Інструменти для викінчування отворів діаметром 0,5-20 мм виготовляють суцільними, а для отворів діаметром 20-100 мм – порожнистими. Інструменти виготовляють із твердих матеріалів.

До складу суспензії входять порошки різних абразивних матеріалів: електрокорунд, карборунд, карбід бору, алмаз тощо. Вибір абразивного порошку залежить від твердості та міцності оброблюваного матеріалу.

Продуктивність ультразвукового різання залежить від багатьох чинників. Так, вона зростає в разі збільшення амплітуди коливань. Якщо амплітуда коливань дорівнює 0,12 мм то швидкість різання твердих сплавів становить близько $7 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, а кераміки – $140 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. У разі зменшення амплітуди коливань швидкість зменшується відповідно до $0,51 \cdot 10^{-6} - 0,61 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і $2,63 \cdot 10^{-6} - 38,5 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

На швидкість різання впливають розміри абразивних порошоків та їх твердість. Оскільки абразивні частинки є різальним інструментом, то їх твердість має дорівнювати або перевищувати твердість оброблюваного матеріалу. Найбільша швидкість різання досягається в разі використання порошку карбіду бору. Для м'якших матеріалів застосовують м'якші абразиви, але швидкість різання буде меншою, ніж у разі використання карбіду бору.

Швидкість різання залежить від концентрації абразивних порошоків у суспензії. Максимальна швидкість різання спостерігається за концентрації абразиву 50%. Важливо, щоб абразив у зоні різання увесь час змінювався, обновлювався. Особливі вимоги ставляться також до рідини, яку використовують для виготовлення суспензії. Вона повинна добре змочувати інструмент і абразив, мати велику густину та теплопровідність, незначну в'язкість. Найкраще для цього підходить вода.

Точність розмірів і шорсткість поверхні залежать від розміру абразивних частинок: чим більший розмір частинок, тим більша шорсткість і навпаки, чим менший розмір частинок абразиву, тим менші параметри шорсткості матиме оброблена поверхня.



СКЛАДАННЯ МАШИН

37.1. *Продукція машинобудівної промисловості*

Із давніх-давен людина прагнула полегшити свою працю. Так, лопату замінила на плуг, а потім на трактор, що тягне кілька плугів. Людина мріяла про чоботи-скороходи, літаючі килими тощо. Мрії людини збувалися, оскільки вона трудилася. Маємо потяги, літаки, космічні кораблі, автомобілі, велосипеди тощо; машини для шиття, прання, обробки деревини та металів; потужні помпи та ін. У більшості випадків історія зберегла імена тих, хто першим дав поштовх до створення тієї чи іншої машини, яка полегшила працю людини. А скільки імен назавжди втрачено?!

Машинобудування є важливою галуззю промисловості, яка визначає рівень і темпи розвитку всіх інших галузей промисловості, сільського господарства, транспорту, енергетики тощо.

Продукцію машинобудівної промисловості називають *виробами*. Це є різні машини, механізми, агрегати й окремі деталі. Наприклад, продукцією верстатобудівного заводу є верстати.

Деталлю називають *виріб, виготовлений без застосування складальних операцій*.

Наприклад, вал виготовлений вальцюванням.

Вузлом називають *складову частину виробу, який отримують з'єднуванням деталей*.

Деталі у вузол з'єднують зварюванням, склеюванням, паянням, скручуванням тощо.

З'єднуючи між собою деталі та вузли, отримують машини. Кожну машину створюють для виконання певного технологічного процесу, після виконання якого отримують напів- або готову продукцію певної кількості та якості.

Машинами називають механізми або поєднання механізмів, які здійснюють певні рухи для перетворення одного виду енергії в інший або виконання певного технологічного процесу (операції).

Залежно від основного призначення машини поділяють на машини-двигуни та машини-виконавці.

Машини-двигуни призначені для перетворення одного виду енергії на інший (наприклад, парові турбіни, двигуни внутрішнього згоряння, вітрові колеса).

За допомогою **машин-виконавців** відбувається зміна форми, розмірів, властивостей об'єкта тощо. Ці машини поділяють на транспортні, технологічні та кібернетичні.

Транспортні машини призначені для перевезення або передавання вантажу з одного місця на інше, наприклад, транспортери, ліфти, крани, автомобілі (вантажівки, самоскиди та ін.).

Технологічні машини перетворюють сировину у напів- або готову продукцію. До технологічних машин належать прядильні та ткацькі верстати, вальцівні, млини тощо.

Кібернетичні машини модулюють деякі фізіологічні функції й органи людини.

37.2. Поняття про складання машин

Складання є кінцевим технологічним процесом у виробництві машин. У процесі складання виконують слюсарні, складальні, випробувальні та малярні роботи. Якість складальних робіт значною мірою відбивається на продуктивності, надійності та довговічності машин. Роботи пов'язані із складанням машин, проводять у складальних, частково механічних, цехах, які визначають темп і напрям роботи всіх оброблювальних і заготівельних цехів заводу, особливо в потоковому і автоматизованому виробництві. Робота всіх виробничих підрозділів заводу має бути синхронізована згідно із тактом випуску машин на складанні. Ще в процесі проектування визначають послідовність складання.

Основним напрямком у процесі конструювання машин є побудова машини з окремих вузлів, які можна ставити на базову деталь і здійснювати незалежно від інших вузлів.

Усі деталі сучасних машин виготовляють у межах заданих допусків. Розміри виготовлених деталей різні. Причиною цього є ряд чин-

ників, які впливають на точність розмірів деталі у процесі їх виготовлення. Якщо в процесі конструювання цього не врахувати, то під час складання будуть такі *недоліки*:

- ✓ *розміри вузла будуть більшими* від розмірів місця, де він має бути встановлений у процесі складання. Цей недолік вимагає додаткових коштів на виконання слюсарних робіт, які полягають у зменшенні розмірів вузла (шліфуванням, поліруванням і навіть точінням тощо);
- ✓ *розміри вузла будуть меншими* за розміри місця, де він має бути встановлений у процесі складання. Знову додаткові великі витрати: треба виготовляти нові деталі для вузла;
- ✓ *розміри вузла незначно* (на величину допуску) *відрізнятимуться* від розмірів місця, де він має бути встановлений у процесі складання. Такі вузли придатні для складання та ремонту машин без додаткових витрат.

Технологічний процес складання полягає у з'єднанні деталей у вузли, вузлів і окремих деталей – у механізми, а все разом – у машину. У цьому зв'язку всі роботи складального процесу поділяють на окремі послідовні стадії: складання вузлів, агрегатів, механізмів і загальне складання. На кожній стадії технологічний процес складання поділяють на окремі послідовно виконувані операції.

37.3. Способи складання машин

Складають машини за способом повної, неповної взаємозамінності та індивідуального підганяння. В основі вибору способу складання лежить точність виготовлення складових елементів машин: деталей, вузлів тощо.

1. За способом повної взаємозамінності. У процесі цього способу складання використовують деталі, виготовлені з відповідною точністю, а тому вони не потребують додаткової обробки перед з'єднанням у вузли. Такий спосіб складання застосовують у великосерійному та масовому виробництві.

2. За способом неповної взаємозамінності. У процесі цього способу складання потрібної посадки з'єднання деталей або вузлів досягають попереднім підбиранням їх за розмірами. Якщо деталі чи вузли, призначені для складання, групують за розмірами, то такий спосіб складання називають складанням за способом *групового підбирання*. У ра-

зі *індивідуального підбирання* до розміру місця шукають відповідного розміру деталей.

3. **За способом індивідуального підганяння.** Складання полягає в тому, що для досягнення відповідної посадки деталі після виготовлення дооброблюють ручним способом для отримання певної форми, розмірів і шорсткості поверхні. Цього досягають шліфуванням, розвертанням, притиранням тощо. Такий спосіб складання застосовують в одиничному та малосерійному виробництві.

37.4. Види складання машин

В процесі складання спочатку із деталей складають вузли, а потім із вузлів і окремих деталей – машину.

Залежно від обсягу випуску продукції застосовують стаціонарне та рухоме складання.

1. **Стаціонарне складання.** Цей вид складання проводять в експериментальних цехах бригадою фахівців, які виконують різні операції. До місця складання подають усі деталі, вузли та інструменти, необхідні для складання та доведення деталей до потрібного розміру. У процесі стаціонарного складання деталі необов'язково мають бути взаємозамінними. Цей вид складання малопродуктивний. Його застосовують в одиничному і малосерійному виробництві.

2. **Рухоме складання.** У ході цього виду складання основна деталь майбутнього виробу послідовно переміщується від одного місця роботи до іншого. На кожному місці виконують певну складальну операцію. Місця роботи оснащені пристроями та інструментами, необхідними для виконання цих операцій. Виріб, який складають, переміщується за допомогою транспортних засобів – роликів конвеєрів, візків, транспортерів тощо. Вибір транспортного засобу залежить від виду виробу, який складають. Рухоме складання застосовують у масовому та великосерійному виробництві.

Необхідні *умови рухомого складання*: повна взаємозамінність деталей, вузлів; певна кількість робітників, інструментів і деталей на місці роботи. Без виконання цих вимог не можна організувати рухоме складання.

Крім того, слід пам'ятати, що рухоме складання *потокове*. Технологічний процес цього виду складання поділяють на операції, для виконання яких потрібний приблизно однаковий час (t_0), що відпові-

дає такту складання (t_c). Переміщення виробу на конвеєрі (англ. «conveyor» від «convey» – перевозити, переміщувати) може бути періодичним або безперервним.

У ході **періодичного переміщення** виробу складальну операцію виконують під час зупинки конвеєра. Конвеєр зупиняється на час виконання операції. Такт складання (t_c) дорівнює тривалості зупинки конвеєра на виконання операції (t_o) і часу (t_n) протягом якого виріб переміщується від одного місця праці до іншого:

$$t_c = t_o + t_n .$$

У разі **безперервного переміщення** виробів робітник виконує операцію в процесі переміщення транспортного засобу, наприклад, конвеєра. Швидкість руху конвеєра має бути такою, щоб робітник зміг виконати операцію на місці праці, тобто такт складання (t_c) має дорівнювати часу виконання операції (t_o):

$$t_c = t_o .$$

У ході рухомого складання переміщення виробів можна сполучати з виконанням інших операцій, наприклад, з миттям, висушуванням, фарбуванням тощо.

Продукція, отримана внаслідок рухомого складання, є якіснішою і має меншу собівартість. Продуктивність складальних цехів та дільниць більша порівняно зі стаціонарним складанням. Крім того, скорочується планування, облік і керування виробництвом.

37.5. Техніко-економічні показники складання та шляхи їх поліпшення

Основним техніко-економічним показником складального процесу є затрати на складання. Вони містять у собі заробітну платню робітників, які безпосередньо працюють у процесі складання, відрахування на амортизацію обладнання (інструменти, верстати, пристрої тощо), накладні цехові витрати. Крім цього показника є такі: трудомісткість окремих складальних операцій і трудомісткість складання виробів; коефіцієнт трудомісткості складального процесу, який визначають як відношення трудомісткості складання до трудомісткості виготовлення деталей, з яких складають даний виріб. Чим менше це

відношення, тим досконаліший процес складання. У найефективніших складальних процесах це відношення не перевищує 0,2.

Більшість складальних робіт (60-80%) виконують ручним способом. Для зменшення їх частки потрібно підвищити ступінь взаємозамінності; уніфікувати (уніфікація – від «уні»... і ...«фікація» – приведення чогось до єдиної форми) елементи та конструкції деталей машин і вузлів; механізувати й автоматизувати процеси складання. Взаємозамінність і уніфікація дають великий ефект під час складання. Крім того, вони є передумовою для впровадження механізації й автоматизації.

Важливими завданнями складання є впровадження механізації окремих операцій та автоматизації всього складального процесу.

1. Механізація. У серійному виробництві застосовують пневматичні й електричні дрелі для виготовлення невеликих отворів на місці, механічні терпуги, переносні полірувальні машини тощо. У велико-серійному та масовому виробництві широко застосовують мутрозакручувачі (мутроверти).

Для транспортування великих деталей і вузлів застосовують мостові крани тощо. До місць складання деталі подають на підвисних конвеєрах, у деяких випадках з автоматичним адресуванням вантажів. Для потокового складання застосовують ланцюгові конвеєри.

2. Автоматизація дає можливість значно збільшити продуктивність праці, забезпечити належну якість продукції, ліквідувати важку малопроductивну ручну працю. У наш час уже застосовують автоматичні складальні лінії на автомобільних заводах, підприємствах радіотехнічної промисловості, точної механіки, сільськогосподарського машинобудування. Проте рівень автоматизації складання відстає від рівня автоматизації інших технологічних процесів.

Перспективним напрямком вдосконалення складання є створення та впровадження на підприємствах роботів-складальників, особливо під час виконання монотонних робіт.

37.6. Контроль і випробування складених виробів

Кінцевою стадією складання машин є контроль і випробування виробів. Контроль проводять у процесі складання окремих вузлів і після складання цілого виробу. На машинобудівних підприємствах виконують вибірковий і обов'язковий контроль. Відповідальні вузли підлягають обов'язковому контролю. Від якості їх складання залежать основні експлуатаційні показники виробів (продуктивність, надійність, довговічність тощо).

Після перевірки окремих з'єднань і вузлів машина проходить випробування. Перевіряють роботу машини та взаємодію всіх механізмів, а також потужність, продуктивність і точність. Отже, випробування машин є перевіркою параметрів, які отримала машина в процесі виготовлення. Випробування проводять із навантаженням і без нього. Вибір способу випробування залежить від виду, призначення та обсягу випуску машин.

Випробування *без навантаження* проводять з метою перевірки роботи механізмів. Наприклад, шум трибових коліс та інших механізмів верстата перевіряють у тихому приміщенні згідно з чинними стандартами.

Випробування *з навантаженням* проводять для з'ясування роботи машини за умов експлуатації. При цьому способі випробування для машини створюють умови, близькі до умов експлуатації. Наприклад, двигун внутрішнього згоряння встановлюють на спеціальну раму, а його вал приєднують до гальмівного пристрою, який створює змінні навантаження. До двигуна приєднують систему охолодження, мащення та пальну апаратуру. У ході роботи двигуна визначають витрати пального, мастил тощо.

Машини спеціального призначення або дослідні зразки випробовують на продуктивність. У процесі випробовування з'ясовується, чи відповідає продуктивність виготовленої машини вимогам замовника.

На основі результатів випробувань виписують паспорт і роблять висновок про якість виробу.

Частина VII

Виробництво будівельних матеріалів

Розділ 38. ВИДИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розділ 39. КЕРАМІЧНІ ВИРОБИ

*Розділ 40. ЗВ'ЯЗУВАЛЬНІ БУДІВЕЛЬНІ
РЕЧОВИНИ*



ВИДИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Протягом життя людина потребує житла, будівель культового, побутового, культурного, промислового та іншого призначення, а також споруд, до яких належать дороги, мости, канали, лінії зв'язку, стадіони тощо. Для будівництва цих об'єктів використовують будівельні матеріали природного та штучного походження.

38.1. Природні будівельні матеріали

Для спорудження житла та інших необхідних будівель чи споруд здавна використовують природні будівельні матеріали, до яких належать деревина, каміння, глина, пісок тощо.

За походженням природні будівельні матеріали поділяють на рослинні та мінеральні.

1. Рослинні будівельні матеріали. До них належить деревина, солома, очерет тощо.

У будівництві, в основному, використовують деревину хвойних порід: сосну, ялину, модрина, ялицю тощо. Із листяних порід використовують дуб, бук, ясен та інші менш цінні породи дерев. З деревини виготовляють колоди, бруси, дошки тощо.

Будівництво потребує якісної деревини. Не всяка деревина придатна для будівництва. Крива деревина, сучкувата, поїдена комахами-паразитами, заражена грибками непридатна для будівництва. За вмістом вологи деревину поділяють на *мокру* вологістю 30–40%, *щойно зрубану* (25–30%), *повітряносуху* (15–25%) та *кімнатносуху* із вмістом вологи 8–15%.

При виборі деревини для виготовлення певного виду продукції (вікна, двері, підлога тощо) враховують вологість експлуатаційного середовища.

2. Мінеральні будівельні матеріали. До них належить бутовий камінь, щебінь, гравій, галька, пісок, глина тощо.

Бутовий камінь має неправильну форму. Розміри кусків буту – 150500 мм. З буту виготовляють фундаменти, підземні частини будівель, а також стіни для нежитлових будівель.

Гравієм (від франц. «*gravier*» — крихка гірська порода) називають природну суміш округлих уламків гірських порід і мінералів розміром 110 мм.

За походженням гравій поділяють на: гірський, морський, річковий. Його використовують як наповнювач при виготовленні бетонів, залізо-бетонів, при будівництві доріг, фільтрів тощо.

Піском називають суміш зерен розміром 0,145 мм.

Пісок використовують для виготовлення будівельних розчинів, бетонів, залізо-бетонів, доріг, цегли, скла, ливарних форм, фільтрів тощо.

Глинами називають корисні копалини, які з водою утворюють пластичну масу.

Основними складовими глини є SiO_2 (3070%), Al_2O_3 (1040%) і H_2O (510%). Крім них до складу глин входять TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , K_2O , Na_2O тощо.

38.2. Штучні будівельні матеріали

Цей вид будівельних матеріалів виготовляють з природних. Залежно від умов виготовлення штучні будівельні матеріали поділяють на невипалювальні та випалювальні.

1. Невипалювальні будівельні матеріали. Їх виготовляють з природних і штучних речовин. До них належать дошки, бруси, саман, будівельні розчини, бетон, залізобетон тощо.

Дошки і бруси виготовляють з деревини.

Саман (тюрк. — солома) — це стіновий будівельний матеріал, його виготовляють із суміші глини, соломи, піску та інших речовин.

Саман може бути монолітним або у вигляді цеглин, з яких, після висихання на повітрі, кладуть стіни будинків.

Будівельні розчини виготовляють з глини, піску, вапна, цементу, води тощо у відповідному співвідношенні. Їх використовують для зв'язування цегли, каменів, для тинькування та білення стін тощо.

Бетон (франц. «*betone*» від лат. «*bitumen*» — смола) виготовляють із суміші зв'язувальної речовини (цементу), води і різних напов-

нювачів (піску, гравію або щебеню). Бетони використовують для виготовлення монолітних будівель і споруд.

Залізо-бетон — це поєднання сталевих арматур і бетону. Для підвищення міцності бетону його армують сталевими стрижнями, сіткою або каркасом.

Сталеві стрижні, сітку тощо називають *арматурою*.

Залізо-бетони використовують для виготовлення монолітних або збірних будівель і споруд.

2. Випалювальні будівельні матеріали. Їх виготовляють з глини крейди, вапняку, піску та інших речовин. Необхідних властивостей виготовлені матеріали набувають у процесі випалення за високої температури. До випалювальних будівельних матеріалів належать керамічні вироби, вапно, цемент, керамзит тощо. При їх виготовленні використовують термічні процеси, які потребують великої кількості палива та енергії.



КЕРАМІЧНІ ВИРОБИ

39.1. Види керамічних виробів

До керамічних виробів належать цегла, лицевальні плитки, черепиця, вироби з тонкої кераміки тощо.

1. **Цегла.** На підприємствах промисловості будівельних матеріалів виробляють кілька видів цегли: червону будівельну, вогнетривку, кислото та лугостійку тощо. Ці види цегли мають різне призначення.

Червону будівельну цеглу використовують для спорудження будівель. Вогнетривкою цеглою футерують (від нім. «Futter» — підшивка) печі, ковші та інші металургійні агрегати.

Луго та кислотостійкі цегли використовують для футерування апаратів та агрегатів хімічної промисловості.

2. **Плитки.** Виробляють плитки з поливою і без поливи. Плитками лицюють зовнішні та внутрішні стіни будівель, викладають підлогу.

3. **Черепиця.** Черепицею покривають будівлі.

4. **Тонка кераміка.** До неї належать порцелянові та фаянсові вироби.

39.2. Сировина для виготовлення керамічних виробів

Основною сировиною для виготовлення керамічних виробів є глини та каоліни. До їх складу входять каолініт ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), алюмосилікати, оксиди заліза, кальцію, магнію тощо.

За призначенням глини поділяють на порцелянові, вогнетривкі, теракотові, цегляні, черепичні тощо. Найважливішою властивістю глини є пластичність.

***Пластичністю** називають здатність глини після змішування з водою набувати наданої форми і зберігати цю форму після висушування та випалювання.*

Для підвищення пластичності глини витримують до року і більше на відкритому повітрі. Дія сонця, вітру, дощу і морозу поліпшує технологічні властивості глини.

39.3. Технологія керамічних виробів

Виготовлення керамічних виробів – тривалий процес. Він складається з таких стадій: підготовка сировини та глиняної маси, формування виробів, їх висушування, випалювання та охолодження. На деякі вироби наносять рисунок або поливу.

Сировину подрібнюють, змішують і готують до формування. Здійснюють це по-різному залежно від способу формування.

1. Способи формування. При виготовленні керамічних виробів використовують пластичний, напівсухий та сухий способи формування. У ході *пластичного* формування виробів подрібнені компоненти сировини змішують, зволожують і розмішують до вигляду тіста.

Для *напівсухого* формування компоненти сировини підсушують до вологості, що становить 8–16%, а для *сухого* – до повного зневоднення води. У сучасних способах формування вміст води у глиняній масі становить 4–40%. Вироби формують на формувальних пресах (механічних або гідравлічних). Тонку та спеціальну кераміку формують литтям (глиняну масу заливають у спеціальні форми).

2. Висушування. Сформовані вироби висушують у камерних, черевих і тунельних сушарнях періодичної та безперервної дії.

3. Випалювання. Це – найважливіша складова технології виготовлення керамічних виробів. Під час випалювання відбуваються складні фізико-хімічні процеси, внаслідок яких глиняна маса перетворюється на монолітний твердий черепок. Випалювання проводять за різних температур. Вибір температури випалювання залежить від виду керамічних виробів. Так, будівельну цеглу випалюють за температури 1050 · 1100°C, вогнетривку – за температури > 1350°C.

Керамічні вироби випалюють у печах періодичної або безперервної дії. Найчастіше використовують тунельні та кільцеві печі безперервної дії. Довжина тунельної печі 100 м, усередині її прокладено вузькоколіяку, по якій рухаються вагонетки з виробами. Внутрішню частину печі поділено на три зони: нагрівання, випалювання й охолодження. Сировинні (вагонетки з виробами) і теплові потоки (димом-

ві газу, які утворились під час згоряння палива) рухаються назустріч один одному. Під час зустрічі димові газу віддають теплоту виробам і по спеціальних каналах виходять із печі. Випалені вироби охолоджують спочатку в печі (в охолодній зоні), а потім на повітрі.

39.4. Технологія червоної будівельної цегли

1. **Сировина.** Основною сировиною для виготовлення цегли є червона глина без вапнякових та інших включень. Глина придатна для виготовлення цегли повинна добре формуватись, сушитись і спікатись. У природі рідко трапляється така глина. Тому для поліпшення властивостей цегли, а також зменшення витрат палива до глини додають певну кількість піску, тирси, лушпиння соняшникового насіння, просіяної та гречаної полови чи породи, отриманої при добуванні кам'яного вугілля тощо. Однак, слід пам'ятати, що надлишок цих речовин погіршує властивості цегли.

2. **Технологічна система виробництва цегли.** Основною сировиною для виробництва цегли є глина, допоміжною візьмемо кам'яновугільну породу. Спрощену схему технологічної системи виробництва цегли із названої сировини подано на рис. 101. Вона складається з двох підсистем: перша підсистема призначена для підготовки глини; друга – для підготовки породи.

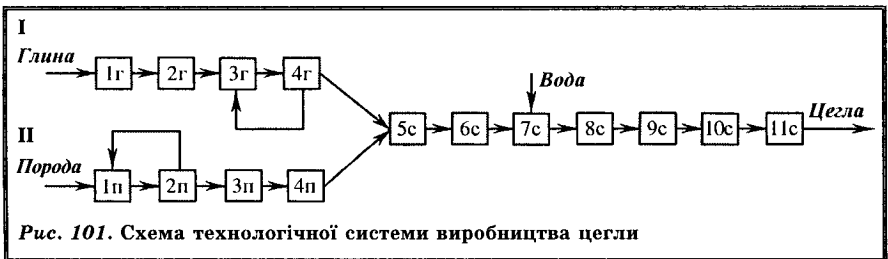


Рис. 101. Схема технологічної системи виробництва цегли

Перша підсистема. Глину з кар'єра подають на майданчик, де її розпушують (елемент – 1 г /глина/). Потім глина на майданчику вилежується протягом 612 місяців для поліпшення властивостей (елемент 2 г). Вилежану глину подрібнюють на вальцях (елемент 3 г). Сортують за розмірами шматків за допомогою решіт (елемент 4 г).

Друга підсистема. Породу подрібнюють на дробарках (елемент 1 п – /порода/). Отримані шматки сортують за розмірами на решетах (елемент 2 п). Шматки розміром 50150 мм висушують у сушарнях

(елемент 3 п), потім подрібнюють на дробарках іншої конструкції для отримання дрібніших шматків (елемент 4 п).

Підготовлена глина і порода надходять до змішувача для змішування (елемент 5 с – /суміш/), а потім на вальці для подрібнення (елемент 6 с). Добре розмелена суміш глини і породи надходить у змішувач (елемент 7 с). Сюди ж подають воду та інші речовини (при потребі) для утворення глиняної маси. Вологість отриманої маси становить 18–23%. За допомогою преса глиняній масі надають форму бруса, протискаючи її через мундштук відповідної форми і розмірів (елемент 8 с). На виході з мундштука брус ріжуть на цеглини (елемент 9 с). Різак виготовлений у вигляді струни, яка автоматично опускається на брус для відрізування цеглини. Потім знов піднімається, щоб відрізати наступну цеглину. Отримані цеглини називають *цеглою-сирцем*. Їх складають на рами і транспортують до сушарень (елемент 10 с). Висушують цеглу на повітрі (під навісом) або у спеціальних сушарнях. Час висушування цегли-сирцю становить 625 діб. Висушена цегла містить 68% вологи.

Висушену цеглу-сирець перекладають на платформи (відкриті вагони) і заштовхують у тунельну піч для випалювання (елемент 11 с). Цеглу випалюють за температури 1050 · 1100 °С протягом 28 год. За час випалення через кожні 40 хв. платформи переміщують у більш гарячу зону печі. Так триває аж до виходу їх з печі. Випалену цеглу охолоджують на повітрі, сортують, складають на дерев'яні піддони і відправляють до споживача.



ЗВ'ЯЗУВАЛЬНІ БУДІВЕЛЬНІ РЕЧОВИНИ

Для зведення будівель і споруд із мінеральних будівельних матеріалів природного та штучного походження необхідно мати зв'язувальні речовини.

За походженням зв'язувальні речовини поділяють на природні та штучні. У сучасному будівництві найчастіше використовують штучні зв'язувальні речовини, які виготовлені з речовин мінерального походження.

Зв'язувальними будівельними речовинами називають порошкові речовини, які в ході змішування з водою утворюють пластичну масу, яка здатна самовільно тверднути та перетворюватися на моноліт.

Цю властивість зв'язувальних речовин використовують у процесі виготовлення будівельних розчинів, бетонів, залізобетонів тощо.

За властивостями та призначенням зв'язувальні речовини поділяють на повітряні, гідравлічні, кислотні тощо.

Повітряні зв'язувальні речовини при додаванні води тверднуть і зберігають міцність тільки на повітрі. До них належать вапно та гіпс.

Гідравлічні – при додаванні води тверднуть і зберігають міцність як на повітрі, так і у воді. Це є цементи.

Кислотні будівельні речовини після твердіння стійкі проти дії мінеральних кислот тощо.

40.1. Технологія вапна

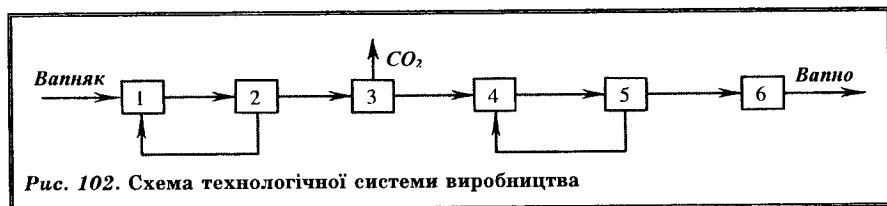
Вапном називають зв'язувальну будівельну речовину, яку отримують випалюванням кальцієвомагнієвих гірських порід.

Сировиною для виробництва вапна є вапняк (CaCO_3), доломіт ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) тощо.

1. Технологічна система виробництва вапна. Технологія отримання вапна є тристадійною: на першій стадії проводять підготов-

лення сировини (подрібнення та сортування за розмірами); на другій – випалювання подрібненої маси; на третій – подрібнення та сортування за розмірами частин готової продукції.

Схема технологічної системи виробництва вапна з вапняку пред- ставлена на рис. 102. Вона складається з шести елементів. Вапняк подрібнюють на дробарках (елемент 1). Потім решетують на решетах для отримання частинок відповідного розміру (елемент 2). Отримані частинки випалюють у печах (елемент 3).



Випалювання подрібненої сировини – це основна стадія у вироб- ництві вапна. Її проводять у стовбурних або обертових печах. Остан- нім часом широко використовують печі з «псевдокиплячим шаром».

Стовбурні печі працюють на твердому або газовому паливі. Ви- сота печі досягає 20 м, діаметр – 4 м. Ще донедавна в таких печах випалювали до 85% вапна. Шматки подрібненої сировини (вапняку) розміром 820 см пошарово з паливом (антрацит, кокс тощо) заванта- жують у піч згори, знизу під тиском подають повітря. За ступенем нагрівання піч по висоті поділена на три зони. У середній зоні печі температура найвища (1000-1200°C), тут сировина випалюється:



Теплота, яку несуть із собою пічні гази, прямуючи до виходу, у верхній зоні печі нагріває сировину. Випалене вапно опускається в нижню зону, де віддає теплоту повітря, яке подають у піч під тиском.

За допомогою спеціального пристрою шматки випаленого вапна (CaO) вибирають із печі. Його називають *негашеним*.

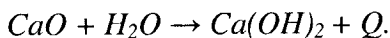
Отримане вапно забруднене жужелицею. В *обертових печах*, пор- вняно зі стовбурними, одержують вапно ліпшої якості. На якість вапна впливає також вибір палива. З використанням газового палива поліпшується якість вапна.

Найвищу продуктивність мають печі із «псевдокиплячим ша- ром».

Отриману продукцію подрібнюють на дробильних машинах (елемент 4), решетують на решетах (елемент 5), фасують (елемент 6) і відправляють за призначенням.

Важно зберігати у мішках, які не пропускають вологи.

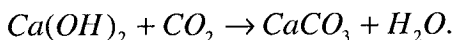
2. Гасіння вапна. Для отримання гашеного вапна необхідно мати негашене вапно (CaO) і воду, витрати якої становлять 70100% маси негашеного вапна. У процесі гасіння вапна відбувається така реакція:



Швидкість гасіння вапна залежить від розмірів шматків негашеного вапна та температури. Із підвищенням температури процес гасіння вапна прискорюється. Змінюючи кількість води в процесі гасіння, можна отримати гашене вапно у вигляді «тіста» або порошку.

Гашене вапно має білий колір і густину 400600 кг/м^3 .

Гашене вапно твердне внаслідок випаровування води та кристалізації Ca(OH)_2 . Водночас з випаровуванням і кристалізацією має місце поглинання CO з повітря:



Утворений карбонат кальцію (CaCO_3) зростається з кристалітами Ca(OH)_2 , і зміцнює розчин. Гашене вапно твердне повільно, міцність утвореного моноліту зростає з часом. Для прискорення твердіння до вапна додають цемент і гіпс або підвищують температуру у приміщенні. Додатки цементу та гіпсу збільшують водостійкість вапняних розчинів.

40.2. Технологія гіпсу

Гіпс – мінерал класу сульфатів, має білий колір із скляним блиском, а коли є домішки, то забарвлений у різні кольори.

Гіпсом називають порошкові зв'язувальні речовини, які отримують виталюванням природної або штучної сировини, що містить сірчаноокислий кальцій (CaSO_4).

Гіпс використовують у будівництві, порцелянофаянсовій, машинобудівній промисловості, медицині тощо. Розчин, утворений після змішування гіпсу з водою, спочатку схоплюється, потім твердне і перетворюється на моноліт.

І. Технологічна система виробництва гіпсу. Сировиною для виробництва гіпсу є природний гіпсовий камінь ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) і відходи

промисловості, які містять сірчаноокислий кальцій. До відходів належить фосфогіпс, який отримують у процесі виробництва фосфорних мінеральних добрив тощо.

Технологія виробництва гіпсу триступінчаста. На кожній стадії відбувається певний технологічний процес: подрібнення, розмелювання та випалювання (дегідратація) гіпсового каменю. Ці процеси можуть відбуватись у різній послідовності. Залежно від послідовності їх проведення відомо кілька технологічних систем виробництва будівельного гіпсу.

В одній технологічній системі подрібнення гіпсового каменю передує випалюванню, в другій, навпаки, спочатку відбувається випалювання, потім подрібнення, а в третій подрібнення та випалювання суміщені в одному агрегаті.

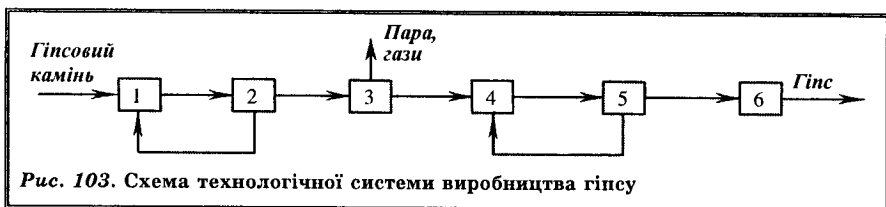
Випалювання сировини проводять у казанах, сушарнях, млинах. Найчастіше використовують казани.

Спрощену схему однієї з технологічних систем виробництва гіпсу представлено на рис. 103.

Сировину, з якої виробляють гіпс, подрібнюють у млинах (елемент 1), решетують на решетах (елемент 2) і подають до казана на варіння випалення (елемент 3).

Отриманий гіпс подрібнюють у млинах (елемент 4), решетують на решетах (елемент 5), фасують на фасувальнях (елемент 6) і відправляють на зберігання або до споживача.

II. Види гіпсу. За температурою випалювання сировини гіпс поділяють на низько – та високовипалювальний.



1. Низьковипалювальний гіпс отримують випалюванням природного каменю за температур 150–160 °С. У процесі випалювання гіпсовий камінь втрачає воду і перетворюється на півводний:



До низьковипалювального гіпсу належить: будівельний, формувальний і дуже міцний.

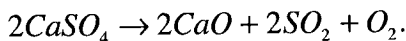
Будівельний гіпс (грецьк. «алебастр») – це дрібний порошок білого кольору, який після змішування з водою швидко схоплюється й твердне. З нього виготовляють розчини для тинькування стін, гіпсові плити, панелі, декоративні, теплоізоляційні й архітектурні вироби.

Формувальний гіпс – це дрібно помелений будівельний гіпс. Під час змішування з водою він дуже швидко схоплюється й твердне. Його використовують для виготовлення декоративних виробів і дуже якісних лицевальних розчинів.

Дуже міцний гіпс використовують з тією самою метою, що й будівельний, але вироби можуть використовуватись у помірновологіх середовищах. Із цього гіпсу виготовляють ливарні форми у металургійній і порцелянофаянсовій промисловості.

За **міцністю** його поділяють на марки: 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500.

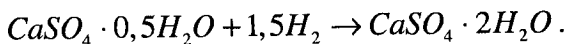
2. **Високовипалювальний гіпс** отримують випалюванням природної сировини за температур 600-900°C. У процесі випалювання двоводний гіпсовий камінь повністю втрачає воду і перетворюється на безводний сульфат кальцію (CaSO_4). Частина сульфату кальцію розкладається:



Цей вид гіпсу твердне внаслідок утворення карбонату кальцію та гідратації сульфату кальцію. Твердий високовипалювальний гіпс стійкий проти стирання. Його використовують для виготовлення підлоги, кладки та тинькування стін, виготовлення штучного мармуру тощо.

Під час роботи з гіпсом **слід пам'ятати**, що початок схоплення гіпсового тіста починається через 2 хв. після змішування гіпсу з водою, а твердіння закінчується через 630 хв.

У гіпсовому розчині, виготовленому з порошку гіпсу і води, гіпс знову перетворюється на гіпсовий камінь, який називають **двоводним гіпсом**:



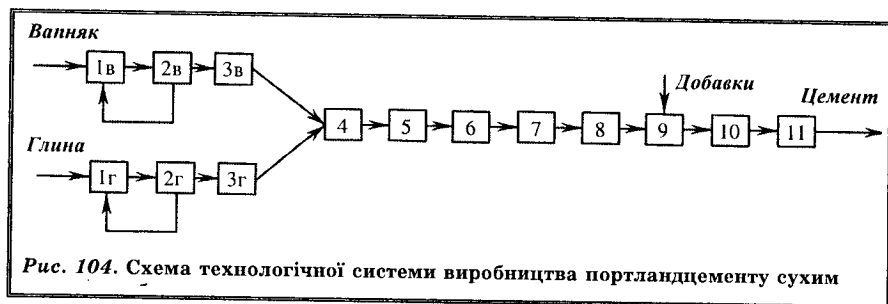
Утворений двоводний гіпс випадає з розчину у вигляді дрібних (колоїдних) частинок, які перетворюються на кристаліти $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ і розчин гусне (схоплюється). З часом кристаліти двоводного гіпсу зростаються й утворюється міцний гіпсовий камінь.

За **швидкістю схоплення та твердіння** гіпс поділяють на швидко, нормально та повільнотвердіючий. Найменший час схоплення

має швидкотвердіючий гіпс – до 2 хв. Повільнотвердіючий гіпс схоплюється через 20 хв. після приготування тіста.

За ступенем подрібнення (помелення) гіпс буває грубого, середнього та тонкого помелення.

Зберігають гіпс у закритих сухих приміщеннях (складах), перевозять у водонепроникній тарі або в закритих вагонах.



40.3. Технологія цементу

Цемент належить до гідралічних зв'язувальних речовин. Промисловість будівельних матеріалів виробляє різні види цементів, найбільше портландцементу (назва походить від міста Портленд, що знаходиться у Великобританії). Крім портландцементу виробляють шлакові цементи, глиноземний цемент тощо.

Портландцементом називають порошок помеленого цементного клінкеру, який отримують випалюванням аж до спеченого стану суміші вапняку (7578%) і глини (2225%) або їх природної суміші – мігелів.

За кількістю виробництва та використання портландцемент посідає перше місце серед усіх зв'язувальних будівельних речовин. Він швидко твердне на повітрі та під водою.

§ 40.3.1. Способи виготовлення портландцементу

Технологія виготовлення портландцементу складається з трьох основних стадій: підготовки вапняку, глини, а

потім їх суміші; випалювання суміші для отримання цементного клінкеру; подрібнення цементного клінкеру на порошок і додавання до-

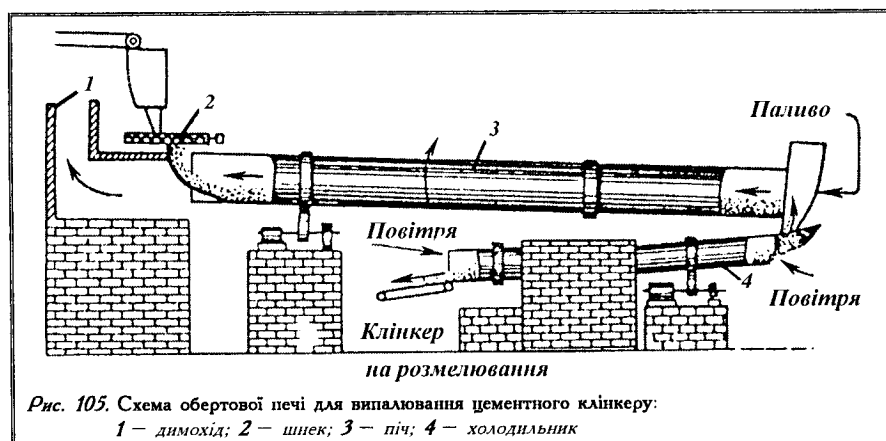
Підготовлення сировини до випалювання проводять двома способами: сухим і мокрим. Відповідно способи виробництва портландцементу поділяють на сухий і мокрий.

Кожен спосіб має свою технологічну систему, яка складається з двох підсистем, в елементах яких відбуваються певні технологічні процеси.

У ході *сухого способу* (рис. 104) сировину (вапняк та глину) вологістю до 10% після попереднього подрібнення на вальцях (елементи 1в і 1г) решетують на решетах (елемент 2в і 2г) і розмелюють у кульових млинах (елементи 3 в і 3 г). Отримані порошки ретельно перемішують у змішувачі (елемент 4) і після відстоювання у відстійниках /для вирівнювання хімічного складу/ (елемент 5) подають у піч для випалювання (елемент 6).

У ході *мокрого способу* подрібнену глину (35 мм) перемішують із водою в залізобетонних резервуарах для отримання суспензії. Глиняну суспензію та подрібнений вапняк (35 мм) подають у трубковий млин, де за допомогою сталевих куль суміш розмелюють і перемішують. Трубові млини безперервної дії. Розмелена суміш надходить до відстійника для відстоювання (вирівнювання хімічного складу суміші). Після відстоювання суміш подають до печі для випалювання.

Випалюють вапняково-глиняні суміші в обертових печах безперервної дії (рис. 105).



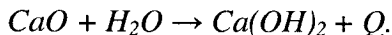
Довжина печей — 95, 185, 230 м, діаметр — 5–7 м. Піч встановлена з невеликим нахилом і обертається зі швидкістю 0,016 с⁻¹. Сиро-

вину подають у трохи підняту частину печі, паливо спалюють в опущеній частині печі. Газові речовини, які утворилися у процесі горіння палива, і випалювальна вапняково-глиняна суміш рухаються назустріч одна одній. Під час зустрічі цих потоків спочатку випаровується волога і висушується сировина. Потім розкладаються гідрати, карбонати й утворюються оксиди. Ці реакції відбуваються в зоні печі, нагрітій до температури 700–1100°C. За цих умов вапняк розкладається:



У тій самій зоні печі глинисті мінерали розкладаються на оксиди SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , які вступають у реакцію з CaO за температур 1100–1300°C і утворюються мінерали: $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$; $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. І, нарешті, за температури 1300–1450°C утворюється основний мінерал майбутнього цементу – аліт ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$).

1. У процесі спікання мінералів утворюється клінкер (нім. «*Klinker*» – штучний камінь великої міцності) у вигляді кульок розміром 15 мм, які викочуються з печі в її опущеній частині і надходять до холодильника для охолодження (елемент 7), а звідти – на склад для вилежування (елемент 8). На складі клінкер вилежується протягом двох тижнів. За цей час надвишок вапна (CaO), яке міститься в клінкері, гаситься вологою, яка є в атмосфері складу:



У процесі гасіння виділяється велика кількість теплоти (Q), клінкер стає рихлим, що полегшує його розмелювання.

Розмелюють клінкер разом з допоміжною сировиною в кульових млинах (елемент 9). Готовий портландцемент зсипають у залізобетонні силоси-сховища (елемент 10) для охолодження. Потім його фасують у тару (елемент 11). Транспортують цемент у закритій тарі, зберігають у сухих складах.

Необхідно пам'ятати, що *активність* цементу з часом зменшується. Так, за три місяці зберігання вона зменшується майже на 20%, за півроку – на 30%, за рік – на 40%.

Собівартість цементу залежить від виду сировини, палива, способу виготовлення (мокрый чи сухий) тощо.

Затрати на сировину становлять 25% собівартості цементу. Використання відходів і побічної продукції промислових підприємств (жухелиці, шлаків тощо) зменшує собівартість цементу на 35–40%.

Виробництво цементу енергомістке. На виготовлення 1 т цементу витрачається 240 кг твердого палива. 40% електроенергії, яку витрачають на цементному заводі, йде на розмелювання клінкеру.

Переваги та недоліки способів отримання цементу. Кожний із способів отримання цементу має свої переваги та недоліки. Так, у разі використання *мокрого способу* легше подрібнювати сировину, кращі санітарно-гігієнічні умови праці, але витрати палива на 40% перевищують витрати в разі використання сухого способу.

Під час застосовування *сухого способу* менше витрачається палива порівняно з мокрим, але більші витрати електроенергії.

Крім того, сухий спосіб дуже забруднює довкілля і потребує очисних фільтрів.

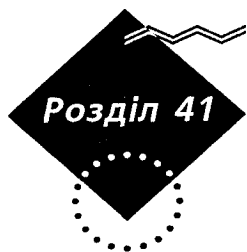
У світі скорочується виробництво цементу мокрим способом, а збільшується виробництво сухим, який дає економію палива.

Частина VIII

Переробка нафти та кам'яного вугілля

***Розділ 41. ПЕРЕРОБКА НАФТИ
ТА НАФТОПРОДУКТІВ***

Розділ 42. КОКСУВАННЯ КАМ'ЯНОГО ВУГІЛЛЯ



ПЕРЕРОБКА НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ

41.1. Нафта та нафтопродукти

І. Нафта та підготовка її до переробки. *Нафтою* називають маслянисту рідину від жовтого до чорного кольору з характерним запахом і густиною 185–1040 кг/м³.

Щойно добута (сира) нафта складається із суміші різних вуглеводнів (від пентану до важких вуглеводнів), мінеральних і механічних домішок (піску, глини), органічних сполук, що містять сірку, кисень, азот тощо.

До мінеральних домішок належить вода, в якій розчинені солі NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 тощо.

За *вмістом сірки* нафти поділяють на *малосірчисті* (0,10,5% сірки), *сірчисті* (0,53%) і *багатосірчисті* (35% сірки). Сірка спричиняє корозію обладнання як у процесі переробки нафти, так і під час використання нафтопродуктів.

Перед тим, як подати нафту на переробку, з неї вилучають гази, воду, мінеральні солі, механічні домішки та сірку.

Гази відділяють у резервуарах з пониженим тиском. Відділені гази спрямовують на переробку, внаслідок чого отримують газовий бензин, етан, пропан, бутан. Потім з нафти вилучають пісок і глину. Для цього до нафти додають деемульгатори. Знесолюють нафту за допомогою електричного струму. Сірку та сірководень вилучають за допомогою розчинів лугів або амоніаку.

Очищену від домішок нафту переробляють, для отримання пального, мастил, розчинників, окремих вуглеводнів тощо.

Перший нафтопереробний завод в Україні побудовано у 1816 р. в м. Дрогобич (Львівщина). Це започаткувало переробку нафти не лише в Україні, а й в Європі.

II. Нафтопродукти. У процесі переробки нафти отримують пальне і паливо (рідинне та газове), мастила, розчинники, окремі вуглеводні (етилен, пропілен, метан, ацетилен, бензол, толуол тощо), тверді і напівтверді суміші вуглеводнів (парафін, вазелін), бітуми та пек, сажу, нафтові кислоти та їх похідні тощо.

1. Пальне. *Рідинне пальне* поділяють на карбюраторне, реактивне, дизельне.

До *карбюраторного пального* належать авіаційні й автомобільні бензини, а також тракторне пальне (лігроїн /від англ. «*ligroïne*»/ і гас).

Реактивне пальне складають газові фракції різного складу або суміші з бензиновими фракціями. Це пальне використовують в авіаційних реактивних двигунах.

Дизельне пальне складається із газойлів (від «*gas*» і англ. «*oil*») і солярових фракцій. Його використовують в авіаційних двигунах внутрішнього згоряння.

2. Паливо. *Котельне паливо* – це мазут. Його використовують на теплових електростанціях, в промислових печах (наприклад, мартенівських) тощо.

Газове паливо – це суміші пропану та бутану в різних співвідношеннях. Його використовують для комунально-побутових потреб.

3. Мастила. Їх використовують для змащування машин і механізмів. Залежно від призначення мастила поділяють на індустриальні (веретенні, машинні тощо), турбінні, компресорні, трансмісійні, ізоляційні, моторні. Спеціальні мастила використовують не для змащення поверхонь виробів (деталей, вузлів, механізмів), а як гальмівну рідину в гальмівних сумішах, гідравлічних установках, а також як електроізоляційне середовище в трансформаторах, конденсаторах тощо. Назва цих мастил свідчить про місце їх використання, наприклад, трансформаторне, конденсаторне тощо.

4. Окремі вуглеводні. Ці складові нафти використовують для виробництва полімерів і продукції органічного синтезу.

Крім цього з нафти отримують бітуми, пеки, кислоти, парафіни, вазеліни тощо.

41.2. Сировина, з якої виробляють пальне у світі

У світі пальне виробляють з нафти (глибина переробки у США становить до 92%, а у нас – понад 50%), із вугілля (у Південно-Африканській республіці), цукрової тростини (у Бразилії) тощо.

Українські вчені пропонують розпочати виробництво пального з газових відходів чорної металургії: тих, зокрема, які містять оксид вуглецю. Наприклад, при роботі Нікопольського заводу феросплавів викидається в атмосферу і спалюється близько 1 млрд. м³ газу. Гріється атмосфера. Цей газ містить 8085% оксиду вуглецю. З нього можна виробити 100500 тис. т пального, кращого від бензину. Це пальне має октанове число понад 100. Використання його потребує втричі меншого двигуна, який матиме вдвічі більшу потужність. Отже, з відходів, які забруднюють довкілля, можна виробляти пальне.

41.3. Способи переробки нафти та нафтопродуктів

Нафта та нафтопродукти мають велике значення у житті та діяльності людства.

З нафти отримують пальне, паливо, мастила та інші речовини, які є сировиною для хімічної та інших промисловостей.

Нафту переробляють фізичним та хімічним способами. До них належать: дистиляція (фізичний спосіб) та крекінг (хімічний спосіб).

§ 41.3.1. Дистиляція нафти

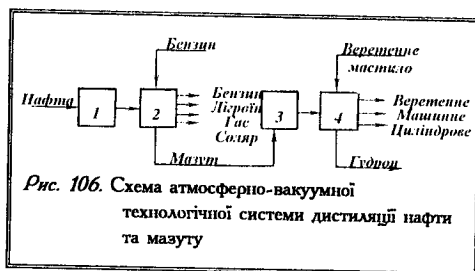
Дистиляція нафти полягає в поділі нафти на пальні та мастильні фракції (складові). Цей поділ ґрунтується

на різній температурі кипіння окремих фракцій. Дистилують нафту за умов запобігання розкладання вуглеводнів. При такому способі переробки нафти кількість отриманого бензину становить лише 520% кількості перероблюваної нафти.

Для точнішого розділення багатокomпонентної суміші, якою є нафта на окремі фракції використовують ректифікацію. Пальні фракції отримують у колоні за атмосферного тиску, а мастильні – у разі вакууму. Спрощену схему атмосферно-вакуумної технологічної системи дистиляції нафти та мазуту зображено на рис. 106.

1. Отримання пальних фракцій. Очищену нафту через систему теплообмінників за допомогою pomp подають до трубової печі, де вона нагрівається до температури 350°C (це температура кипіння нафти) (елемент 1), а звідси вона надходить до ректифікаційної колоні для розділення на фракції (елемент 2). У верхній

частині колони випари нафти зрошують бензином. Фракції, що киплять за низьких температур, винарковуються і піднімаються, а ті, що киплять за високих температур (мазут), стікають у нижню частину колони.



Усередині колони по висоті розміщені тарілки з отворами для проходження пари угору і стікання рідин. На тарілках унаслідок зустрічного руху рідини та газу вуглеводні, які мають низьку температуру кипіння, переходять у пару, а ті, які киплять за високої температури, конденсуються та стікають вниз. Таким чином, у різних температурних зонах колони виділяються різні фракції (згори вниз): бензин, лігроїн, гас, соляр (легкий газойль).

У сучасних колонах діаметром 6 м і висотою 50 м, які мають до 80 тарілок, за рік переробляють до 12 млн. т нафти. Внаслідок перероблення отримують 14,5% бензину (температура відбору – до 170°C), 7,5% лігроїну (160-200°C), 18% гасу (200-300°C), 5% соляру (300-350°C), решта – мазут, який збирається в нижній частині колони.

Якщо в мазуті міститься понад 1% сірки, то його спалюють в печах. У разі меншої кількості сірки мазут дистилюють для отримання мастильних фракцій або використовують у процесі крекінгу для отримання додаткової кількості бензину.

2. Отримання мастильних фракцій. Мастильні фракції отримують у колоні, де тиск понижений до 0,080,09 МПа. Отже, мазут, нагрітий у печі (елемент 3) до кипіння, надходить до ректифікаційної колони, де на тарілках конденсуються мастильні фракції (залежно від температури кипіння) (елемент 4): 10-12% веретенного мастила, 5% машинного, 3% легкого та 7% важкого циліндрового. Внизу колони збирається до 30% гудрону (франц. «goudron» – дьоготь, смола).

§ 41.3.2. Крекінг нафтопродуктів

Дистиляцією отримують незначну кількість бензину і до того ж малої якості. Для збільшення кількості бензину і поліпшення його якості

використовують хімічні способи. Серед них процес крекінгу (розщеплення) нафтопродуктів.

Крекінгом (англ. «cracking» від «crack» – розщеплювати) називають переробку нафтопродуктів, під час якої великі молекули вуглеводнів розщеплюються на малі.

Наприклад, $C_{14}H_{30} \rightarrow C_{17}H_{16} + C_7H_{14} - Q$. У нафтовій промисловості використовують різні види крекінгу. До них належать термічний, каталізний тощо.

І. Термічна переробка нафтопродуктів. Термічну переробку нафтопродуктів поділяють на термічний крекінг, піроліз і коксування.

1. Термічний крекінг нафтопродуктів. Термічний крекінг проводять за температури 470–540°C і тиску 27 МПа. Вуглеводні починають розщеплюватися за температури 380–400°C. Із підвищенням температури швидкість розщеплення зростає. Підвищення температури крекінгу за постійних тисків спричинює збільшення виходу легких компонентів і зменшення важких та коксу. У разі збільшення тиску, підвищується температура кипіння сировини. Змінюючи тиск, можна впливати на фазовий стан і проводити крекінг у паровій, рідинній та мішаній фазах.

У **паровій фазі** проводять крекінг газовогоазойлевих фракцій, у **рідинній** – мазуту та гудрону. Під час крекінгу в **мішаній фазі** тиск сприяє гомогенізації сировини – газ частково розчиняється в рідині, зменшуючи її густину.

Рідинний крекінг проходить у двофазній системі: рідина – пара. Сировиною є мазут. У процесі нагрівання молекули мазуту розщеплюються з утворенням бензину, газу, коксу та залишку.

Крекінг мазуту проводять у дві стадії. Спочатку за температури 450–470°C і тиску 2,5 МПа отримують бензин, газово-солярові фракції. На другій стадії проводять крекінг газово-солярових фракцій. Для цього збільшують тиск до 4,5 МПа і підвищують температуру до 500–520°C. Внаслідок розщеплення важких молекул отримують легкі фракції бензинів. Якщо на першій стадії розщеплення вихід бензину становить 10%, то на другій за рахунок більш глибокого розщеплення отримують 30–35% бензину. Октанове число крекінг-бензину (≈ 70) більше, ніж бензину, отриманого дистиляцією. Крім бензину отримують до 55% крекінгзалишку і 10–15% крекінг-газів, які складаються з водню, метану, етану, пропану, бутану, етилену, пропілену та бутилену. Після розділення крекінг-газів на складові їх використовують для синтезу полімерів, різних органічних сполук, отримання великооктанового бензину. Крекінг-залишок використовують для виробництва пального або на теплових електростанціях, морських судах чи в промислових печах.

Технологічна система термічного крекінгу нафтопродуктів залежить від виду сировини. А це всі нафтопродукти, отримані дистиляцією та важкі фракції каталізного крекінгу і коксування. Спільною для всіх систем термічного крекінгу є трубова піч, в якій нагрівається та частково розщеплюється сировина. У сучасних технологічних системах термічного крекінгу застосовують рециркуляцію (наявність зворотного потоку сировини в системі), внаслідок чого максимально використовуються сировина й обладнання.

2. Піроліз нафтопродуктів. *Піролізом* (від грецьк. «*піро...*» – вогонь і «*...ліз*» – розпад) називають розщеплення великих молекул вуглеводнів на простіші за високої температури.

Піроліз нафтопродуктів проводять для отримання газів і рідинних ароматичних вуглеводнів. Піроліз нафтопродуктів проводять за температури 700-1000°C і тиску, близького до атмосферного. Внаслідок розщеплення молекул газу або легкого газойлю отримують до 50% газу, ароматичні вуглеводні та смолу.

Гази піролізу відрізняються від газів крекінгу більшою кількістю етилену, пропілену, бутілену, які є сировиною для виробництва продукції органічного синтезу (етиловий і метиловий спирт, оцтова кислота, барвники, лікарські препарати) і особливо для виробництва синтетичних волокон, пластмас, каучуків тощо.

У процесі піролізу обладнання більш матеріаломістке, ніж у процесі термічного крекінгу, оскільки пара нафтових фракцій погіршує умови передачі теплоти в трубових печах, що призводить до збільшення довжини труб у печі. Крім того, збільшуються витрати теплоти на нагрівання.

У наш час відомо багато нових видів піролізу: із застосуванням каталізаторів, у присутності водню (гідропіроліз) тощо.

3. Коксування нафтопродуктів. *Коксуванням нафтопродуктів називають розкладання нафтових залишків (мазуту, гудрону, крекінгзалишку) при нагріванні без доступу повітря.*

Цей процес проводять для отримання додаткової кількості рідинного пального та коксу, який згоряє без твердого залишку (жужелиці). Отриманий кокс використовують для виробництва електродів необхідних металургії, карбідів для авіаційної та ракетної техніки, ядерної енергетики тощо. Чистий вуглець використовують як сповільнювач нейтронів у атомних реакторах.

Коксування проводять у технологічних системах періодичних, напівбезперервних і безперервних. Найпоширенішими є напівбезпе-

первні системи, в яких сировина подається безперервно, а вихід коксу періодичний.

II. Каталізний крекінг і реформінг нафтопродуктів. У наш час термічні способи переробки нафтових фракцій швидко витісняються менш енергомісткими та ефективнішими – каталізними, які порівняно з термічними проходять з більшою швидкістю за нижчих температур і тисків. Крім того, вони дають можливість перероблювати нафтопродукти, з великим вмістом сірки.

Каталізний крекінг нафтопродуктів проводять за участю каталізаторів, якими можуть бути платина, оксиди молібдену, хрому, алюмосилікати тощо. На відміну від термічного крекінгу каталізний проводять за нижчих температур і тисків. Використання каталізаторів для крекінгу нафтопродуктів зменшує затрати палива, збільшує продуктивність реакторів. Крім того, поліпшується якість і збільшується кількість отриманого бензину та інших нафтопродуктів.

Каталізні процеси, які використовують при переробці нафтопродуктів, поділяють на каталізний крекінг і каталізний реформінг (англ. «*reforming*» від лат. «*reformatio*» – перетворюю).

Для крекінгу каталізатори виготовляють із твердих високопористих алюмосилікатів. У процесі розщеплення вуглеводнів на поверхні каталізатора осідає кокс, що спричиняє зниження активності каталізатора. Каталізатор потребує регенерації.

Для зменшення відкладень коксу на поверхні каталізатора крекінг нафтопродуктів проводять під тиском у присутності водню. Такий процес називають **платформінгом**. Для платформінгу каталізатори виготовляють із платини, оксиду хрому, оксиду молібдену тощо.

1. Каталізний крекінг. Цей вид крекінгу нафтопродуктів проводять у контактному апараті з рухомим каталізатором за температури 450°C і тиску 0,10,2 МПа. Контактний апарат є складовою елемента технологічної системи, спрощену схему якої показано на рис. 107.

Сировину (соляріву, газову чи іншу фракцію) нагрівають у печі (елемент 1) за температури 350-360°C і спрямовують до реактора (елемент 2), в який із бункера (елемент 3) подають каталізатор (алюмосилікат) у вигляді дрібних частинок. У реакторі відбувається каталіз сировини. У процесі перерозподілу водню між молекулами нафтопродуктів виділяється кокс (вуглець), який осідає на поверхню каталізатора і зменшує його активність. Для відновлення активності каталізатор регенерують. Відбувається це таким чином. Під дією власної маси відпрацьований каталізатор падає вниз реактора, де його

го обдувають парою, після чого він надходить до регенератора (елемент 4). У регенераторі каталізатор обдувають повітрям, нагрітим до температури $550-600^{\circ}\text{C}$. За цих умов вуглець згоряє. Теплоту, яка виділяється при цьому, використовують для отримання пари та нагрівання сировини. Таке ощадне використання теплоти зменшує енергетичні затрати, спрощує обладнання та полегшує його експлуатацію. Відновлений каталізатор під тиском повітря знову повертається до бункера (елемент 3), а звідси – до реактора /контактного апарата/ (елемент 2). Цей процес безперервний. Продукти крекінгу з реактора надходять до ректифікаційної колони (елемент 5), де розділяються на фракції: газ, бензин, газойль, кокс.

У процесі каталізного крекінгу гасосолярових фракцій отримують близько 12–15% газу, який містить цінні для органічного синтезу пропанпропіленову і бутанбутиленову фракції, до 10% газойлю (дизельне паливо), 45% коксу та до 70% бензину з октановим числом 77–78.

Порівняно великий вихід бензину з добрими антидетонаційними (проти вибуховими) властивостями є *однією з переваг* каталізного крекінгу порівняно з термічним.

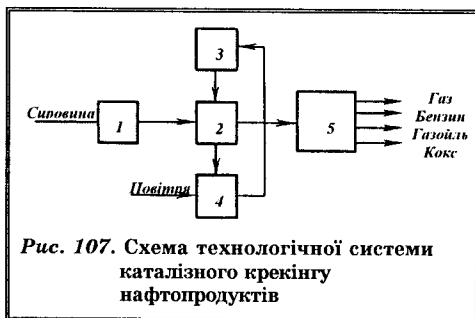
Друга перевага цього способу полягає в отриманні бензину з малим вмістом сірки незалежно від її кількості в сировині. А це дуже важливо, оскільки добування нафти, яка містить незначну кількість сірки, скорочується, а зростає добування нафти з великим вмістом сірки.

Щоб поліпшити якість бензину та збільшити його октанове число, впроваджують каталізний реформінг.

2. Каталізний реформінг. На відміну від крекінгу реформінг проводять з участю водню у присутності каталізаторів платини, оксиду молібдену тощо.

Відомо кілька промислових способів реформінгу, які різняться каталізаторами, температурою, тиском і способом регенерації каталізаторів.

Найчастіше застосовують каталізний реформінг із використанням платинового каталізатора (платина нанесена на поверхню оксиду алюмінію) в середовищі водню за температури $470-540^{\circ}\text{C}$ і



тиску 2–4 МПа. Цей процес називають *платформінгом*. Переробляють легкі нафтові фракції — малооктанові бензини, які отримують у процесі дистиляції нафти або бензинолегроїнової суміші. У результаті такої переробки отримують бензин з великим октановим числом або ароматичні вуглеводні (бензол, толуол, ксилол). Якщо платформінг проводять за тиску 1,5–3,0 МПа, то отримують бензол, толуол, ксилол; за тиску ≈ 5 МПа утворюється дуже якісний бензин з октановим числом 98. Отриманий бензин має незначний вміст сірки, є стійким під час зберігання та використання.

Незалежно від умов процесу у ході реформінгу паралельно з рідинною продукцією отримують 5–15% газової, яка містить водень, метан, етан, пропан, бутан та ізобутан. Деякі з них використовують у виробництві метанолу, формальдегіду тощо, які додають до бензину.

41.4. Очищення нафтопродуктів

Отримані нафтопродукти в більшості випадків не готові до використання, оскільки містять різні домішки, які впливають на стабільність властивостей. Щоб позбутися цих домішок використовують хімічні та фізикохімічні способи очищення. Нафтопродукти очищують лугом (NaOH), сірчаною кислотою (H_2SO_4), проводять адсорбцію, екстракцію (від лат. «*extraho*» – вилучаю) тощо. Очищення нафтопродуктів робить їх дорожчими, але якіснішими.



КОКСУВАННЯ КАМ'ЯНОГО ВУГІЛЛЯ

Коксуванням називають перетворення природного палива, головним чином кам'яного вугілля, на кокс (нім. «Koks» від англ. «coke» – тверда, міцна пориста маса) та іншу цінну продукцію нагріванням у печах за високих температур без доступу повітря.

Уперше коксування кам'яного вугілля здійснено в 1709 р. англійцем Дербі. З того часу його постійно вдосконалюють, а продукцію, отриману в процесі коксування, використовують усе ширше. Спочатку вугілля коксували для отримання коксу та світильного газу, який після очищення від кам'яновугільної смоли використовували для освітлення й опалення. Лише в другій половині XIX ст. кам'яновугільна смола з небажаного баласту (голландськ. «ballast» – непотріб) перетворилась на цінну сировину для отримання багатьох органічних речовин.

За хімічним складом кам'яне вугілля поділяють на кілька видів. У табл. 4 наведено класифікацію вугілля Донецького кам'яновугільного басейну.

Для коксування беруть суміш вугілля різних видів з таким розрахунком, щоб у процесі коксування утворювалася достатня кількість летких речовин, а металургійний кокс мав певну пористість та міцність.

Процес коксування починається за температури понад 100°C. У процесі нагрівання вугілля до температури 200°C випаровується вода та виходять гази CO_2 і CH_4 . У разі подальшого нагрівання до 350°C починають розкладатись органічні речовини з виділенням CO , H_2O та інших сполук. Подальше підвищення температури спричинює перехід вугільної маси у пластичний стан і виділення кам'яновугільної смоли. За температури 600°C утворюється напівкокс. У межах температур 600–1100°C напівкокс перетворюється на кокс.

Таблиця 3

Вугілля	Марка	Вихід летких речовин, %	Хімічний склад, %, горючої маси			
			Вуглець	Водень	Азот	Кисень
Довгополуменеве	Д	3748	7686	56	1,8	1017
Газове	Г	3445	7889	45	1,7	716
Парове масне	ПМ	2536	8490	45	1,7	510
Коксове	К	1827	8792	45	1,5	38
Парове спікливе	ПС	1220	8994	45	1,5	25
Пісне	Г	817	9095	34	1,2	25

Якість коксу залежить від вмісту у вугіллі бітумів (від лат. «*bitumen*» — смола): маслянистого та твердого. Завдяки бітумам маса вугілля спочатку стає пластичною, а потім пористою. Вміст у вугіллі мінеральних домішок погіршує якість коксу і негативно впливає на чавуноваріння, адже кокс є одним із основних видів палива у процесі виробництва чавуну. Тому вугілля перед коксуванням збагачують.

Мінеральні домішки повністю залишаються в коксі й зумовлюють збільшення в шихті кількості флюсів. Крім того, великий вміст у коксі речовин, які в процесі згоряння утворюють жужелицю, зменшує його міцність.

Найбільш шкідливою домішкою у вугіллі є сірка, оскільки частина її залишається в коксі, а частина виноситься разом із коксовим газом. Збільшення вмісту сірки у коксі на 1% спричинює збільшення в доменній шихті вмісту флюсів на 10–20% і зменшення продуктивності печі на 20–30%. Тому вугілля, яке містить велику кількість сірки, збагачують флотаційним способом, що зменшує вміст сірки на 15–20%.

Коксують вугілля періодичним і безперервним способом

1. Періодичний спосіб коксування вугілля. Його проводять у печах-камерах, які працюють періодично. Для наближення періодичного коксування до безперервного печі об'єднують у батареї, які складаються з кількох десятків печей.

Коксова піч – це камера, викладена з вогнетривкої цегли (рис. 108).

Довжина печі-камери (1213 м) визначається потужністю коксовиштовхувальної машини, висота (44,3 м) — можливістю рівномірного нагрівання вугілля, ширина — не перевищує 0,4 м, з боку коксовиштовхувальної машини вона на 35 см вужча. Місткість камер — 15–28 т.

Подрібнене (розмір шматків не менш як 3 мм) і збагачене вугілля завантажують у бункери 1 печі-камери 2, стінки якої нагрівають зовні 5. Процес коксування починається біля стінок камери і поширюється до середини. Леткі продукти безперервно виходять із печі через газовиводи 3 у газозбирач, а потім ідуть на переробку. Вугілля нагрівають до температури 1400°C протягом 14–16 год. За цей час утворюється кокс. Після закінчення коксування кокс виштовхують із печі коксовиштовхувачем 4. Розжарений кокс потрапляє до вагона, а звідси — до гасильної башти, де охолоджується водою. Застосовують також сухе гасіння коксу.

Охолоджений кокс сортують за розмірами. Металургійним коксом є шматки розміром 25–40 мм.

2. Безперервний спосіб коксування вугілля. При цьому способі коксування проводять у стовбурних печах. Шихту попередньо підігрівають у камерних печах або в печах із «псевдокиплячим шаром» до температури 400°C. За цієї температури шихта розм'якшується. Потім із цієї шихти на спеціальній машині формують брикети розміром 60×60×70 мм³. Отримані брикети завантажують до печі, у середній частині якої найвища температура, тут і відбувається коксування. У верхній частині печі брикети нагріваються, а в нижній — охолоджуються. Остаточне охолодження та гасіння коксу проводять так само, як і в разі періодичного способу коксування.

У разі безперервного способу отримання коксу час коксування скорочується до 3 год.; отриманий кокс має відповідні форму та розміри, що дуже важливо для виробництва чавуну; крім того, можна коксувати також буре вугілля, а це дуже важливо, оскільки коксівного залишилось не так багато.

Частина IX

Виробництво продукції хімічної промисловості

Розділ 43. ПРОДУКЦІЯ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Розділ 44. ВИРОБНИЦТВО СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

*Розділ 45. ВИРОБНИЦТВО ХЛОРУ, ВОДНЮ
ТА ЇДКОГО НАТРІЮ*

Розділ 46. ВИРОБНИЦТВО ХІМІЧНИХ ВОЛОКОН



ПРОДУКЦІЯ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Хімічна промисловість є однією з основних галузей. На її підприємствах виробляють близько 50000 назв продукції.

З усіх видів продукції хімічної промисловості найважливішими є мінеральні добрива, отрутохімікати, кислоти, луги, фарби, синтетичні волокна, пластмаси, каучуки тощо. Тридцять тисяч видів виробів з гуми і п'ятдесят тисяч із пластмас забезпечують роботу сучасної промисловості, сільське господарство та побут людини.

Швидке зростання кількості населення Землі призвело до того, що стало неможливим виготовлення одягу та взуття лише з сировини рослинного та тваринного походження. Десятки видів хімічних волокон використовуються для виготовлення одягу, а штучна шкіра та хутро замінили природні.

Хімічні переробки природних видів палива дає крім великомолекулярних сполук таку продукцію, як кокс, моторне пальне, мастила, горючі гази та велику кількість окремих органічних речовин, без яких важко уявити всі інші галузі промисловості, наприклад, машинобудування. Без моторного пального зупиняться авіаційний і автомобільний транспорт. Без органічних речовин, які отримують в процесі переробки твердих і рідинних видів палива, неможливо отримати барвники, фарби, лаки, ліки.

Із природного газу або твердих видів палива, води та повітря на хімічних заводах виробляють амоніак та азотну кислоту, які використовують для отримання мінеральних добрив і різних синтетичних речовин.

Неможливо уявити собі виробництво мінеральних добрив і кольорових металів без сірчаної кислоти. Її використовують текстильна, шкіряна, харчова та інші промисловості. На транспорті використовують сірчаноокислі акумулятори.

Це лише кілька прикладів продукції хімічної промисловості та її використання.

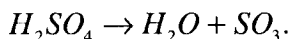
43.1. Неорганічні кислоти

Із 22-х видів неорганічних кислот найчастіше використовують сірчану, азотну, соляну та фосфорну. Саме тому їх виробляють найбільше.

1. **Сірчана кислота (H_2SO_4).** Серед мінеральних кислот, які виробляє хімічна промисловість, сірчана кислота за обсягом виробництва й використання посідає перше місце. Вона належить до найсильніших і найдешевших кислот.

Властивості сірчаної кислоти. Безводна сірчана кислота важка, безколірна, тягуча, як олія, рідина, змішується з водою і з SO_3 у будь-якому співвідношенні, за температури $0^\circ C$ має густину 1850 кг/м^3 .

У процесі нагрівання понад $200^\circ C$ розкладається:



Сірчана кислота має властивість забирати воду звідусіль, навіть з хімічних сполук. У сірчаній кислоті добре розчиняється SO_3 . Такий розчин називають *олеумом*.

Сірчана кислота не димить, а концентрована не руйнує чорні метали.

Зберігають сірчану кислоту на спеціальних складах у циліндричних сталевих резервуарах об'ємом до 1000 м^3 , перевозять у сталевих цистернах і скляних бутлях.

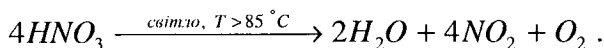
Споживачі отримують башняну кислоту (74–75%), купоросну оливу (90,5–92,5%), акумуляторну кислоту (92–94%), олеум малої концентрації, який містить 18,5–20% вільного SO_3 , олеум великої концентрації, в якому міститься 65 ($\pm 1,5$)% вільного SO_3 .

Використання сірчаної кислоти. Важко знайти галузь промисловості, де не використовують сірчану кислоту та її солі. Найбільшим споживачем сірчаної кислоти є підприємства, на яких виробляють мінеральні добрива (наприклад, фосфорні), інші кислоти (концентровану азотну кислоту), солі (мідний купорос). На виробництво мінеральних добрив витрачається майже половина сірчаної кислоти. У металообробній промисловості сірчану кислоту використовують

для очищення поверхонь металевих виробів перед нанесенням декоративно-захисних покриттів (наприклад, лакове, цинкове, нікелеве, хромове покриття). Її використовують у виробництві вибухових речовин, штучних і синтетичних волокон (наприклад, віскозне волокно, штучний шовк, капролактам). Велика кількість сірчаної кислоти витрачається на очищення нафтопродуктів. У харчовій промисловості сірчану кислоту використовують для виробництва крохмалю, папки та іншої продукції. Транспорт користується свинцевими сірчано-кислими акумуляторами. За допомогою сірчаної кислоти регенерують іоніти, якими очищують воду на теплових електростанціях.

2. Азотна кислота (HNO_3). За значеннями і масштабами використання азотна кислота посідає друге місце після сірчаної.

Властивості азотної кислоти. Безводна азотна кислота за нормальної температури є безбарвною рідиною. За температури $15^\circ C$ її густина становить 1520 кг/м^3 . Жовтуватого кольору кислоті надає діоксид азоту, який виділяється на світлі в процесі нагрівання:



Азотна кислота є сильним окиснювачем. У процесі взаємодії з металами виділяється не водень, як має місце в разі дії соляної чи сірчаної кислот, а NO і NO_2 .

Концентровану азотну кислоту зберігають і перевозять у резервуарах і цистернах, виготовлених з алюмінію, та скляних бутлях. Поверхня алюмінію захищена від дії кислоти тонким корозієстійким шаром оксиду алюмінію.

Оксиди азоту й азотна кислота належить до речовин із сильними отруйними властивостями; тому допустимий вміст оксидів азоту в повітрі не повинен перевищувати $0,1 \text{ мг/м}^3$.

Промисловість виробляє розведену азотну кислоту з вмістом 45–60% HNO_3 , і концентровану, в якій міститься 97–98% HNO_3 .

Використання азотної кислоти. Основним споживачем розведеної азотної кислоти є виробники мінеральних добрив, які містять азот. Це калієва, натрієва й амонійна селітри та комплексні мінеральні добрива.

Концентровану азотну кислоту використовують для виробництва вибухових речовин, пластмас, барвників, нітролаків та інших речовин. Частина азотної кислоти йде на виробництво сірчаної кислоти

нітрозним способом. Використовують азотну кислоту також як реактив у хімічних лабораторіях.

3. Соляна кислота (HCl). Це безбарвна рідина з різким запахом, має густину 1180 кг/м^3 . Соляна кислота належить до сильних кислот. Вона має велику хімічну активність, руйнує всі метали, крім платини та золота. Соляну кислоту виробляють з концентрацією хлороводню (HCl), яка дорівнює 19–38%.

Використання соляної кислоти. У промисловості соляну кислоту використовують у виробництві хлоридів металів, у гальванопластичі, у гідрометалургії для виробництва металів (платини, золота, срібла), у процесі паяння та лудіння металів, при бурінні нафтових свердловин, при гідролізі крохмалю, для очищення парових казанів від накипу, у процесі виробництва анілінових барвників, оцтової кислоти, активованого вугілля, дублення та фарбування шкіри, у побуті тощо.

43.2. Луги та соди

Лугами та содами називають розчинні у воді гідрооксиди амоніаку, лужних і лужноземельних металів, а також вуглекислі солі лужних металів.

У промисловості найбільше виробляють, а відповідно і використовують кальцинованої, харчової та каустичної соди й амоніачної води.

1. Кальцинована сода (Na_2CO_3). Це білі дрібні кристалики, які добре розчиняються у воді.

Промисловість виробляє технічну, фотографічну й оптичну кальциновану соду. Між собою вони відрізняються ступенем чистоти.

Кальциновану соду використовують для виробництва оптичного та вакуумного скла, їдкого натрію, мила, у текстильній, целюлозно-паперовій, лако-фарбовій, шкіряній промисловостях, а також для побутових потреб.

2. Каустична сода ($NaOH$). Її ще називають гідрооксидом натрію або їдким натрієм. Це біла кристалічна речовина з температурою плавлення 321°C і кипіння 1378°C . На повітрі каустична сода швидко поглинає вологу та вуглекислий газ. Тому для її зберігання та перевезення необхідна вологонепроникна тара. Виробляють каустичну соду електролізом водного розчину хлориду натрію (див. Розділ 45).

Каустичну соду використовують у виробництві штучних волокон, паперу, мила, синтетичних барвників, у текстильній промисловості,

металургії для виробництва натрію, для очищення нафтопродуктів (бензину, газу) тощо.

3. Харчова сода (NaHCO_3). Це проміжна продукція, яку отримують у процесі виробництва кальцинованої соди.

Очищений гідрокарбонат натрію використовують у харчовій промисловості, медицині, вогнегасниках, для побутових потреб тощо. Гідрокарбонати натрію, які використовують у харчовій промисловості та медицині, не повинні містити в собі солей амоніаку, важких металів і арсену.

43.3. Мінеральні добрива

Для нормального росту та розвитку рослин необхідно, щоб у ґрунті була достатня кількість азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію, заліза, бору, йоду, цинку, молібдену, марганцю, міді тощо. Недостача, як і надлишок цих елементів у ґрунті, впливає на розвиток рослин, а через них і на людський організм.

Мінеральними добривами називають солі, які містять елементи, необхідні для нормального росту рослин.

Мінеральні добрива вносять у ґрунт для отримання стійких і якісних урожаїв сільськогосподарських культур. За рахунок внесення мінеральних добрив у ґрунт урожай сільськогосподарських культур збільшується на 50–70%. Крім того, добрива поліпшують якість продукції – збільшують вміст цукру в цукрових буряках і винограді, крохмалю в картоплі, білка в зерні, збільшують міцність волокон льону, конопель і бавовни. Поряд з цим мінеральні добрива поліпшують стійкість рослин до засухи, холоду та захворювань.

Сировина для виробництва мінеральних добрив – природні мінерали, відходи хімічної та металургійної промисловості. Мінеральні добрива виробляють із природних фосфатів, солей калію тощо. Джерелом сировини для виробництва азотних добрив є атмосферний азот.

§ 43.3.1. Класифікація мінеральних добрив

В основу класифікації мінеральних добрив покладено такі ознаки: агрегатний стан, вид поживного елемента, фізико-хімічні властивості тощо.

1. За агрегатним станом. Усі добрива поділяють на рідинні та тверді.

До *рідинних добрив* належить амоніачна вода.

Тверді добрива виробляють у вигляді гранул і дрібних кристалів. Добрива у вигляді кристалів мають ряд *недоліків*: легко вимиваються водою, злежуються під час зберігання тощо. Гранульовані добрива мають достатню міцність, повільно розчиняються в ґрунтових розчинах. Їх можна вносити в ґрунт разом із насінням, тобто механізованим способом, що забезпечує підживлення сільськогосподарських рослин, а не бур'янів. Крім того, такий спосіб внесення добрив зменшує затрати.

2. За видом поживного елемента. Всі мінеральні добрива поділяють на фосфорні, азотні, калійні тощо. У цих добривах основними поживними елементами є фосфор, азот, калій.

Добрива, які містять один поживний елемент, називають *прости-ми*, наприклад, карбамід ($CO(NH_2)_2$) (поживний елемент – азот); сульфат калію (K_2SO_4) (поживний елемент – калій). Якщо поживних елементів два і більше, добрива називають *комплексними* – наприклад, амофоска має три поживних елементи: азот, фосфор і калій.

В окрему групу виділено *мікродобрива*. Вони містять елементи, необхідні для росту рослин, – бор, манган, цинк, мідь, молібден тощо. Кількість цих елементів у добривах надзвичайно мала.

3. За вмістом поживних елементів. Мінеральні добрива поділяють на звичайні та концентровані. До останніх належать добрива, що містять понад 30% поживних речовин, наприклад, карбамід.

4. За фізикохімічними властивостями. Це, перш за все, – за ступенем розчинності у ґрунтах. За цією ознакою мінеральні добрива поділяють на розчинні у воді та розчинні у ґрунтових кислотах. Усі азотні та калійні добрива розчинні у воді. Вони легше засвоюються рослинами, але швидше вимиваються з ґрунтів дощовими та ґрунтовими водами і відповідно частину їх використовують нераціонально. До розчинних у ґрунтових кислотах належать деякі фосфорні добрива. Вони повільніше засвоюються рослинами, але довше затримуються у ґрунті.

§ 43.3.2. Калій добрива

Калій необхідний для фотосинтезу та росту рослин, формування стебла. Він підвищує цукристість плодів

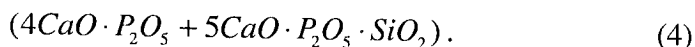
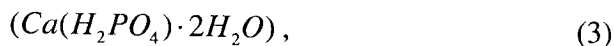
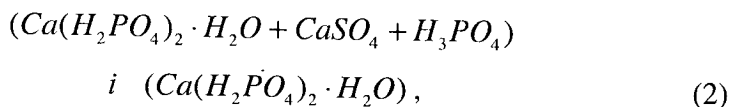
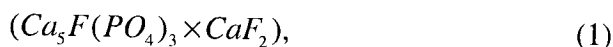
і овочів, надає їм приємного запаху. Саме калійні добрива виконують роль стимуляторів нормального засвоєння рослинами інших добрив.

Коли внести у ґрунт надміру азотних добрив без калійних, то рослини швидко ростимуть, але у них утворюватимуться не білкові речовини, а нітрати і замість поживного продукту отримаємо шкідливий.

Як відомо Україна має найбільші у Європі поклади калійних мінералів, з яких виробляють калійні добрива. Ці мінерали добувають у районах Стебника, Калуща (на Прикарпатті). Головними компонентами калійних мінералів є сульфат калію (K_2SO_4). У мінералі міститься 7% хлориду калію (KCl). Нині Прикарпатські калійні мінерали просто перемелюють, пакують у вологонепроникні мішки і відправляють на поля.

§ 43.3.3. Фосфорні добрива

Поживним елементом у цих добривах є фосфор, який рослини засвоюють у вигляді P_2O_5 . До фосфорних добрив належать фосфоритне борошно ^(формула 1), суперфосфат ⁽²⁾, преципітат ⁽³⁾, металургійні шлаки ⁽⁴⁾. Деякі з них містять до 50% поживного елемента.



Фосфорні добрива мають різну розчинність у ґрунтових водах і, відповідно, по-різному засвоюються рослинами. Найкраще розчиняється в ґрунтових розчинах подвійний суперфосфат, важкорозчинною є фосфоритне борошно. Добре розчинні мінеральні добрива виробляють у вигляді гранул, задовільно та важкорозчинні — у виглядів порошків.

§ 43.3.4. Азотні добрива

Поживним елементом у цих добривах є азот. Рослини споживають азот лише у вигляді сполук. Азотні добрива добре розчиняються в ґрунтових водах, гігроскопічні. Представниками азотних добрив є амоніачна вода (розчин амоніаку у воді), амоніачна селітра, карбамід (сечовина), сульфат амоніаку.

Амоніачною водою називають розчин амоніаку (NH_3) у воді, який містить до 20,5% азоту.

Це найдешевше азотне добриво, оскільки не треба переробляти амоніак; виробляти азотну кислоту; відпадає потреба гранулювати, висушувати та пакувати добрива у водостійку тару. До місця використання (поля, городи) амоніачну воду перевозять у цистернах.

Амоніачною селітрою (NH_4NO_3) називають білу речовину у вигляді кристалів, яка містить до 35% азоту.

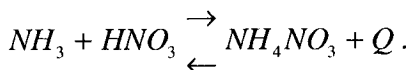
Амоніачну селітру використовують для підживлення майже всіх сільськогосподарських рослин на всіх ґрунтах. Вона добре розчиняється у воді та вимивається дощами з ґрунту часто ще до засвоєння її рослинами, тим самим забруднює воду, яка стікає з полів у водойми, а відповідно гинуть живі організми.

Виробляють амоніачну селітру у вигляді гранул. Для затримання процесу розчинення гранул (на місяць — два) вчені Харкова запропонували «одягнути» їх у спеціальний одяг (плівку), яка виконує роль мембрани, тобто пропускає лише певну кількість іонів селітри.

Використання «одягнених» гранул амоніачної селітри порівняно із звичайними має такі *переваги*:

- зменшується кількість внесення добрива;
- одночасно економляться трудові ресурси та техніка;
- збільшується врожайність сільськогосподарських рослин. Наприклад, урожай озимої пшениці зріс на 9 ц/га.

Для зменшення витрат на перевезення сировини амоніачну селітру виробляють на тих самих заводах, що й азотну кислоту та амоніак, оскільки вони є сировиною для її виробництва:

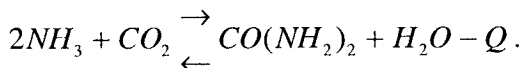


Затрати на сировину становлять 85%.

Карбамідом (сечовиною) ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) називають речовину у вигляді кристалів білого або жовтуватого кольору, яка містить до 46,6% азоту.

На відміну від амоніачної селітри карбамід не вибухає на повітрі, є менш гігроскопічним, що зменшує вимоги до його зберігання.

Сировиною для виробництва карбаміду є амоніак і двооксид вуглецю:



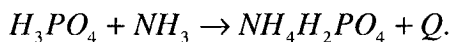
Собівартість 1 тонни азоту в карбаміді трохи більша, ніж в амоніачній селітрі. Проте затрати на зберігання та транспортування карбаміду менші, ніж для амоніачної селітри. Крім того, у карбаміді більший вміст азоту. Отже, затрати на виробництво карбаміду відшкодовуються при його використанні.

§ 43.3.5. Комплексні добрива

Унаслідок різноманітності ґрунтово-кліматичних умов і сільськогосподарських культур виникає постійна потреба

у виробництві комплексних добрив з різним вмістом азоту, фосфору, калію. Комплексні добрива мають таке співвідношення поживних речовин: $N:P_2O_5:K_2O = 1:1:1; 1:1:1S; 1:1S:1; 1:2S:0$ тощо. Наприклад, для нормального росту цукрових буряків треба більше калію, для пшениці – азоту і фосфору.

Комплексні добрива поділяють на мішані та складні. *Мішані добрива* отримують перемішуванням простих мінеральних добрив. *Складні добрива* отримують у процесі взаємодії складових сировини, наприклад, виробництво амофосу:



Під час виготовлення комплексних добрив до складу сировини додають мікроелементи (*B, Mn, Cu, Zn, Mo* тощо), які значно впливають на врожайність сільськогосподарських рослин, особливо таких, як цукрові буряки, льон, кукурудза тощо.

Комплексні добрива виробляють у вигляді гранул. Використання комплексних добрив дає більший економічний ефект, ніж використання простих. Цього ефекту досягнуто за рахунок скорочення затрат на пакування, транспортування, зберігання та внесення мінеральних добрив у ґрунт, а також за рахунок того, що рослини повніше засвоюють поживні речовини в комплексі, ніж окремо.

У наш час створюють нові види комплексних добрив на основі відомих: гранули комплексних добрив покривають полімерною плівкою, яка містить різні фізіологічно активні речовини.

43.4. Великомолекулярні сполуки

Великомолекулярні сполуки (ВМС) завжди мали велике значення в життєдіяльності людини. Спочатку використовували ВМС природного походження (деревину, коноплі, льон, бавовну, шкіру, вовну, тощо). У другій половині XIX ст. почали виробляти штучні ВМС, а на початку XX ст. – синтетичні.

Штучні ВМС виробляють із природних. Наприклад, каучук отримують із соку каучуконосного дерева гівеї. **Синтетичні** ВМС утворюються внаслідок хімічної взаємодії великої кількості мономерів.

Мономерами називають маломолекулярні речовини, молекули яких здатні взаємодіяти між собою, або з молекулами інших речовин з утворенням ВМС.

Назва ВМС походить від назви мономера, з якого отримують полімер, додаванням слова «полі», що в перекладі з грецької означає «багато». Наприклад, поліетилен виробляють з етилену.

Першими синтетичними ВМС були бакеліт (фенолформальдегід, 1907 р.), синтетичний каучук (1910 р.). На сьогодні відомо понад 10000 назв ВМС.

ВМС мають універсальні властивості. Вони можуть бути м'якими або твердими, прозорими або непрозорими для світла. Ці сполуки поєднують такі властивості, як велика міцність за малої густини, велика корозієстійкість із твердістю, еластичність із теплоізоляцією тощо. Крім того з них легко виробляти вироби.

Дедалі ширше використовують штучні та синтетичні ВМС: пластмаси, каучуки та гуми, хімічні волокна, штучні шкіри та хутра, плівки, лаки, клеї тощо. Із пластмас виробляють конструкції, тару, ізоляцію, ними захищають металеві вироби від дії агресивних середовищ. Синтетичні каучуки використовують для виробництва гуми, з якої виготовляють колісні шини, конвеєрні стрічки, приводні паси, взуття, рукавиці тощо. Із синтетичних волокон виробляють тканини, хутро тощо.

§ 43.4.1. Будова та властивості ВМС

Молекули простих речовин, до яких належать аргон, водень, вода, луги, кислоти тощо, складаються з одного або кількох атомів. ВМС належать до складних речовин. Їх молекули містять сотні й навіть тисячі атомів. Вони мають велику молекулярну масу.

Молекули простих речовин, до яких належать аргон, водень, вода, луги, кис-

Молекули ВМС називають **макромолекулами**. Вони складаються з великої кількості одиничних структурних ланок, з'єднаних хімічними зв'язками у ланцюги. Кількість ланок у кожній макромолекулі може змінюватися, тому молекулярна маса окремих молекул може змінюватися.

Величина молекули впливає на властивості речовини. Наприклад, якщо молекула складається з двох елементарних (одиничних) ланок $CH_2 = CH_2$, то отримана речовина є безбарвним газом, який називають **етиленом**. Якщо в молекулі речовини таких ланок 20, то утворена речовина є рідиною, що має мастильні властивості. Збільшення числа ланок до 15002000 призведе до утворення еластичного матеріалу, з якого можна отримувати плівку, еластичні труби, пляшки тощо. Нарешті, якщо довжина ланцюга складається з 5000–6000 ланок, то утворюється твердий поліетилен $(-CH_2-CH_2-)_n$, з якого можна виробляти труби, міцні нитки тощо.

Кількість елементарних ланок у молекулі позначають літерою n і називають **коефіцієнтом полімеризації**.

Коефіцієнт полімеризації становить від кількох тисяч до кількох десятків, а іноді й сотень тисяч.

За структурою внутрішньої будови ВМС є аморфними речовинами або одночасно мають аморфні та кристалічні зони.

ВМС важкорозчинні або зовсім нерозчинні. Важкорозчинні ВМС спочатку набухають, потім молекули розчинника проникають у масу полімеру. Утворені розчини мають велику в'язкість. Із збільшенням молекулярної маси полімеру розчинність його зменшується.

ВМС не мають визначеної температури топлення; у процесі нагрівання розм'якшуються, іноді топляться, а іноді розкладаються, не топлячись. Чим більша молекулярна маса молекули ВМС, тим вища температура її розм'якшення та топлення.

Фізикомеханічні властивості ВМС залежать від будови макромолекули та температури нагрівання. За низьких температур енергія міжмолекулярної взаємодії велика і після зняття навантаження деформація швидко зникає. Із підвищенням температури виникає пластична деформація.

§ 43.4.2. Класифікація великомолекулярних сполук

ВМС класифікують за такими ознаками: походженням, хімічним складом голов-

ного ланцюга, структурою макромолекули, способом виробництва, ставленням до нагрівання тощо.

I. За походженням. Усі МВС поділяють на природні та хімічні.

1. Природні МВС відомі людині з давніх-давен. До них належать деревина, льон, коноплі, бавовна, вовна, шовк, шкіра, каучук тощо.

2. Хімічні МВС поділяють на штучні та синтетичні.

Штучні МВС отримують з речовин природного походження. Наприклад, з деревини виробляють целюлозу, з каучукових рослин (дерево гівея, коксагиз) – природний каучук тощо.

Синтетичні МВС отримують унаслідок хімічних перетворень маломолекулярних речовин.

II. За хімічним складом головного ланцюга. Усі МВС поділяють на два великі класи: **карболанцюгові**, головний ланцюг яких складається з атомів вуглецю /наприклад, поліетилен $(-CH_2-CH_2-)_n$ /, та **гетероланцюгові**, в головному ланцюгу яких крім атомів вуглецю містяться атоми кисню, азоту, сірки, кремнію тощо /наприклад, целюлоза $(C_6H_{10}O_5)_n$ /.

III. За структурою макромолекули. За цією ознакою усі МВС поділяють на лінійні, розгалужені та тривимірні. Якщо атоми в молекулі розташовані у вигляді довгого ланцюга, то такі МВС називають **лінійними**.

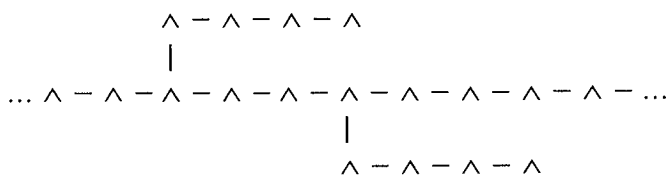
Довжина макромолекули значно перевищує її діаметр:



де $\wedge$ — елементарна ланка.

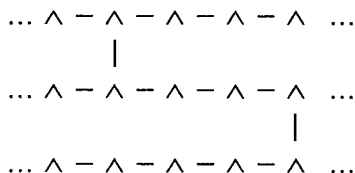
До лінійних полімерів належать целюлоза, природний каучук, поліефіри, поліаміди тощо.

Великомолекулярні сполуки, макромолекули яких мають відгалуження від основного ланцюга, належать до **розгалужених**:



Таку форму молекули мають крохмаль, поліметил метакрилат та ін.

Якщо лінійні та розгалужені полімери за певних умов хімічно з'єднати між собою за допомогою містків, які складаються з атомів або груп атомів, то утворюються молекули з тривимірною просторовою структурою:



IV. За фізичними властивостями. Усі ВМС поділяють на термопластичні та термореактивні.

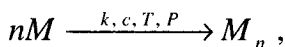
1. **Термопластичні** ВМС у процесі нагрівання розм'якшуються, стають пластичними, а під час охолодження знову тверднуть і зберігають всі свої властивості. До них належать поліаміди.

2. **Термореактивні** ВМС в процесі нагрівання стають в'язкими, а потім за тієї самої температури внаслідок реакцій змінюють внутрішню будову (утворюється тривимірна структура), тверднуть і стають неплавкими та нерозчинними. До термореактивних ВМС належать фенолформальдегіди, карбаміди тощо.

§ 43.4.3. Реакції утворення ВМС

Синтетичні ВМС отримують із мономерів різними способами. У промисловості найпоширеніші полімеризація, співполімеризація та поліконденсація.

1. **Полімеризація.** *Полімеризацією* називають процес утворення ВМС, при якому молекули одного мономера (M), які мають реакційні подвійні зв'язки, з'єднуються у великі молекули полімера без виділення побічної продукції:



де: n – кількість молекул мономера;

M – молекула мономера;

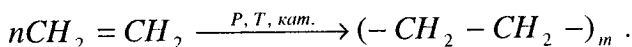
n – ступінь полімеризації;

k – каталізатор;

c – стан мономера (додаткова умова);

T і P – відповідно температура і тиск, за яких проходить процес.

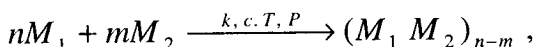
Наприклад, полімеризація етилену:



Полімеризацією отримують поліетилен, полістирол, вініпласт, фторопласти тощо. Перехід мономерів у полімери відбувається самохіть або під впливом ініціатора (каталізатора) чи багатого на енергію випромінювання (γ -промені, світлові та x -промені), струмів великої частоти тощо. На процес полімеризації значно впливає теплота.

Полімеризацію проводять трьома основними способами: у водних емульсіях, у масі та у розчинах.

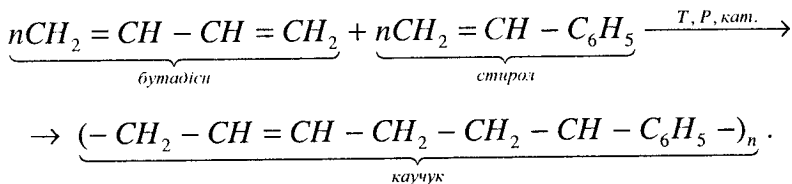
2. Співполімеризація. *Співполімеризацією називають процес утворення МВС, при якому взаємодіють молекули двох або більше різних мономерів з утворенням полімеру без виділення побічної продукції.*



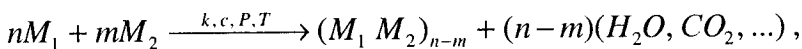
де: n і m – кількість молекул мономерів відповідно M_1 і M_2 ;

$n \cdot m$ – ступінь полімеризації.

Співполімери поєднують властивості мономерів (сировини). Співполімеризацією отримують, наприклад, бутадієнстироловий каучук:

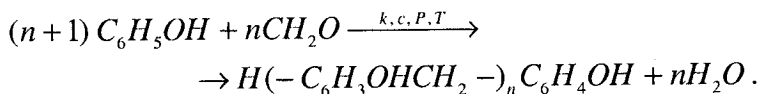


3. Поліконденсація. *Поліконденсацією називають процес утворення ВМС з однакових або різних мономерів, який супроводжується виділенням побічної продукції (води, амоніаку, хлористого водню тощо).*



де M_1 і M_2 – мономери.

Прикладом реакції поліконденсації є виробництво фенолформальдегідної смоли з фенолу (C_6H_5OH) і формальдегіду (CH_2O):



Великомолекулярні сполуки, отримані поліконденсацією, можуть мати як лінійну (поліаміди, поліефіри тощо), так і тривимірну (амінопласти, фенопласти тощо) будову.

§ 43.4.4. Сировина для виробництва ВМС

Для виробництва ВМС використовують мономери, отримані в процесі переробки рослинної сировини (деревини, зернових культур, картоплі

тощо) та палива (вугілля, нафти, газу і продуктів їх переробки), а також сірку, оксиди металів, хлор, сірчану та азотну кислоти тощо.

Найбільшу кількість ВМС виробляють з речовин, отриманих в процесі коксування вугілля (бензол, фенол, етилен, нафталін тощо) та переробки нафти (метан, етан, бутан, пропан тощо).

З рослинної сировини, до якої належать деревина і зернові культури, отримують целюлозу, крохмаль тощо.

Останнім часом все ширше використовують сировину мінерального походження і менше – рослинного. У майбутньому сировина рослинного походження, особливо харчова, буде вилучена зовсім, а збільшиться використання сировини, яку отримують у процесі переробки вугілля та нафти.



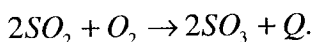
ВИРОБНИЦТВО СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

44.1. Сировина та способи виробництва сірчаної кислоти

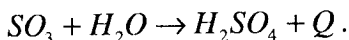
1. Сировина. Сировиною для виробництва сірчаної кислоти є діоксид сірки (SO_2), який утворюється в процесі спалювання сірки або випалювання різних мінералів, які містять сірку. Виробляють кислоту із газів, які утворилися при коксуванні вугілля, виплавленні феросплавів тощо.

Перехід від діоксиду сірки (SO_2) до сірчаної кислоти (H_2SO_4) відбувається у два заходи:

1. Окиснення діоксиду сірки (SO_2):



2. Взаємодія триоксиду сірки (SO_3) з водою (H_2O) з утворенням сірчаної кислоти (H_2SO_4):



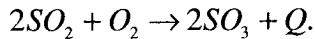
За звичайних умов швидкість окиснення діоксиду сірки дуже мала і для її прискорення використовують каталізatori.

II. Способи виробництва сірчаної кислоти. Сірчану кислоту виробляють двома способами: нітрозним і контактним.

Нітрозний спосіб відомий понад 200 років. У ході виробництва сірчаної кислоти нітрозним способом роль каталізатора виконують оксиди азоту. Отримана кислота має незначну якість (забруднена домішками) і концентрацію. Нітрозним способом виробляють близько 5% загальної кількості сірчаної кислоти. В основному цю кислоту використовують для отримання мінеральних добрив. Це екологічно

Одночасно з окисненням піриту відбувається окиснення домішок з утворенням оксидів, які переходять у газ. Газ, який виходить із печі, містить до 300 г/м^3 пилу, в якому є сполуки арсену, селену та інших елементів. Вони спричиняють «отруєння» каталізатора та погіршують якість кислоти. Тому газ очищують. Перед очищенням газ охолоджують водою в утилізаторі (елемент 3).

Охолоджений газ надходить до апаратів для очищення від пилу (елементи 4 і 5). Це можуть бути циклони, електрофільтри, башти, після прохолодження в яких газ очищується від домішок. Із газу вилучають такі цінні елементи, як селен, телур, тощо. Наступним апаратом є теплообмінник, де відбувається обмін теплотою між газом SO_3 , який виходить із контактного апарата, і газом SO_2 , який прямує туди (елемент 6). Очищений і нагрітий газ надходить до контактного апарата, де на контактах відбувається окиснення SO_2 (елемент 7):



Наступна стадія – отримання сірчаної кислоти у вбірних баштах (на рис. 109 показано лише одну – елемент 8). Башти працюють за принципом зустрічних потоків: охолоджений газ SO_3 подають до нижньої частини вбірних башт, а назустріч згори надходить сірчана кислота певної концентрації. Під час зустрічі частина газу взаємодіє з водою, яка міститься в кислоті ($SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$), а решта розчиняється з утворенням олеуму ($H_2SO_4 + SO_3$). Частину отриманого олеуму передають на склад, а частину після охолодження знову подають на зрошування до наступної вбірної башти і т. д. У вбірних баштах вловлюється близько 99,9% SO_3 , решта – в санітарній башті, щоб запобігти забрудненню довкілля. У санітарній башті газ зрошують амоніачною водою й утворюються солі амоніаку (елемент 9), які після переробки використовують як мінеральне добриво.

44.3. Технологія сірчаної кислоти із сірки

Спрощену схему технологічної системи виробництва сірчаної кислоти із сірки зображено на рис. 110.

Природну сірку, яка не містить домішок арсену та селену, очищують від мінеральних й органічних домішок (елемент 1) та подають до печі для спалювання (елемент 2). Газ, який утворився від спалю-

вання чистої сірки, без очищення після охолодження в теплообміннику (елемент 3) спрямовують до контактного апарата на окиснення (елемент 4). Окиснення SO_2 й абсорбція (хемосорбція) SO_3 здійснюються так само, як у виробництві кислоти із флотаційного колчедану.

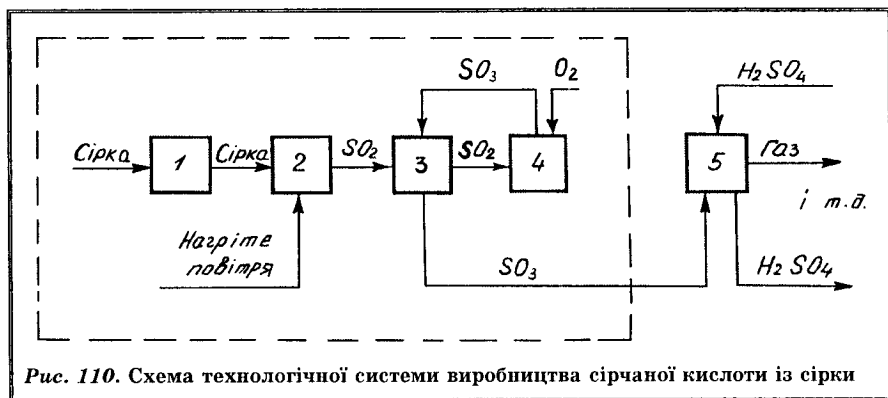


Схема технологічної системи виробництва сірчаної кислоти із сірки «коротша» порівняно із схемою, згідно з якою виробляють кислоту із флотаційного колчедану, і має такі *переваги*: простота та компактність, можливість автоматизації процесу, невеликі капіталовкладення, низька вартість перероблення сировини, великий коефіцієнт використання сірки та теплоти тощо.

44.4. Технологія сірчаної кислоти із викидних газів промислових підприємств

Викидні гази кольорової металургії та інших галузей промисловості, які використовують для отримання сірчаної кислоти, містять SO_2 і домішки, які отруюють каталізатор та погіршують якість кислоти. Отже, вони потребують очищення. Тому схема технологічної системи виробництва сірчаної кислоти буде такою самою, як і в разі використання флотаційного колчедану, але без двох елементів, складовими яких є млин для подрібнення флотаційного колчедану і піч для спалювання його.

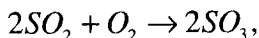
44.5. Удосконалення виробництва сірчаної кислоти

Показники роботи різних технологічних систем виробництва сірчаної кислоти істотно відрізняються. Вони залежать від виду та якості сировини, потужності апаратів, удосконалення технологічних процесів тощо.

Заміна дорогої сировини (сірки, флотаційного колчедану) на викидні гази промислових підприємств значно впливає на собівартість кислоти. Крім того, використання викидних газів є одним із важливих заходів щодо охорони довкілля.

Ефективним засобом, який забезпечує значне поліпшення техніко-економічних показників виробництва сірчаної кислоти, є збільшення потужності апаратів. У наш час типовим є контактний апарат, який виробляє 1000 тонн кислоти за добу.

Важливим засобом є підвищення тиску. Реакція окиснення SO_2 протікає із зменшенням об'єму:



тому в разі підвищення тиску рівновага зміщуватиметься в сторону утворення SO_3 . Такі установки вже працюють і дають великий економічний ефект, крім того, вони не забруднюють довкілля викидами.

Наступним заходом удосконалення процесу виробництва сірчаної кислоти є заміна повітря, яке використовують для випалення сировини, киснем або повітрям, збагаченим киснем, що підвищує інтенсивність процесу в 4–5 разів.



ВИРОБНИЦТВО ХЛОРУ, ВОДНЮ ТА ЇДКОГО НАТРІЮ

Електроліз водних розчинів хлоридів лужних металів у промисловості відомий ще з 1890 р. Великі запаси хлоридів лужних металів у природі, їх легка розчинність у воді та велика ефективність електролізу зробили його основним способом виробництва хлору, водню та їдкого натрію. Понад 99% хлору в усьому світі виробляють саме цим способом. Одночасно зростає виробництво їдкого натрію.

Сировина. Для виробництва хлору, водню та їдкого натрію використовують водні розчини хлориду натрію (NaCl).

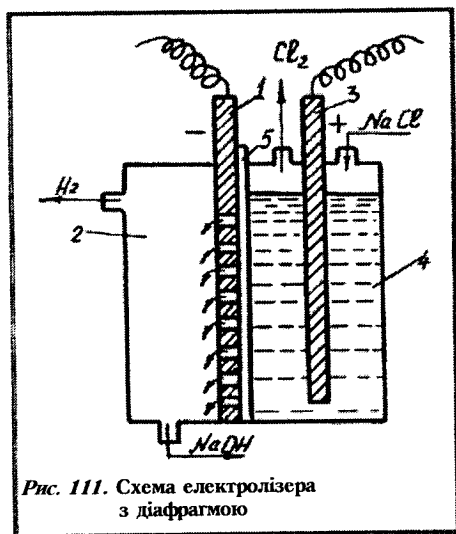
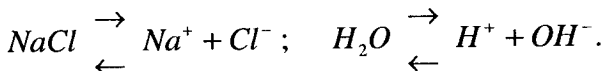
Чистий хлорид натрію – безбарвна кристалічна речовина густиною 2160 кг/м^3 , яка добре розчиняється у воді. У природі хлорид натрію міститься в соляних озерах, у вигляді підземних розсолів, а також у твердому стані.

45.1. Способи отримання хлору, водню та їдкого натрію

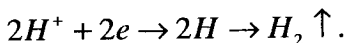
Хлор, водень та їдкий натрій отримують електролізом водних розчинів хлориду натрію. Електроліз проводять в електролізерах. Основними складовими електролізерів є ванна, електроди, діафрагма чи мембрана. Катоди виготовляють із заліза або ртуті; аноди – з графіту. Залежно від вибору електролізера є три способи виробництва хлору, водню та їдкого натрію: діафрагмовий, ртутний і мембранний.

§ 45.1.1. Діафрагмовий спосіб отримання хлору, водню та їдкого натрію

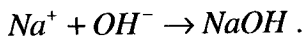
рію, хлору, водню та гідроксиду з одного боку і молекулами хлориду натрію та води з іншого існує рівновага:



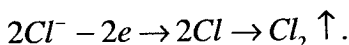
Під час проходження постійного електричного струму через водний розчин NaCl послідовність розрядження цих іонів визначається насамперед значеннями та співвідношенням їх електродних потенціалів. Відновлення іонів натрію на твердому залізовому катоді неможливе, оскільки потенціал цього процесу має від'ємне значення і дорівнює $-2,71$ В, тому на катоді 1 утвориться водень, потенціал розрядження якого за таких самих умов становить $-0,415$ В:



Іони Na^+ і OH^- , які залишились у розчині, у катодному просторі 2 утворюють їдкий натрій (NaOH):



На аноді 3 розряджаються іони хлору і виділяється хлор:



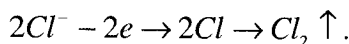
Таким чином, у процесі електролізу водних розчинів хлориду натрію отримують хлор і водень у вигляді газів та їдкий натрій у вигляді розчину.

Під час електролізу водного розчину хлориду натрію відбувається ряд побічних процесів, які спричинюють зниження якості продукції, зайві витрати енергії. Для запобігання виникненню побічних процесів і змішуванню продукції електролізу катодний і анодний простори розділяють діафрагмою 5, виготовленою з пресованого азбесту. В електролізерній ванні діафрагми розміщують горизонтально та вертикально. Діафрагму щільно припасовують до катода 1. Отриманий їдкий натрій забруднений хлоридом натрію (24%) та іншими домішками.

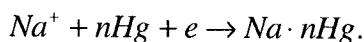
§ 45.1.2. Ртутний спосіб отримання хлору, водню та їдкого натрію

Агрегат, в якому проводять електроліз, складається з електролізера 1, у ванні якого міститься водний розчин хлориду натрію та розкладача – ванни з водою 4. В електролізері на ртутному катоді 3 розряджаються іони натрію, а не водню, оскільки потенціал розрядження іона натрію дорівнює – 1,2 В, а іона водню – 1,7... – 1,85 В.

На аноді 2 розряджаються іони хлору:



Іони натрію розряджаються на ртутному катоді 3 з утворенням амальгами $Na \cdot nHg$:



Амальгама з електролізерної ванни надходить до ванни 4, де взаємодіє з водою. Внаслідок взаємодії з водою утворюються їдкий натрій, водень і ртуть:

Для отримання дуже чистого їдкого натрію використовують ртутний спосіб (рис. 112). У ході ртутного способу виробництва хлору, водню та їдкого натрію катод виготовляють із ртуті (Hg).

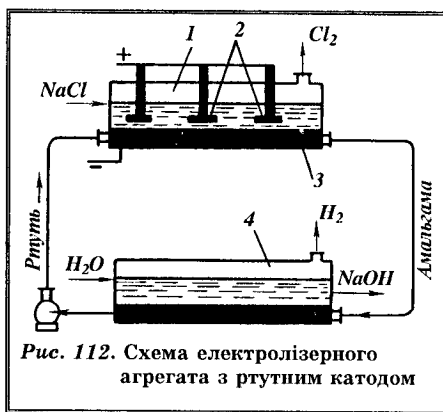
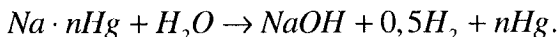


Рис. 112. Схема електролізерного агрегата з ртутним катодом



Водень і їдкий натрій випускають із ванни і подають на переробку, а потім до споживача. Ртуть повертається знову в електролізер.

Їдкий натрій, отриманий ртутним способом, якісніший і концентрованіший, ніж діафрагмовим. Саме тому, незважаючи на великі капітальні затрати, а вони на 5070% перевищують затрати на створення такої самої потужності діафрагмовим способом, ртутний спосіб у наш час застосовується частіше. Головним споживачем якіснішого їдкого натрію є виробництво штучних волокон.

Проте слід пам'ятати, що ртуть – дуже отруйна речовина. Шкідливий для організму людини і азбест. Хлор також належить до отруйних речовин.

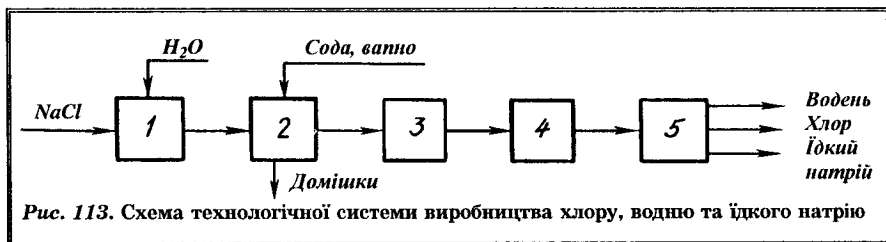
Пошуки економічного й екологічно чистого способу електролізу водного розчину хлориду натрію привели дослідників до розробки та впровадження у виробництво мембранного способу.

§ 45.1.3. Мембранний спосіб отримання хлору, водню та їдкого натру

При цьому способі виробництва хлору, водню та їдкого натрію використовують електролізер, в якому анод і катод відділені один від одного «глухою стіною» – іонообмінною мембраною. Жодна молекула газу або рідини не може проникнути крізь неї – мембрана налаштована тільки на іони. Варто лише створити навколо мембрани електричне поле, як вона зразу починає працювати: відкріє прохід іонам натрію, а іони хлору затримає. Внаслідок цього хлор виділяється на аноді, водень – на катоді, у розчині залишається їдкий натрій, який концентрують і відправляють до споживача. Отримана продукція є дуже чистою.

45.2. Технологічна система виробництва хлору, водню та їдкого натрію

Спрощену схему технологічної системи виробництва хлору, водню та їдкого натрію зображено на рис. 113.



Вона складається з п'яти елементів. Хлорид натрію розчиняють у воді у ванні (елемент 1). Отриманий розчин в очиснику очищують від іонів кальцію та магнію (елемент 2). Для цього до водного розчину $NaCl$ додають соду та вапно. Внаслідок взаємодії домішки осідають на дно, а розчин $NaCl$ через фільтр надходить до ванни для нейтралізації лугу (елемент 3). Очищений розчин переходить до теплообмінників, де нагрівається до температури $90^{\circ}C$ (елемент 4) і подається до електролізерів для проходження електролізу (елемент 5). Унаслідок реакцій, які протікають в електролізерах, їдкий натрій збирається у збирачах, звідки надходить на концентрування. Хлор збирають у збирачі, звідки подають на охолодження та висушування. Водень без очищення направляють споживачам.



ВИРОБНИЦТВО ХІМІЧНИХ ВОЛОКОН

46.1. Основні відомості про волокна

Волокном називають тонку непрядену нитку рослинного, тваринного, мінерального або штучного чи синтетичного походження, придатну для виготовлення пряжі, текстильних та трикотажних виробів тощо.

Волокно має велику довжину і малу товщину. Вони гнучкі та міцні. Волокна прядуть. Для цього їх скручують або склеюють.

Волокна класифікують за певними ознаками: за походженням, за будовою макромолекул тощо.

І. За походженням. За цією ознакою волокна поділяють на природні та хімічні.

1. Природні волокна. Це волокна *рослинного* (лляні, бавовняні, конопляні тощо), *тваринного* (вовняні, шовкові) та *мінерального* (азбестові, базальтові) походження.

Природні волокна не міцні, швидко руйнуються у хімічних середовищах. Їх собівартість дуже велика. Виробництво волокон рослинного та тваринного походження сезонне. Воно залежить від природних умов.

2. Хімічні волокна. До 80-х років XIX ст. для виготовлення тканин і трикотажу використовували лише природні волокна: бавовняні, вовняні, шовкові, лляні, конопляні. У 1831 р. у м. Безансон (Франція) почав діяти перший у світі завод хімічного волокна, на якому виробляли нітрошовк. З того часу випуск хімічних волокон постійно зростає і вже перевищив половину загального обсягу виробництва текстильних волокон.

На сьогодні відомо понад 500 видів хімічних волокон, з них промисловість виробляє 40 видів.

Хімічні волокна виробляють у вигляді моноволокон, комплексних ниток, штапельних волокон та джгуту.

Моноволокно – це одиничні нитки великої довжини, які не діляться уздовж, а придатні зразу для виготовлення текстильних або технічних виробів. Із моноволокон виготовляють рибальські сітки, сита для просіювання борошна тощо.

Комплексні нитки складаються з двох і більше моноволокон, з'єднаних скручуванням або склеюванням. Їх поділяють на текстильні та технічні. **Текстильні нитки** – тонкі. Їх використовують переважно у шовковій, трикотажній, вовняній, галантерейній і швейній промисловостях. **Технічні** – товсті. Вони мають більшу міцність. Із них виробляють технічні вироби. Технічними нитками армують автомобільні та інші шини, транспортерні стрічки, приводні паси тощо.

Штапельні волокна складаються з моноволокон різної довжини. З них виробляють килими. З волокон довжиною 23 мм виготовляють спеціальні види паперу.

Джгутові волокна складаються з великої кількості паралельно складених волокон. За походженням хімічні волокна поділяють на штучні та синтетичні.

Штучні волокна виробляють із сировини рослинного, тваринного та мінерального походження. Їх поділяють на целюлозні (віскозні, ацетатні тощо), білкові (казеїнові тощо), металеві та інші волокна. Із штучних видів волокон найбільше виробляють віскозного та ацетатного волокон.

Синтетичні волокна виробляють із полімерів, які синтезують із мономерів капролактаму, акрилонітрилу, пропілену тощо.

Велику увагу приділяють виробництву синтетичних волокон, оскільки їх властивості ліпші, а затрати праці при їх отриманні менші. Наприклад, стійкість автомобільних шин до стирання при заміні бавовняного каркаса на каркас із хімічних волокон підвищилася більше ніж у 2 рази. На сьогодні всі технічні тканини виготовляють тільки із синтетичних волокон. Особливо економічно вигідно використовувати синтетичні тканини у процесі виробництва фільтрів, пилевловлювачів тощо.

Синтетичні волокна менш гігієнічні, ніж штучні, не вбирають воду, електризуються, тому з них майже не виробляють тканин для пошиття натільної білизни.

Із синтетичних волокон найбільше виробляють капрону (поліамідне волокно), лавсану (поліефірне волокно) та нітрону (поліакрилонітрильне волокно).

II. За будовою макромолекули полімерусировини. Усі синтетичні волокна поділяють на карбо та гетероланцюгові.

До *карболанцюгових волокон* належать волокна, отримані на основі полімерів, головний ланцюг яких складається лише з атомів вуглецю, з'єднаних між собою. Найпоширенішими з них є поліакрилонітрильні та поліолефінові волокна.

До *гетероланцюгових волокон* належать волокна, головний ланцюг яких містить крім атомів вуглецю атоми кисню, азоту та інших елементів.

Найбільше виробляють поліамідних і поліефірних волокон, менше – поліуретанових.

46.2. Технологія хімічних волокон

Технологія хімічних волокон складається з окремих стадій: підготовка прядильної маси, формування, зміцнення та викінчення волокон.

Прядильну масу виготовляють у вигляді розчину або розплаву. У процесі виготовлення розчину використовують органічні (ацетон, етиловий спирт тощо) та неорганічні (луги, кислоти) розчинники. Для поліпшення властивостей прядильної маси та якості волокон до прядильної маси додають поверхневоактивні речовини, барвники тощо. Отриману рідинну масу дегазують, фільтрують і подають на формування волокна (прядіння).

Волокна формують за допомогою фільтер, через які протискують прядильну масу. На виході з фільтері потоки прядильної маси зміцнюються: коагуляцією ВМС в осаджувальній ванні (мокрый спосіб прядіння), випаровуванням органічного розчинника або охолодженням (сухий спосіб прядіння). Додатково зміцнюють волокна, накручуванням їх на ролики, бобіни тощо. У процесі формування та натягування при накручуванні лінійні макромолекули впорядковуються вздовж осі волокна, що підвищує його міцність. Потім із волокон виготовляють нитки скручуванням або ріжуть на відрізки довжиною 130–150 мм.

Кінцева стадія виробництва хімічних волокон – викінчення волокон і ниток – полягає в промиванні, висушуванні, нагріванні та підготовленні до використання.

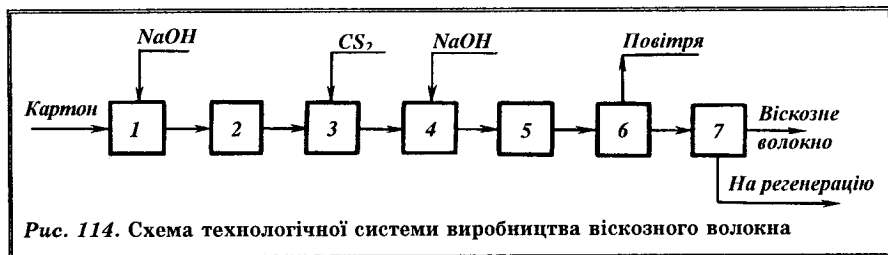
Технологію хімічних волокон постійно вдосконалюють; на окремих стадіях виробництва впроваджують безперервні процеси, створюють нові ВМС, які спрощують виробництво волокон, вдосконалюють конструкції технологічних агрегатів тощо.

§ 46.2.1. Технологія штучного (віскозного) волокна

Із відомих видів штучних волокон найбільше використовують віскозного (від лат. «*viscosus*» – клейкий, в'язкий). Відповідно його і виробляють найбільше.

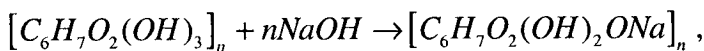
Основною сировиною для виробництва віскозного волокна є деревна целюлоза (клітковина) /від лат. «*cellula*» – комірка/, яка надходить на заводи штучного волокна у вигляді картону.

Спрощену схему технологічної системи виробництва віскозного волокна зображено на рис. 114.



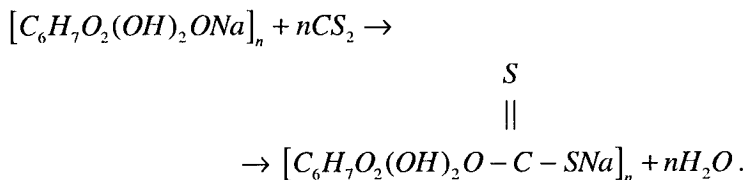
Технологія віскозного волокна є двостадійною. На першій стадії підготовляють прядильну масу, на другій – прядуть волокно.

1. Підготовки прядильної маси. Целюлозний картон, який надходить на завод штучного волокна, спочатку мерсеризують (походить від прізвища англійського винахідника Дж. Мерсера) в агрегаті-мерсеризаторі; оброблюють 20%-им розчином NaOH для очищення від домішок (елемент 1). У процесі взаємодії целюлози з їдким натрієм ($T = 60\text{--}70^\circ\text{C}$) утворюється алкаліцелюлоза (алкалі – від араб. «*аль-калі*» – луг):



а домішки переходять у розчин. Потім алкаліцелюлозу охолоджують до температури 2528°C і витримують в полімеризаторі для зменшення ступеня полімеризації $/n/$ (елемент 2).

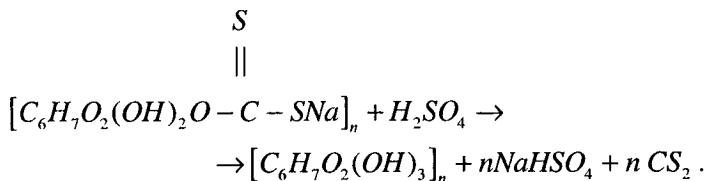
Отриману алкаліцелюлозу у ксантогенаторі оброблюють сірко-вуглецем $/\text{CS}_2/$ (елемент 3). Ця реакція називається *ксантогенуванням*, а отримана продукція – ксантогенатом целюлози:



Ксантогенат целюлози розчиняють у 34%му розчині $NaOH$ з утворенням віскози (елемент 4). Отриманий розчин фільтрують кілька разів на фільтрпресах під тиском 0,50,6 МПа (елемент 5). Потім розчин відстоюють у сталевих вакуумних баках (елемент 6) для виходу з нього повітря. Розчин готовий до прядіння.

2. Прядіння волокна. Підготовлений розчин передають у прядильний апарат на формування волокна, тобто на прядіння (елемент 7), яке проводять мокрим способом. Перед прядінням у прядильному апараті розчин фільтрують і протискують крізь отвори фільтери у ванну, в якій міститься розчин H_2SO_4 , Na_2SO_4 і $ZnSO_4$, нагрітий до 4548°C . Фільтери виготовляють із корозієстійких сплавів благородних металів (платини із золотом або іридієм) чи з танталу. Фільтери мають від 24 до 3200 отворів. Кількість отворів та їх діаметр залежать від типу волокна (текстильне чи технічне).

Цівки віскози, які протискують у ванну, коагулюються: сірчана кислота нейтралізує невикористаний луг і розкладає ксантогенат целюлози:



Регенеровану целюлозу у вигляді волокон намотують на катушки. Швидкість формування волокна становить 0,75–1,16 м/с. Розчин з

ванни подають на регенерацію сірковуглецю, їдкого натрію та сірчаної кислоти.

В процесі прядіння віскозного волокна з розчину виділяється сірководень і сірковуглець, які є шкідливими для здоров'я та вибухонебезпечними. Щоб запобігти цьому прядильні апарати ретельно ущільнюють і обладнують вентиляцією. На виході з вентиляції повітря очищують.

Сформовані волокна промивають чистою теплою водою та розчином їдкого натрію, вибілюють, висушують, перемотують, сортують і пакують.

Віскозне волокно не розчиняється в органічних розчинниках, має порівняно велику міцність та витримує нагрівання до 100-120°C. Проте воно нестійке в лугах і в разі зволоження наполовину втрачає міцність.

Із віскозного волокна виробляють шовк, штапель, корд, целофан, каракуль тощо.

§ 46.2.2. Технологія синтетичних волокон

Технологія синтетичних волокон в основному тристадійна.

На першій стадії отримують прядильний розчин або розплав, до яких після очищення додають стабілізатори, барвники тощо.

На другій стадії формують волокна. Волокна формують за допомогою фільтр. У фільтрі може бути від одного до 100000 і більше отворів. Формування – дуже важлива стадія виробництва волокна, оскільки від нього залежать фізико-механічні властивості волокна.

На третій стадії сформовані волокна викінчують. У процесі викінчення волокна промивають, висушують, змащують антистатичними речовинами, скручують тощо. На цій стадії волокна додатково витягують, нагрівають і висушують.

Технологія деяких волокон має ще й четверту стадію, на якій модифікують волокно. Унаслідок чого змінюється його хімічна будова та структура, а разом з ними і властивості. Внаслідок модифікації отримують бактерицидні, хемосорбційні, вогнестійкі, дуже еластичні та інші за властивостями волокна.

Представниками синтетичних волокон є поліамідні волокна, які отримують з лінійних полімерів, макромолекули яких містять амідні

групи ($NHCO$). Ці волокна вперше почали виробляти в 1939 р. у США. У різних країнах світу ці волокна мають різну торгову (фірмову) назву: наприклад, у Німеччині – дедерон, перлон, у США – найлон, у Польщі – полон тощо. У нас їх називають капрон і амід.

Капрон є продуктом полімеризації капролактаму ($HN(CH_2)_5CO$).

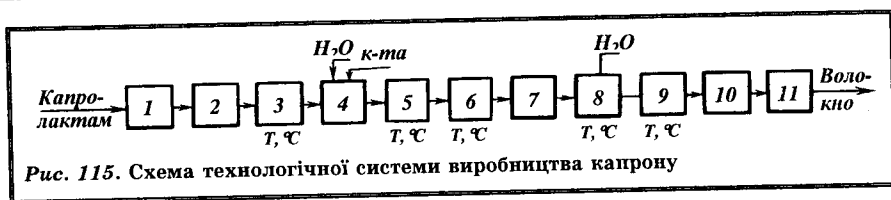
Капролактam – біла, розчинна у воді тверда речовина у вигляді порошку з температурою плавлення $60^{\circ}C$. У промисловості його виробляють з фенолу, бензолу, ацетилену, дивінілу та інших речовин. Найкраще освоєно виробництво капролактаму з фенолу та бензолу. Отриманий капролактam очищують від домішок, пакують у паперові або поліетиленові мішки, поверх яких натягують мішки з прогумованої тканини. Перевозять капролактam на заводи синтетичного волокна і у вигляді розплаву у спеціальних цистернах з підігрівом. Цей спосіб пакування та перевезення капролактаму економічно вигідний, оскільки на заводі синтетичного волокна сировину вже не плавлять.

Полімеризація капролактаму з утворенням капрону відбувається за високих температур. Активатором полімеризації у виробничих умовах найчастіше є вода, якої додають 4% маси взятого мономеру. Регулятором, який обмежує ступінь полімеризації, використовують оцтову кислоту. Чим кислоти більше, тим ступінь полімеризації менший.

Капрон – біла з жовтуватим відтінком тверда роговидна речовина без запаху та смаку. Густина капрону становить $1130\text{--}1150\text{ кг/м}^3$. Капрон термопластичний. За температури $300^{\circ}C$ він починає розкладатись, а за температури понад $350^{\circ}C$ самозаймається. Капрон має добрі теплоізоляційні властивості, велику міцність і стійкість до стирання. Він стійкий проти дії води та лугів, мила та мийних речовин, а також розчинників – спиртів, бензину, ацетону тощо. Проте капрон нестійкий у кислотах: добре розчиняється в соляній і сірчаній кислотах, а в разі нагрівання – в азотній, фосфорній, мурашиній та оцтовій.

За високих температур капрон дуже чутливий до окиснення киснем повітря. Внаслідок цього погіршується прядіння. Тому на всіх стадіях, де капрон нагрівають до температури понад $70^{\circ}C$, його захищають азотом, тобто всі процеси проводять у середовищі азоту.

Виробництво капронового волокна. На нових заводах синтетичного волокна капрон виробляють на устаткуванні безперервної дії. Якщо капролактam надходить на завод у твердому стані, то технологічна система виробництва капронового волокна складається з 11-ти елементів (рис. 115).



Спочатку капролактама подрібнюють на дробарках (елемент 1), розрихлюють у бункері (елемент 2) і розплавляють у печах за температури $85\text{--}95^{\circ}\text{C}$ (елемент 3). Після розплавлення капролактама через фільтр подають в апарат-змішувач, у якому до розплаву додають активатор /воду/ і регулятор /оцтову кислоту/ (елемент 4). Після перемішування суміш надходить у полімеризатор (елемент 5) безперервної дії. Усі апарати та труби обігрівають гарячою водою, а сировина захищена від дії атмосфери азотом.

Полімеризацію капролактаму проводять за температури $256(\pm 3)^{\circ}\text{C}$. Після закінчення полімеризації отриманий капрон витискають із полімеризатора азотом, який подають під тиском $0,3\text{--}0,5$ МПа. Капрон витискають у воду у вигляді стрічок або жилок (елемент 6), де він твердне. Температура води дорівнює $12\text{--}16^{\circ}\text{C}$. Швидкість витискання становить до 1 м/сек. Максимальна кількість витиснених жилок 20 шт., а стрічок – 6 . При виході з ванни пучок жилок або стрічок ріжуть на відрізки довжиною 78 мм /стрічки/ і 23 мм /жилки/ на верстаті (елемент 7). Отримані відрізки ретельно промивають в агрегаті (елемент 8) чистою дистильованою водою, яку подають на зустріч руху кусочків. Цю операцію проводять 34 рази. Температура води становить 100°C . Після промивання капрон висушують за температури $115\text{--}125^{\circ}\text{C}$ в обертових вакуумних сушарнях періодичної дії (елемент 9) протягом 2436 год. Час висушування залежить від температури, вакууму, розміру відрізків, будови сушарні, початкової та кінцевої вологості капрону. Після висушування капрон під тиском азоту надходить до бункера-сховища прядильного цеху (елемент 10).

У прядильному цеху нитка капрону формується протискуванням розплаву крізь фільтри (елемент 11). У процесі прядіння нитка зміцнюється, оскільки молекули полімеру прагнуть розташуватися паралельно осі волокна. Внаслідок скручення поліпшується структура волокна.

Капронове волокно вдвічі міцніше, ніж природне шовкове і в шість разів міцніше, ніж вовняне. Воно стійке проти дії мікроорганізмів, легко електризується і погано поглинає воду (3%). Тому з нього не доцільно виготовляти постільну і натільну білизну.

Частина X

Виробництво паперу



ВИРОБНИЦТВО ПАПЕРУ

47.1. Папір, його класифікація та властивості

У деяких європейських країнах, таких як Україна, Англія, Німеччина, Франція тощо, листовий матеріал, на якому пишуть, друкують і виконують інші види робіт, називають *папером*. Цю назву листовий матеріал дістав від свого попередника папіруса, на якому писали ще в древньому Єгипті.

Батьківщиною паперу є Китай. У Китаї папір виробляли ще задовго до н. е. В Європі першими почали виробляти папір угорці (1300 р.). В Україні першу папірню (фабрику для виробництва паперу) побудовано в 1541 р. на Львівщині у місті Буськ. На сьогодні в Україні папір виробляють у Жидачеві (Львівщина), Малині (Житомирщина), Понінково (Хмельниччина) тощо.

Папером називають волокнистий листовий, переважно рослинного походження матеріал, маса 1 м^2 якого становить 4–250 г.

Картон на відміну від паперу має більші товщину та масу.

Відомо понад 600 видів паперу.

За призначенням папір поділяють на групи, які складаються з окремих підгруп (приклади назв деяких підгруп подано у дужках). Папір для друку (друкарський), писання (зошитовий, поштовий), креслярсько-рисувальний (калька), електроізоляційний (кабельний, конденсаторний), санітарно-побутовий (туалетний, гігієнічний), фільтрувальний (лабораторні фільтри, фільтри для нафтопродуктів), промислово-технічний (патронний, лугостійкий, наждачний), світлочутливий (основа для фотопаперу), перебивний (копіювальний), пакувальний (мішковий) тощо.

Властивості паперу. Папір має різні властивості. Він може бути товстим або тонким, гладким або шорстким, міцним, білим або з відтінком, прозорим, стійким проти дії лугів і кислот тощо.

Папір, як волокнистий матеріал з капілярною структурою, легко поглинає вологу з довкілля. Тому, чим вища вологість повітря, тим вища вологість паперу.

Властивості паперу залежать від властивостей сировини.

47.2. Сировина для виготовлення паперу

Для виготовлення паперу та картону використовують целюлозу, отриману з різних порід дерев і рослин, макулатуру, ганчір'я тощо. Нещодавно почали використовувати штучні, синтетичні, мінеральні та інші волокна. Крім волокнистих речовин використовують наповнювачі, воду, клеї, барвники тощо.

1. Волокнисті речовини (целюлоза). Основною сировиною для виробництва паперу є і буде рослина, оскільки вона недорога, швидко відновлюється і не порушує рівновагу в природі.

На сьогодні основною волокнистою сировиною є целюлоза сульфатна та сульфітна, макулатура, ганчір'я, волокна (синтетичні, штучні, мінеральні, вовняні) тощо.

Целюлозу варять із подрібненої рослинної сировини в казанах періодичної та безперервної дії.

Сульфатну целюлозу варять із подрібненої рослинної сировини у розчині, основними компонентами якого є їдкий натрій (NaOH) і сульфід натрію (Na_2S), за температури $160\text{--}180^\circ\text{C}$ і тиску $0,7\text{--}1,2$ МПа. Отримана продукція має темний колір. З неї виробляють технічні види паперу та картону.

Сульфітну целюлозу варять із знесмоленої хвойної деревини в розчині, основними компонентами якого є водний розчин SO_2 і бісульфіти кальцію, магнію тощо, за температури $130\text{--}145^\circ\text{C}$ і тиску $0,6\text{--}1,2$ МПа. У процесі виробництва сульфітної целюлози більший вихід целюлози, а з відходів отримують етиловий спирт, кормові дріжджі та інші речовини.

Макулатура (від лат. «*macula*» – пляма) – це папір або картон, зіпсований у процесі виробництва, обрізки паперу, старі газети, часописи, книжки тощо. Це вторинна сировина. Вона є заміником свіжої целюлози. Використання макулатури у процесі виробництва паперу

має велике значення. Затрати на папір, вироблений з макулатури, у 23 рази менші, ніж з целюлози. Менше забруднюється також докільля, ніж під час виробництва паперу з рослинної сировини. Одна тонна макулатури економить 3,04,5 м³ деревини або близько 15 великих дерев.

Ганчір'я також належить до вторинної сировини. Найкращий папір виробляють із лляного та конопляного ганчір'я.

Синтетичні та інші **волокна** використовують для виробництва спеціальних видів технічного паперу. Для отримання цих видів паперу використовують штучні, синтетичні, мінеральні (азбестові, базальтові) та інші волокна.

Волокнисті речовини можуть бути сухими або сирими. Із сирих речовин виробляють якісніший і дешевший папір, ніж із сухих. Проте використовувати сирі речовини можна лише тоді, коли паперова фабрика розташована в межах паперовоцелюлозного комбінату.

2. Наповнювачі. У процесі виробництва більшості видів паперу до волокнистих речовин додають значну кількість мінеральних речовин, які називають *наповнювачами*.

Наповнювачі поліпшують властивість паперу – надають йому гладкості, м'якості, непрозорості, роблять його білим тощо. Більшість наповнювачів дешевші, ніж волокнисті речовини. Додавання наповнювачів до волокнистих речовин робить папір дешевшим. Проте, **слід пам'ятати**, що, поліпшуючи одні властивості паперу, наповнювачі погіршують інші, наприклад, зменшують міцність. Для кожного виду паперу додається оптимальна кількість певного наповнювача. Найчастіше наповнювачами використовують каолін, тальк, крейду, сульфати барію та кальцію, діоксид титану, алюмосилікати тощо.

Каолін (глина білого кольору) – один з найважливіших наповнювачів паперу та картону.

Тальк (кисла сіль метакремнієвої кислоти ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)) надає паперу м'якості, безшумності, підвищує адсорбцію друкарських фарб тощо. Основним недоліком тальку є те, що папір більше пилиться.

Крейда (майже чистий карбонат кальцію (CaCO_3)) порівняно з каоліном і тальком біліша. Крейда надає паперу білизни, непрозорості, м'якості. Її використовують у процесі виробництва цигаркового паперу.

Синтетичний сірчаноокислий барій ($BaSO_4$) поліпшує білизну паперу, зменшує його прозорість і надає блиску.

Діоксид титану (TiO_2) – дуже дорогий наповнювач, його вартість у 35–40 разів перевищує вартість каоліну. Його використовують під час виробництва дуже якісного непрозорого паперу.

Алюмосилікати отримують на основі рідинного скла та розчинних кальцієвих солей і солей алюмінію. Вони роблять папір білішим, непрозорим та поліпшують друк. Тому їх часто використовують замість дорогих титанових та інших наповнювачів.

Наповнювачі додають до паперової маси у вигляді суспензій (лат. «*suspensio*» від «*suspendo*» – підвішую). Це суміш найдрібніших твердих частинок і рідини, у якій вони містяться в завислому стані.

3. Вода. Без води немає паперу. Для виробництва паперу використовують знесолену, без запаху та кольору воду. Особливі вимоги ставлять до води, яку використовують у процесі виробництва конденсаторного та інших видів технічного паперу.

На виробництво 1 тонни целюлозного паперу витрачають 150 м^3 води, а на 1 тонну конденсаторного – понад 1000 м^3 . У процесі виробництва 1 тонни паперу використовують більше води, ніж у процесі виробництва однієї тонни металу.

4. Клеї. Для проклеювання використовують каніфоль, парафіни, воски, тваринні клеї, крохмаль, казеїн, летикси, паліакриламід тощо. Найчастіше використовують каніфоль. Паперова промисловість використовує 20% виробленої каніфолі. Назва каніфолі походить від грецького міста Колофонія в Малій Азії, де її вперше отримали. У даний час каніфоль виробляють із живиці хвойних дерев, найчастіше із сосни, відігнавши скипидар.

5. Барвники. Для надання паперу білизни або кольору до паперової маси додають невелику кількість синіх, фіолетових та інших барвників.

47.3. Підготовка паперової маси

Паперова маса, з якої виробляють папір і картон, складається з розмелених волокнистих речовин, води, наповнювачів, барвників і проклеюючих речовин. Підготування паперової маси – дуже відповідальний технологічний процес, який значно впливає на якість отриманої продукції: паперу чи картону. Він складається з подрібнення, проклеювання, наповнення, фарбування тощо

1. Подрібнення волокнистих речовин. Подрібнення – один із найважливіших технологічних процесів у виробництві паперу. Від нього залежить якість паперу. Цей процес найбільш енергомісткий. На подрібнення волокнистих речовин витрачається 6070% загальної кількості енергії в процесі виготовлення паперу. У ході подрібнення волокна вкорочуються, розщеплюються, розтираються та стискаються. Внаслідок подрібнення змінюються довжина та товщина волокон. Після подрібнення волокна стають еластичними, гнучкими та масними на дотик.

Волокнисті речовини подрібнюють на спеціальних машинах, винайдених ще у XVII–XIX ст., які постійно вдосконалюють. До таких машин належать рол (1670 р.), конічний млин (1858 р.), дисковий млин (1856 р.).

Рол (нім. «*Rolle*» від лат. «*rotula*» – коліщатко) використовують у процесі виготовлення тонких видів паперу, які потребують тривалого подрібнення волокон, а також під час подрібнення ганчір'я.

Конічні млини довгий час використовували для допоміжного подрібнення після розмелювання на ролах і лише в 30-х роках XX ст. після вдосконалення їх використовують як основні машини для подрібнення волокнистих речовин.

Дискові млини після реконструкції в 50-х роках XX ст. встановлено на всіх нових папероробних підприємствах. Порівняно з конічними млинами вони споживають на 20–25% менше енергії, мають велику продуктивність (до 650 т на добу), просту конструкцію.

На рис. 116 показано схему однодискового млина. Складовими частинами цього млина є два диски, з яких один обертається, а другий залишається нерухомим. Це універсальні млини. При розмеленні волокон можна встановлювати різні температуру та тиск.

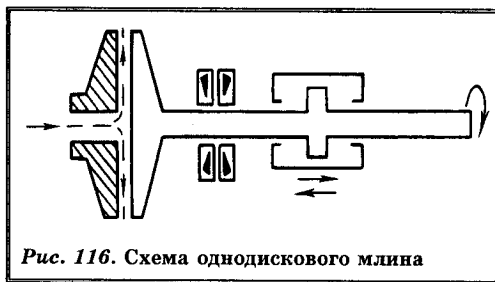


Рис. 116. Схема однодискового млина

Час подрібнення волокнистих речовин різний: у ролах – 0,524 год., а в млинах безперервної дії – секунди.

2. Проклеювання паперової маси. Рослинні волокна, з яких виробляють папір, мають здатність вбирати вологу. Щоб запобігти вбиранню води і деяких колоїдних розчинів, наприклад, чорнила, та розтіканню їх по поверхні паперу, папір проклеюють.

Проклеювання можна проводити двома способами. За першим способом спеціальні речовини (клеї) вводять у паперову масу перед виготовленням паперу. Ці речовини розподіляються рівномірно по всій товщині паперу. За другим способом клейкі речовини наносять на поверхню готового паперу. Клеї розподіляються в основному на поверхні паперу, а середина залишається непроклеєною. Другий спосіб економічно вигідніший, оскільки клею витрачається менше. Проте він потребує додаткового обладнання. У промисловості використовують обидва способи проклеювання.

3. Наповнення паперової маси. Багато видів паперу виробляють із використанням інертних наповнювачів. Наповнювачі погіршують проклеювання паперу; щоб запобігти цьому, їх додають до паперової маси після клею.

4. Фарбування паперу. Для надання паперу певного забарвлення його фарбують. Фарбування проводять двома способами. За першим способом барвники наносять на поверхню готового паперу, а за другим – додають до паперової маси (90% усього виробленого паперу фарбують саме цим способом, оскільки він простіший, не потребує додаткового обладнання).

47.4. Виготовлення паперу на плососіткових машинах

Папір виробляють на папероробних машинах. На сьогодні є кілька видів таких машин: плососіткові, круглосіткові (циліндрові, двосіткові, комбіновані тощо). Між собою вони різняться способом формування паперу. Найпоширенішими є плососіткові машини. На них виробляють майже всі види паперу і деякі види картону.

Будова та принцип роботи плососіткової машини. Плоскосіткові машини складаються із сіткової, пресової, сушильної та оздоблювальної частини.

На машині відбуваються безперервно та послідовно такі технологічні процеси: відливання паперової маси, формування паперу, його зневоднювання, пересування, висушування, охолодження, оздоблення та складання готової продукції.

Сіткова частина машини складається з довгої сітки та плоского стола. Плоскосіткові машини можуть мати 2–4 сіткових столи, які

розміщені один над одним. Ці машини призначені для виробництва багатошарового міцного паперу.

Сітка є основною складовою частиною папероробної машини. На сітці формується паперове полотно із суспензії та відбувається зневоднювання його до 17–22%. Від добротності сітки залежать якість паперу та ефективність роботи машини. Тому сітка має бути міцною, достатньо густою та рівномірно пропускати воду. Номер сітки залежить від кількості ниток основи, які припадають на 1 см ширини сітки. Чим тоншим має бути папір, тим краще повинна бути подрібнена паперова маса і густішою має бути сітка.

Сітки виготовляють на ткацьких верстатах спеціальної конструкції з металевого дроту, де основою є дріт, виготовлений із бронзи, а поробком — дріт із латуні. Виготовляють сітки із синтетичних волокон. Сітки, виготовлені із синтетичних волокон довговічніші, у 6–8 разів легші, а виготовлений папір якісніший. Проте їх використання потребує більших затрат енергії, ретельнішої підготовки паперової маси тощо.

Ретельно підготовлену паперову масу у вигляді суспензії, подають до машиної ванни, а звідти після додаткового очищення певними порціями — на стіл машини.

Формують папір на сітковому столі, який є найважливішою складовою частиною машини. Сіткова частина машини має нескінченно рухому сітку, на яку безперервним рівномірним за шириною сітки потоком подають паперову масу. На сітковому столі відбуваються одночасно два важливих технологічних процеси — формування паперу з водної суспензії паперової маси та її зневоднювання. Якість паперу залежить як від умов подання суспензії на сітку, так і від умов зневоднювання суспензії на ній. Для рівномірного розподілу суспензії на всю ширину сітки використовують різного типу розподілювачі.

Швидкість подавання паперової маси на сітку впливає на витрату маси та якість паперу. Якість паперу залежить від рівномірного розподілу маси та розподілу волокон у поздовжньому та поперечному напрямках. Якщо швидкість потоку паперової маси ($V_{п.м.}$) менша від швидкості руху сітки ($V_{р.с.}$), то волокна орієнтуються переважно в поздовжньому напрямі. Міцність паперу в цьому напрямі буде більшою, ніж у поперечному. На практиці швидкості майже однакові. У процесі виробництва товстого паперу та картону швидкість руху сітки менша.

Зневоднювання паперової маси на сітці проводять фільтруванням. Швидкість зневоднювання впливає на якість паперу. Чим більша швидкість зневоднювання, тим гірша якість паперу.

Для поліпшення структури паперу в процесі зневоднювання на машині встановлено вирівнювач — легкий порожнистий валик, обтягнений сіткою, густішою, ніж основна сітка.

Якщо на сітку вирівнювача нанести випуклий рисунок, то в разі тиску валика на ще несформоване паперове полотно випуклий рисунок розсуне волокна і відіб'ється на папері. Отримані рисунки називають *водяними знаками*. Їх добре видно на просвіт.

Пресують зневоднений папір у пресувальній частині машини, яка складається з двох-трьох пресів. Сирий папір, який має 18–22% вологи, спрямовують у пресову частину машини, де відбувається його подальше зневоднювання та ущільнення. У процесі пресування зменшується пористість паперу та поліпшується його фізико-механічні властивості.

Висушують папір у сушильній частині машини, де відбуваються остаточне зневоднювання паперу та доведення встановленої стандартами вологості для кожного виду паперу. У процесі висушування крім кінцевого зневоднювання закінчується проклеювання паперу за рахунок речовин, які додавали до паперової маси, і папір набуває вологостійкості. Тому температура висушування істотно впливає на властивості паперу.

Висушування проводять контактним і конвекційним способами. У процесі *контактного висушування* теплота від нагрітої поверхні сушильних циліндрів безпосередньо передається вологому паперу. Температура сушильних циліндрів, у середину яких подають гарячу пару, залежить від виду паперу та не перевищує 180°C. Наприклад, для висушування конденсаторного паперу вона становить 60–70°C.

У разі *конвекційного способу* (лат. «*convectio*» — принесення, від «*conveho*» — приношу) висушування папір висушують нагрітим повітрям.

Процеси зневоднювання, пресування та висушування доповнюють один одного. Зневоднювати папір висушуванням дорожче в 10–12 разів, ніж пресуванням, і в 60–70 разів дорожче, ніж зневоднюванням на сітці.

У кінці паперобробної машини розташовані спеціальні пристрої, на яких оздоблюють папір для поліпшення його властивостей.

Оздоблення паперу складається з ряду операцій, основними з яких є: проклеювання, крепування, крейдування, каландрування тощо.

Проклеюють папір для збільшення міцності, надання гладкості, водонепроникності тощо. Поверхнєве проклеювання найчастіше проводять за допомогою пресів. У процесі проклеювання використовують різні види крохмалю, казеїн, полівініловий спирт, латекси тощо. До цих речовин додають добавки для надання паперу спеціальних властивостей. Преси складаються з двох валків, які можуть бути розташовані вертикально, горизонтально або під кутом один до одного. Швидкість руху валків досягає $13,3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. На поверхню паперу наносять $1 \cdot 10 \text{ г/м}^2$ клею. Після проклеювання папір просушують.

Крепують папір для надання йому шорсткості, м'якості та об'ємності, що дуже важливо для санітарно-гігієнічного, пакувального та деяких інших видів паперу.

Крепування (креп — франц. «crepe» від лат. «crispus» — шорсткий, хвилястий) — це надання поверхні паперу дрібних поперечних складок.

Цю операцію проводять на папероробних або спеціальних машинах.

Крейдування — це нанесення на поверхню паперу тонкого покриття. Крейдування паперу проводять для надання йому білизни, гладкості та інших властивостей. Цей процес відбувається на папероробних або спеціальних машинах. До складу покриття входять каолін, діоксид титану та зв'язувальна речовина (крохмаль, полівініловий спирт тощо). Після нанесення покриття папір висушують.

Каландрування проводять для вирівнювання товщини паперу за всією шириною, а також підвищення його гладкості та щільності. Каландри складаються з великої кількості ретельно відполірованих валів, виготовлених із чавуну. Вали розміщені у вертикальній площині один над одним.

Кінцевою операцією технологічного процесу виробництва паперу є його **змотування в рулони або розрізування на листи** певного розміру. Після цього папір пакують і маркують.

Виробництво паперу практично безвідходне, оскільки нестандартну продукцію (як мокру, так і суху) переробляють на папір. Воду, яку вилучають із паперової маси, використовують знову для її приготування і лише ту, яка не містить волокон і очищена від шкідливих речовин, випускають в очисні споруди.

Частина XI

**Виробництво
напівпровідникових
інтегральних
мікросхем**



ВИРОБНИЦТВО НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОСХЕМ

48.1. Основні поняття та визначення

Електронікою називають науку про електронні процеси у вакуумі, газах, рідинах і напівпровідниках, які відбуваються за різних температур під дією електричних і магнітних полів.

Технічна електроніка розробляє, виробляє та експлуатує електронні прилади та пристрої найрізноманітнішого призначення. Вона відзначається великою швидкодією та точністю.

Мікроелектронікою називають частину технічної електроніки, яка розробляє, виготовляє мікросхеми та конструкційно допоміжні пристрої.

Основною продукцією мікроелектроніки є інтегральні мікросхеми.

Інтегральною мікросхемою (ІМС) називають електричну схему, яка складається з певної кількості елементів, виготовлених і електрично пов'язаних між собою у приповерхневому шарі напівпровідникового монокристалу або на діелектричній підкладці.

Монокристали вирощують із кремнію та арсеніду галію, а підкладки виготовляють із скла або кераміки.

Елементи ІМС поділяють на активні та пасивні.

Активні елементи ІМС підсилюють сигнали або перетворюють їх. Це – діоди, транзистори тощо.

Пасивні елементи передають сигнали. До них належать резистори, конденсатори, котушки індуктивності тощо.

Інтегральна мікросхема є найбільшим і найважливішим науково-технічним досягненням сучасності. Порівняти його можна хіба що з винайденням книгодрукування в XVI ст., створенням парової машини у XVIII ст. і розвитком електротехніки у XIX ст., до якого причетний Іван Пулюй.

Інтегральні мікросхеми використовують у комп'ютерах, контрольно-вимірювальних приладах, побутових радіоелектронних приладах, апаратурі зв'язку, медичній апаратурі тощо.

48.2. Дещо з історії розвитку електроніки та мікроелектроніки

Електроніка зародилася на початку ХХ ст. У 1904 р. англієць Дж. Флемінг винайшов ламповий діод, а в 1906 р. американець Л. де Форест винайшов тріод. Ці та інші винаходи привели в 30-х роках до створення радіо та телебачення. Таким чином, уперше виявився великий вплив технології на суспільство. Слідом за створенням радіо та телебачення було створено перші ЕОМ (електронно-обчислювальні машини). Електронну апаратуру складали з окремих готових елементів – електронних ламп, резисторів, конденсаторів тощо, які з'єднували між собою за допомогою електричних провідників паянням і зварюванням. Виробництво електронної апаратури було трудомістким, а самі прилади громіздкими, ненадійними, крім того, споживали багато енергії. Так, маса ЕОМ в 1940 р. виготовлення становила 30 т. Вона споживала таку кількість електричної енергії, як одночасно включені 180 прожекторів, а виконувала розрахунки, які виконує сучасний кишеньковий калькулятор. Починаючи з 40-х років ХХ ст. усі зусилля творців електронної апаратури були спрямовані на мініатюризацію електричних схем та зменшення розмірів і маси апаратури.

16-го грудня 1947 р. американські винахідники Джон Бардін і Уолтер Браттейн створили транзистор, який спричинив переворот у електроніці. За словами першого аспіранта Дж. Барднна проф. Миколи Голоняка: «Дж. Барднна по праву можна вважати батьком сучасної електроніки».

Електронне обладнання стало меншим за розмірами, легшим, надійнішим і дешевшим, ніж аналогічне за призначенням на електронних лампах. Проте з часом саме електронне обладнання та спосіб його виготовлення перестали задовольняти темпи розвитку науки і техніки.

Наступний крок електроніки пов'язаний із розвитком мікроелектроніки, який ґрунтується на використанні інтегральних мікросхем.

У 1959 р. Дж. Кілбі і Р. Нойс незалежно один від одного заявили світові про винаходи, які полягали у тому, що на одному кристалі

кремнію побудована ціла електронна схема. Такі схеми стали називати *інтегральними*.

Перші мікросхеми були виготовлені на кристалах площею декілька квадратних міліметрів. Настав період удосконалення технології виготовлення ІМС: зменшення площі, яку займає мікросхема; поліпшення її якості та надійності; зменшення собівартості.

Із винаходом інтегральних мікросхем з'явилися електронні годинники, які зробили переворот у структурі годинникової промисловості. Ручні годинники з продукції точного машинобудування перейшли до продукції електронної промисловості. Механічні арифмометри та логарифмічні лінійки замінили на кишенькові калькулятори.

Зростає значення мікроелектроніки в промисловості: у процесі зварювання, виконання монотонних робіт. Мікроелектроніка відіграє важливу роль також під час складання виробів, у системах контролю обліку та розподілу продукції тощо.

48.3. Класифікація інтегральних мікросхем

Інтегральні мікросхеми поділяють на окремі класи за такими ознаками: технологією виготовлення, ступенем інтеграції, функціональним призначенням тощо.

1. За технологією виготовлення. Усі інтегральні мікросхеми поділяють на напівпровідникові, плівкові та гібридні.

1. Напівпровідникові ІМС виготовляють у приповерхневому шарі монокристалів (кремнію, арсеніду галію) особливої чистоти. В окремих місцях монокристалу його структуру перебудовують так, що ці місця стають елементами складної системи, якою є ІМС. У напівпровідникових ІМС усі елементи та з'єднання виготовлені в об'ємі та на поверхні напівпровідникового монокристалу. Частина монокристалу розміром 1 мм^2 перетворюється в складний електронний прилад, який замінює блок з 50–100 і більше звичайних радіотехнічних деталей.

2. Плівкові ІМС виготовляють нанесенням різних речовин у вигляді плівок на поверхню підкладки, виготовленої із скла або кераміки.

Плівкові ІМС поділяють на тонкоплівкові (товщина плівкових елементів $< 1 \text{ мкм}$) та товстоплівкові (товщина $> 1 \text{ мкм}$). *Тонкоплівкові ІМС* отримують осадженням плівок із різних речовин на нагріту до

певної температури поліровану підкладку. Для отримання плівок найчастіше використовують алюміній, титан, титанат барію, оксид олова тощо.

У товстоплівкових ІМС елементи формують протискуванням спеціальних паст через трафарети із подальшим спіканням за високих температур. У таких структурах один із шарів містить резистори, другий – конденсатори, інші шари виконують роль провідників струму та інших елементів. Усі елементи з'єднані між собою й утворюють конкретний електронний пристрій.

3. **Гібридні ІМС** складаються із плівкових і напівпровідникових елементів. Такі мікросхеми монтують на скляній або керамічній підкладці: пасивні елементи виготовляють у вигляді металевих і діелектричних плівок, активні «навішують» на плівкову схему. Таким чином отримують *гібридні* ІМС (ГІМС). Гібридні ІМС більшої складності називають великими. Їх використовують в регуляторах електричних двигунів.

На сьогодні найширше використовують напівпровідникові та гібридні ІМС.

Складність інтегральної мікросхеми характеризується показником, який називають ступенем інтеграції.

II. **За ступенем інтеграції інтегральні** мікросхеми (ІМС) поділяють на малі (МІМС), середні (СІМС), великі (ВІМС) і надвеликі (НВІМС) (табл. 4):

Таблиця 4

Кількість елементів у мікросхемі	Назва та позначення мікросхем	Час створення мікросхеми
10–100	малі (МІМС)	початок 60-х років
10^2 – 10^3	середні (СІМС)	кінець 60-х–70-ті роки
10^3 – 10^4	великі (ВІМС)	кінець 70-х років
10^4 – 10^5	надвеликі (НВІМС)	початок 80-х років
10^5 – 10^6	надвеликі (мікропроцесори)	90-ті роки

III. **За функціональним призначенням.** Усі мікросхеми поділяють на аналогові та цифрові.

Аналогові мікросхеми служать для перетворення і обробки сигналів, які змінюються за законом неперервної функції. Цифрові інтегральні мікросхеми призначені для перетворення і обробки сигналів, які змінюються за законом дискретної функції.

48.4. Технологія напівпровідникових інтегральних мікросхем

Напівпровідникову інтегральну мікросхему виготовляють у приповерхневому шарі напівпровідникового монокристалу, створюючи в ньому зони, які виконують роль елементів (резисторів, провідників, транзисторів, діодів, конденсаторів тощо).

Виробництво продукції мікроелектроніки має свої виробничі та технологічні процеси.

Виробничий процес охоплює такі функції підприємства: планування, науково-технічні та конструкторські розробки, проектування, матеріально-технічне та контрольно-випробувальне забезпечення, технологію виготовлення виробів, пакування, зберігання та внутрішнє транспортування виробів.

Технологічний процес є складовою частиною виробничого, але складається лише з технологічних операцій, які полягають у виготовленні, контролі та випробуванні виробів.

Технологічні процеси виготовлення напівпровідникових ІМС поділяють на заготівельні, оброблювальні та складальні.

До **заготівельних процесів** належать вирощування монокристалів, виготовлення з них пластин (розрізування монокристалів на пластини, шліфування, полірування, контроль і пакування пластин), виготовлення фотошаблонів /трафаретів/ (нім. «Schablone» – взірець), корпусів для мікросхем тощо.

Оброблювальні процеси пов'язані з формуванням ІМС у приповерхневому шарі монокристалеві напівпровідникової пластини.

Складальні процеси містять операції, пов'язані з монтуванням кристалів, на яких сформована ІМС, у корпусах, приварюванням виводів, перевірці параметрів, герметизацією корпусів.

Для виробництва сучасних НВІМС необхідно виконати до 400 операцій. Кожну пластину оброблюють протягом 34 тижнів. Дефекти, допущені у процесі виконання окремих операцій, не можна виправити. Саме тому в процесі виготовлення 458 напівпровідникових ІМС необхідно точно витримувати параметри кожної технологічної операції.

Для прикладу розглянемо технологію виготовлення напівпровідникових ІМС у приповерхневому шарі кремнієвої пластини.

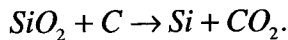
§ 48.4.1. Отримання та очищення кремнію

Напівпровідникові ІМС виготовляють у приповерхневому шарі тонкої пластини вирізаної з монокристала кремнію. Вибір кремнію зумовлений його властивостями.

Кремній, порівняно з іншими напівпровідниками, наприклад, германієм, має ширшу заборонену зону, витримує нагрівання до вищої температури (до 125°C), має стабільніший оксид (SiO_2).

Для виробництва ІМС використовують монокристали кремнію у вигляді круглих пластин діаметром 100 120 мм і товщиною 200 400 мкм. У майбутньому використовуватимуть пластини діаметром 150 200 мм.

1. Отримання кремнію. У природі вільного кремнію немає. Сировиною для отримання кремнію є кварцовий пісок, який містить кремній у вигляді діоксиду (SiO_2). Попередньо очищений пісок відновлюють за допомогою вуглецю:



Отриманий кремній містить до 2% домішок (інших хімічних елементів), які змінюють його властивості, а відповідно негативно впливають на якість роботи мікросхем.

2. Очищення кремнію. Очищують кремній від домішок соляною кислотою, воднем та іншими речовинами. Проте очищений хімічним способом кремній не задовольняє вимог, які ставляться до матеріалів, що використовуються в мікроелектроніці. Кінцевим очищенням кремнію є безтигельне зонне переплавлення, яке ще називають *зонним очищенням*.

Зонне очищення кремнію проводять в установках горизонтального та вертикального типу. Схему установки вертикального типу зображено на рис. 117, а.

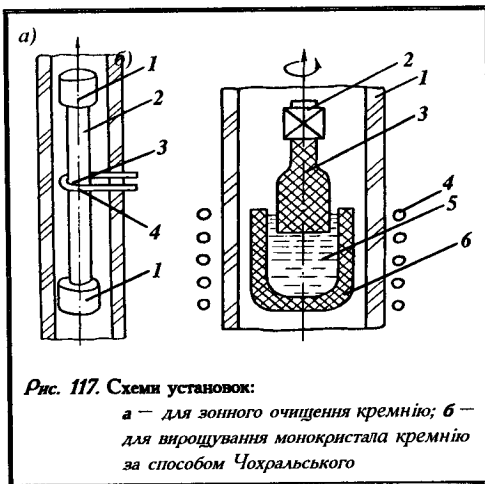


Рис. 117. Схеми установок:

а — для зонного очищення кремнію; б — для вирощування монокристала кремнію за способом Чохральського

Кремній у вигляді стрижня 2 діаметром до 30 мм вставляють у кварцову трубку, в якій безперервно циркулює інертний газ, і закріплюють у затискачах 1. Кремній переміщується в електромагнітному полі, створеному великочастотним струмом, який протікає в індукторі 4. Частина стрижня (зона 3) розплавляється. Після багаторазових переходів стрижня кремнію через зону дії індуктора домішки збираються на кінцях стрижня, які після закінчення перепплавлення відрізають, а з очищеного кремнію вирощують монокристали.

§ 48.4.2. Вирощування монокристалів кремнію

Для вирощування монокристалів кремнію використовують спосіб Чохральського (рис. 117, б).

Кремній плавлять ($T_{пл} = 1420^{\circ}\text{C}$) у тиглі 6, який вставлено у кварцову трубку 1, а все разом – в індуктор 4. У розплав 5 вводять затравку 2 (монокристал кремнію певної кристалографічної орієнтації), яку обертають навколо своєї осі та піднімають вгору. Внаслідок цих рухів виростає монокристал кремнію 3 довжиною 500–2000 мм.

Залежно від призначення та вимог мікроелектронної промисловості монокристали кремнію вирощують двох марок: електронний (Е) і дірковий (Д).

Позначення марки кремнію складається з кількох літер: перша (К) означає кремній, друга – тип провідності (Е – електронна, Д – діркова), третя – початкова літера назви легуючого елемента (А – Al; Б – В; С – Sb; Ф – Р; З – Au) і дробу, у чисельнику якого записано питомий опір, а у знаменнику – дифузійну довжину нерівноважних носіїв заряду. Наприклад, кремній марки КЕФ 4/01 означає: К – кремній; Е – електронного типу провідності, Ф – легований фосфором; його питомий опір 4 Ом·см; дифузійна довжина нерівноважних носіїв заряду дорівнює 0,1 мм. Другий приклад. КДБ 10 означає: К – кремній; Д – діркового типу провідності; Б – легований бором; його питомий опір 10 Ом·см; дифузійна довжина нерівноважних носіїв заряду нерегламентована.

Отримані монокристали ріжуть на пластини, одну з поверхонь яких шліфують, полірують до 14-го класу шорсткості, промивають, висушують і готові (чорні, блискучі) пластини відправляють для виготовлення ІМС.

§ 48.4.3. Утворення елементів мікросхеми

I. Поняття про напівпровідники. *Напівпровідниками називають речовини, які займають проміжне положення між речовинами,*

які добре проводять електричний струм і речовинами, які практично не проводять електричного струму.

До речовин, які добре проводять електричний струм належать метали. Практично не проводять електричного струму – діелектрики або ізолятори.

У кристалі напівпровідника атоми пов'язані між собою за допомогою електронів, які містяться на зовнішній електронній оболонці. Так, на зовнішній електронній оболонці атомів кремнію, який є напівпровідниковим матеріалом, міститься по чотири електрони.

Теплове коливання атомів може спричинити відривання окремих електронів від свого атома і вільне переміщення їх у кристалі. Відхід електрона від атома порушує електричну нейтральність атома, у нього виникає позитивний заряд, який дорівнює заряду електрона, що «відірвався» від атома. При відході електрона в електронній оболонці залишається вільне місце (вакансія), яке називають діркою. Оскільки вакансія може бути зайнята електроном із сусіднього зв'язку, вона також може переміщатися усередині кристала, то вважається позитивним носієм струму.

Отже, електричний струм у напівпровідниках зумовлений не лише негативними зарядами – електронами, а й однаковими з ними позитивними зарядами – дірками. Таку провідність називають *власною*.

Властивості напівпровідників значною мірою залежать від вмісту в них домішок. Змінюючи кількість домішок у напівпровіднику від десятимільйонних часток відсотка до 0,11%, можна змінити його провідність у мільйони разів.

Якщо на місце атома основного напівпровідника ввести атом домішки, на зовнішній електронній оболонці якого міститься на один електрон більше, ніж в атомі напівпровідника, то цей електрон буде ніби то зайвим, не потрібним для утворення міжатомних зв'язків у кристалі й слабо зв'язаним зі своїм атомом. Щоб відірвати його від атома і перетворити на вільний електрон, необхідно витратити значно менше енергії, ніж для відривання електрона від атома основного напівпровідника. Тут має місце домішкова провідність.

Домішки, які легко віддають свій «зайвий» електрон, називають *донорними* (від лат. «*dono*» – даю, дарую).

У напівпровіднику, атоми домішок якого легко віддають свої електрони, всі зв'язки заповнені й дірки не утворюються. Носіями стуму в такому кристалі є електрони. Прикладом такого напівпровідника є кремній, легований арсеном.

Напівпровідникові кристали, в яких переважає електронна провідність, називають **напівпровідниками *n*-типу** (*n* – «negativus»).

Уведення в напівпровідник домішок, на зовнішній електронній оболонці яких міститься менша кількість електронів, ніж в атомі основного напівпровідника, спричинить появу незаповненого зв'язку, тобто дірки. Цей зв'язок можуть зайняти електрони із сусіднього атома і дірки вільно переміщатимуться у кристалі.

Домішки, що спричиняють утворення місць, які приймають електрони, називають **акцепторними** (від лат. «acceptor» – отримувач, приймач).

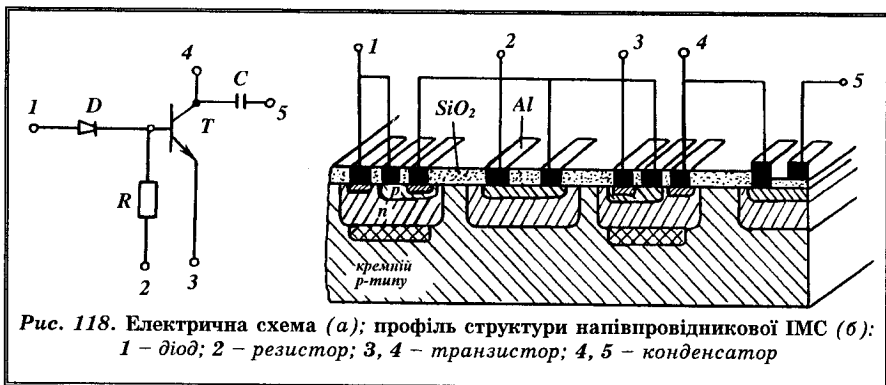
Якщо в кристал кремнію ввести незначну кількість легуючого елемента, наприклад, алюмінію, то в кристалі переважатиме діркова провідність.

Напівпровідникові кристали, в яких переважає діркова провідність, називають **напівпровідниками *p*-типу** (*p* – «positivus»).

У напівпровідниковому монокристалі легуванням можна створити дві зони: *p*- та *n*-типу. Межу між цими зонами називають ***p-n* переходом**.

Створюючи різні комбінації *p-n* переходів, отримують елементи інтегральної мікросхеми: діоди, транзистори, резистори тощо, які розміщені у приповерхневих шарах одного напівпровідникового монокристалу.

Набір певної кількості елементів складає відповідну схему (рис. 118, а).



II. Технологія виготовлення елементів напівпровідникової ІМС.

Основною технологією виготовлення напівпровідникових інтегральних мікросхем є інтегрально-груповий спосіб і планарно-епітаксійна технологія.

Інтегрально-груповий спосіб виробництва ІМС ґрунтується на одночасному формуванні елементів мікросхем на великій кількості пластин. На кожній пластині монокристалу виготовляють безліч однотипних схем, які складаються з активних і пасивних елементів. Ці елементи з'єднують (інтегрують) між собою короткими металевими смужками, які отримують напыленням. Для цього електроди всіх елементів виводять на поверхню пластини та розміщують в одній площині, в одному плані (рис. 118, б). Такий підхід до виготовлення ІМС забезпечує спеціальна планарно-епітаксійна технологія.

Планарно-епітаксійна технологія виробництва ІМС складається з таких послідовних технологічних процесів (рис. 119): епітаксія; окиснення приповерхневого шару монокристалу; фотолітографія; дифузія; напылення тонких металевих плівок.

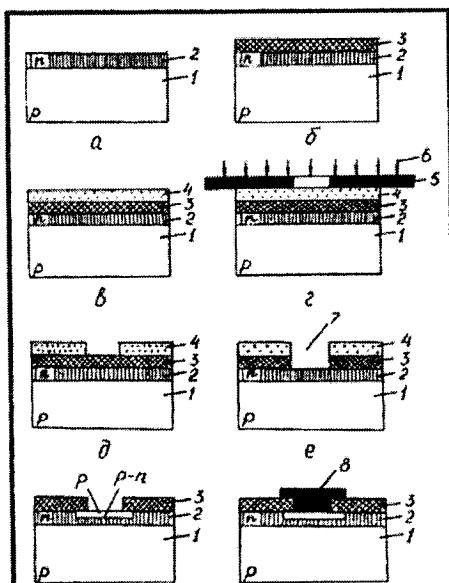


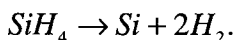
Рис. 119. Послідовність основних технологічних процесів планарно-епітаксійної технології виробництва напівпровідникових ІМС

1. Епітаксія. У процесі шліфування та полірування поверхонь кремнієвих пластин кристалева структура приповерхневого шару порушується. Для її відновлення проводять епітаксію.

Епітаксію називають нарощування кремнієм приповерхневих шарів монокристалів кремнію для відновлення їх кристалічної структури, яка порушилась у процесі виготовлення пластин.

Епітаксію проводять газовим, рідинним та іншими способами. У разі газового способу нарощування епітаксійного шару кремнію пластини завантажують у спеціальну камеру, де вони нагріваються до високої температури. Над нагріти-

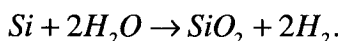
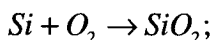
ми пластинами пропускають пару речовин, які містять кремній. Найчастіше використовують пару сілану (SiH_4). За температури 950–1050°C сілан розкладається з утворенням кремнію і водню:



Водень очищує поверхню пластини 1 від домішок, а кремній осідає на неї та відтворює порушену кристалічну структуру 2 (рис. 119, а).

2. **Окиснення приповерхневого шару кремнію.** Для захисту надчистого кремнію від дії атмосфери, проведення локальної дифузії у визначених місцях та ізоляції елементів ІМС епітаксійний шар кремнію 2 окиснюють (рис. 119, б). Під шаром оксиду 3 кремній стає чистішим та набуває досконалішої кристалічної структури, ніж мав до окиснення.

Поверхню кремнієвих пластин найчастіше окиснюють термічним способом, при якому нагріті кремнієві пластини витримують спочатку в атмосфері сухого кисню протягом 15 хв., потім у вологому 1 год. 45 хв. і знову в сухому кисні протягом 1 год.:



З підвищенням тиску кисню до 2050 МПа температура окиснення знижується з 1000°C до 400700°C. За цих умов швидкість росту шару діоксиду кремнію становить 12 мкм/год.

Окиснені пластини кремнію відправляють на фотолітографію.

3. **Фотолітографія.** *Фотолітографією називають сукупність фотохімічних процесів, які ґрунтуються на використанні світлочутливих полімерів (фоторезистів), які змінюють свої властивості під дією ультрафіолетового та х проміння, а також потоку електронів.*

Фотолітографію проводять для створення у шарі світлочутливого полімеру «вікон» певних розмірів і форми, в яких після руйнування оксиду кремнію утворюватимуться майбутні елементи мікросхеми. Фотолітографія є найважливішим процесом у технології виготовлення ІМС. Від неї залежать техніко-економічні показники виробництва та густина розміщення елементів в ІМС.

Для проведення фотолітографії необхідно мати фоторезист, фотомашаблон (трафарет), джерело випромінювання, травники або спеціальні пристрої для травлення.

Фоторезистом називають тонку світлочутливу плівку.

Фоторезист 4 наносять на окиснену поверхню монокристала кремнію для позначення місць розташування елементів майбутньої мікросхеми та захисту оксидного шару від руйнування в процесі травлення (рис. 119, в).

Фоторезисти виготовляють із полімерних матеріалів (поліамідів, каучуків, епоксидних смол тощо). Залежно від характеру зміни властивостей під дією опромінення фоторезисти поділяють на позитивні та негативні.

Позитивні фоторезисти стійкі до дії травників і розчинників, а під дією ультрафіолетового проміння руйнуються й легко змиваються із засвічених ділянок.

Негативні фоторезисти, навпаки, у звичайному стані легко розчинюються, а під дією проміння стають нерозчинними та стійкими до дії травників.

Фоторезисти наносять на поверхню оксидної плівки розпиленням, центрифугуванням, поливанням тощо. Найчастіше застосовують спосіб нанесення фоторезиста центрифугуванням. Згідно з цим способом фоторезист тонкою цівкою ллють у центр кремнієвої пластини, яка обертається з великою швидкістю. Залежно від в'язкості фоторезиста та швидкості обертання кремнієвої пластини ($8,3133 \text{ с}^{-1}$) за 2030 секунд формується шар фоторезиста товщиною 0,520 мкм.

Для випарювання розчинника композицію кремнієва пластинка-фоторезист висушують за температури 80–100°C. Тривалість висушування залежить від типу печі й триває від 20 хв. до кількох секунд.

Фотошаблоном (трафаретом) називають пристрій, який несе інформацію про форму та розміщення того чи іншого елемента інтегральної мікросхеми.

Точність виготовлення фотошаблону позначається на точності розташування та виготовлення елементів мікросхеми. Фотошаблони виготовляють із прозорих матеріалів (фотопластинки, фотоплівки). Через фотошаблон 5 (рис. 119, г) опромінюють фоторезист 4, нанесений на окиснену пластинку, і тим самим позначають місце розташування елементів мікросхеми. Опромінення триває 12 хв.; його проводять контактним або проєкційним способом. При проєкційному способі перенесення рисунка з фотошаблону на поверхню фоторезиста необхідно мати дороге обладнання, але є менша ймовірність пошкодити фотошаблон. Фотошаблони будуть довговічнішими, ніж при контактному способі.

Через відкриті ділянки фотшаблону промені δ діють на фоторезист і змінюють його властивості; він полімеризується і щільно прилягає до оксидного шару кремнієвої пластинки. Закриті фотшаблону ділянки фоторезиста захищені від дії променів. Саме ці ділянки фоторезиста легко знімаються з поверхні оксидного шару, і навпаки (рис. 119, д).

Для прискорення процесу полімеризації пластинки витримують 1 год. за температури 150–200°C. Задубілий шар фоторезиста відображає малюнок майбутнього елемента або цілого блока ІМС. Крім того, він виконує роль маски в процесі витравлення «вікон» на незахищеній поверхні напівпровідникової пластини.

4. Травлення. Процес травлення проходить лише в тих місцях, де відсутній фоторезист 7 (рис. 119, е). Там, де фоторезист щільно прилягає до поверхні пластини, вона захищена від дії травника.

Травлення «вікон» проводять мокрим і сухим способами. При *мокрому способі* «вікна» витравлюють за допомогою розчинів кислот. Наприклад, «вікно» в оксиді кремнію витравлюють плавиковою кислотою (HF), яка містить фтористий амоній. Після травлення пластини ретельно промивають надчистою (безіонною) водою.

Останнім часом перевагу надають *сухим способам* травлення, до яких належать іонне та плазмове.

Іонне травлення полягає в тому, що пучок позитивних іонів, які мають велику кінетичну енергію, бомбардує пластину перпендикулярно до її поверхні в місцях, призначених для травлення. У процесі іонного травлення повністю зберігаються розміри рисунка, нанесеного на фоторезист, відсутнє підтравлення вікон з боків, що мало місце в процесі хімічного травлення.

У процесі *плазмового травлення* пластину вставляють у реакційну камеру, наповнену газом, який містить сполуки галогену, і створюють електричний розряд. Під дією розряду сполуки галогену розкладаються і утворені іони галогену руйнують шар оксиду напівпровідника, наприклад, SiO_2 на кремнієвій пластині. Якщо в камеру ввести інші гази, то можна стравлювати шари чистого кремнію або металеві. Плазмовим травленням можна очистити певні місця напівпровідникової пластини від фоторезиста. Залишки фоторезиста на пластині змивають гарячими концентрованими кислотами (H_2SO_4 , HNO_3), лугами (KOH , NaOH) тощо. Крім того, використовують ультразвукове та плазмове травлення. Після очищення пластину ретельно промивають безіонною водою та висушують.

Вимоги до води, повітря та реактивів, які використовують у цій промисловості, дуже великі. Дистильована звичайним способом вода та кімнатне повітря надто забруднені й потребують додаткового очищення.

Оскільки в процесі виготовлення напівпровідникових ІМС необхідно виконати велику кількість послідовних технологічних операцій, наприклад, легування фосфором, за ним іде легування бором і т. д., то фотолітографію проводять багато разів. Перед кожною такою операцією поверхню пластини, виготовленої з напівпровідникового монокристала окиснюють.

5. Легування приповерхневого шару монокристалів. *Легуванням називають дозоване введення деяких хімічних елементів у напівпровідник для утворення в ньому p - n -переходів, тобто отримання активних і пасивних елементів.*

Крізь вікно 7, витравлене в шарі SiO_2 (рис. 119, *e*), у монокристал кремнію вводять певну кількість легуючих елементів, які визначають тип і провідність окремих областей напівпровідника.

Для утворення областей p -типу кремній легують бором, галієм, алюмінієм, а для n -типу — фосфором, арсеном, стибієм.

Перед легуванням пластину нагрівають до температури 1000–1300°C. Атоми легуючих елементів адсорбуються на поверхні кремнію у вікні 7 (рис. 119, *e*) і дифузують вглибину її, утворюючи p - n -перехід (рис. 119, *є*). Цього самого результату можна досягти іонною імплантацією, яка полягає в бомбардуванні монокристалу кремнію іонами дифузуючих елементів, попередньо надавши їм прискорення в електричному полі. Маючи велику кінетичну енергію, якої йони набули в електричному полі, вони проникають (імплантуються) в кремній. У разі проникнення іонів дифузуючих елементів у кристалеві комірки кремнію, у комірках виникає значна кількість точкових дефектів. Для відновлення кристалічної структури та зняття внутрішніх напружень після іонної імплантації кремнієві пластини відпалюють за температури 500–900°C.

Повторюючи кілька разів окиснення, фотолітографію та дифузію, отримують елементи ІМС.

6. Напилення тонких металевих плівок. Закінчується процес створення структур ІМС формуванням контактів і з'єднань між елементами. Для цього на очищену пластину наносять шар алюмінію (термічним випаровуванням у вакуумі або осадженням з газового середовища). Потім проводять фотолітографію та травлення металу

(алюмінію). Після травлення від алюмінієвого покриття залишаються лише вузькі смужки, по яких проходитиме струм, і контактні місця для приєднання виводів 8 (рис. 119, ж).

§ 48.4.4. Контроль і монтування кристалів у корпус

Після кожної операції формування ІМС виконують контроль: спочатку візуальний (після окиснення та фотолітографії), а потім перевіряють електричні параметри. Забраковані ІМС позначають фарбою.

Після контролю пластини розрізають на окремі кристали. Кристали, на яких є придатні до роботи мікросхеми, передають на складання.

Брак у процесі виготовлення напівпровідникових ІМС дуже великий: чим більший ступінь інтеграції, тим більший відсоток браку. Так, вихід придатних для роботи НВІМС становить 5–15%, а мікросхем з меншим ступенем інтеграції — 40–80%.

Кристали монтують у корпусах. Корпус ІМС є важливою частиною її конструкції. Він забезпечує електричний зв'язок ІМС із зовнішніми виводами корпусу, захищає кристал від дії зовнішнього середовища, відводить теплоту, яка виділяється під час роботи ІМС.

Корпуси виготовляють із металів, пластмас, кераміки та скла.

Завершальною стадією виробництва ІМС є контрольновипробувальна. На дільницях перевіряють електричні параметри мікросхем, проводять механічні та інші випробування, маркують, пакують і передають на склад, а звідси — до споживача.

Основними показниками ефективності технології виробництва продукції мікроелектроніки є витрата сировини на одиницю продукції; вихід придатної для використання продукції (у відсотках), собівартість продукції.

Загальна вартість напівпровідникових ІМС визначається затратами на вирощування монокристалів кремнію та утворення в приповерхневому шарі кремнієвої пластини ІМС.

Затрати на утворення ІМС залежать від ступеня інтеграції: чим більший ступінь інтеграції, тим більші затрати.

* * *

УКРАЇНСЬКО-РОСІЙСЬКИЙ СЛОВНИК

Українська абетка

Aa, Бб, Вв, Гг, Ёё, Дд, Ее, Ѕѕ, Жж, Зз, Ии, Іі, Її, Йй, Кк, Лл, Мм, Нн, Оо, Пп, Рр, Сс, Тт, Уу, Фф, Хх, Цц, Чч, Шш, Щщ, Юю, Яя, ь.

A

абет ^[1] тка	алфавит, азбука
амоніа ^[1] к	аммиак
арсе ^[1] н	мышьяк

Б

баво ¹ вна	хлопок
багатовугле ¹ цева	высоко- углеродистая
багаточерене ¹ вий	многопородовый
барвни ¹ к	краситель
ба ¹ шта	башня
безба ¹ рвний	бесцветный
безпере ¹ рвний	непрерывный
бля ¹ ха	жесть
бо ¹ рошно	мука
броді ¹ ння	брожение
бру ¹ хт	лом
буді ¹ вля	сооружение, зда- ние
будіве ¹ льний	строительный
будо ¹ ва	строение
бу ¹ льбашка	пузырь
бу ¹ ршти ¹ н	янтарь
бу ¹ ряк, бу ¹ ряки	свекла

B

вага	вес
ва жіль	рычаг
валыць вка	прокат
валыцова ння	прокатка
валыць вня	прокатный стан
ванта ж	груз
вапно	известь
ва ртість	стоимость
вві мкнено	включено

верста т	станок
вжива ння	употребление
взасмозамі нність	взаимозаме ня- емость
взуття	обувь
вибірко вість	избирательность
ви бух	взрыв
ви бухонебезпе ч- ний	взрывоопасный
ви далення	удаление
ви довження	удлинение
ви значення	определение
ви ки ди	выбросы
ви крутка	отвертка
ви ливниця	изложница
ви ливок	сляток
вимика ч	выключатель
ви мір	измерение
вимірні	измерительные
ви нахід	изобретение
ви палення	отжиг
ви паро вування	испарение
ви правни й	исправный
ви про бування	испытание
ви промі нювання	излучение
ви разка	язва
ви ріб	изделие
ви робка	выработка
ви робництво	производство
висушування	сушка
витри мування	выдерживание
відби ток	отпечаток
ві ддаль	расстояние
відли вок	отливок
відно влення	восстановление
відно вник	восстановитель

відрізок	отрезок
відсоток	процент
відходи	отходы
відхилення	отклонение
відцентрове	центробежное
візок	тележка
вісь	ось
власний	собственный
властивість	свойство
вміст	содержание
вмикати	включать
внапуск	внахлестку
вовна	шерсть
вогнетриви	огнеупоры
вогнетривий	огнеупорный
вогнетривість	огнеупорность
вогонь	огонь
водень	водород
водогіпс	водопровод
водопостачання	водоснабжение
водосховище	водохранилище
вплив	влияние
впровадження	внедрение
втілення	внедрение
втома	усталость
втрати	потери
вугілля	уголь
вуглець	углерод
вузол	узел

Г

газова	газовая, газообразная
газовий від	газоотвод
газопроникність	газопроницаемость
галузь	отрасль
гальмо	тормоза
гармата	пушка
гас	керосин
гасити	тушить
гвинт	винт
голка	игла
горнило	горн

гніт	фитиль
гнучкий	гибкий
границя	предел
гребля	плотина
гроші	деньги
грудки	окатыши
густина	плотность
гума	резина

Г

грунт	почва
-------	-------

Д

дах	крыша
двигун	двигатель
деревина	древесина
деформівний	деформируемый
джерело	источник
дима́р	дымовая труба
дільниця	участок
діаметр	диаметр
добри́во	удобрение
довжина	длина
довідник	справочник
довкілля	окружающая среда
домішка	примесь
до́мна	доменная печь
допоміжний	вспомогательный
досконалий	совершенные
дослідження	испытание, исследование
до́тик	касание
доцентровий	цеппростремительный
драбина	лестница
дрі́бний	мелкий
дрібнокристали́тний	мелкозернистый
дріт	провода
дробарка	дробилка
дру́к	печать
друкарський	типографский

електрика
електролізе р

Е
електричество
электролизатор

ємність

Є
емкость

жароміцни й
жаростійки й
живи льник
живлення
житло
жорсткість
жу желиця (за-
лишки при зго-
ранні твердого
мінерального па-
лива)

Ж
жаропрочный
жаростойкий
питатель
питание
жилице
жесткость
шлак

забезпечення
заборона
завантаження
загальний
заготівельний
закріплення
залежний
залишок
залишковий
залізняк
залізо
заломлення
замовник
западина
запалювання
зародок
засіб
засувка
захід
захоплення
захист
збагачення
зберігання

З
обеспечение
запрет
загрузка
общий
заготовительный
закрепление
зависимый
остаток
остаточный
железняк
железо
преломление
заказчик
впадина
зажигание
зародыш
средство
задвижка
этап
захват
защита
обогащение
хранение

збільшення
збуджений
зварник
зварювання
зворотний
зв'язок
згин
зда тність
зіткнення
змазування
змінний
зміцнення
змішувач
зміщення
змоцнення
зневуглецьо ву-
вання
зовнішній
зріз
зрівняти
зсув
зусилля

увеличение
возбужденный
сварщик
сварка
обратный
связь
изгиб
способность
столкновение
смазка
переменный
упрочнение
смеситель
смещение
смачивание
обезуглерожи-
вание
внешний
срез
уравнять
сдвиг
усилие

іон
іонізація
іоніти
іржа

І
ион
ионизация
иониты
ржавчина

керування
кишень
кількість
кірка
клепання
колір
колодязь
комірка
коноплі
копаліна
копальня
корисний
костриця
коштовний

К
управление
кислород
количество
корка
клепка
цвет
колодец
ячейка
конопля
ископаемое
шахта
полезный
костра, кострица
драгоценный

кошто рис	смета
кре слення	чертеж
криста леві	кристаллические
кришта ль	хрусталь
кри хкість	хрупкость
кро мка	лезвие
кру чення	кручение
кува ння	ковка
ку ля	шар
ку т	угол

Л

ла д	строй
ла нка	звено
ланцю г	цепь
ле зо	лезвие
легува ння	легиrowanie
легу ючий	легирующий
летки й	легучий
лива рний	литейный
ливни к	литник
лиття	литьё
лицова ння	облицовка
лі та к	самолет
лі тера	буква
лічи льник	счетчик
ло пать	лопасть
лу г	щелочь
луді ння	лужение
лушпи ння	шелуха
льо тка	лётка

М

майда нчик	площадка
маловуглеце ва	низкоуглеродистая
масти ло	масло, смазка
масти льний	смазывающий
ма рмур	мрамор
марнохі д	холостой ход
матеріало-	материаловедение
зна вство	
масни й	жирный
межа	граница, предел
маля с	меласса, патока

мере жа	сеть
металомі сткість	металлоемкость
мисте цтво	искусство
місти ти	содержать
мі сткість	вместимость
місце вий	местный
мі цність	прочность
мли н	мельница
модри на	лиственница
мото р	двигатель
му л	ил
му тра	гайка
мутрове рт	гайковерт

Н

наванта ження	нагрузка
наванта жувати	нагружать
навугле цювання	науглероживание
на гляд	надзор
на д	сверх
надвели кий	сверхбольшой
на длишок	избыток
наді йність	надежность
надмі рний	избыточный
надтверди й	сверхтвердый
напи лок	напильник
напівпровідни к	полупроводник
напо внювач	наполнитель
напру га	напряжение
наріжни й	угловой
наси чення	насыщение
насі ння	семена
наскрі зний	сквозной
на слідок	последствие
на тяг	натяжение
на фта	нефть
на хил	наклон
невипа лювані	безобжоговые
нега йний	строчный
негати вний	отрицательный
недоскона лий	несовершенный
неплавки й	неплавкий
нері вність	неравенство
нерозбі рний	неразъемный

О

обвідни й	обводной
о'берт	оборот
оберта льний	вращательный
оберта ння	вращение
обла днання	оборудование
обладу нки	снаряжение
о'блік	учет
обме ження	ограничение
оболо нка	оболочка
оборо тність	обратимость
обраху нок	расчет
обро бка	обработка
обро блення	обработка
о'бтискання	обжатие
обу рення	возмущение
обчи словальний	вычислительный
о'гляд	осмотр
о'дяг	одежда
оздо блення	отделка
оки снення	окисление
оки снювач	окислитель
окуля ри	очки
оку пність	окупаемость
о'пік	ожог
о'пір	сопротивление
опромі нення	облучение
осві та	образование
о'твір	отверстие
ото чення	окружение
отри мання	получение
отру єння	отравление
отру та	яд
охоло дник,	охлаждающая
охоло джуюче	среда
середо вище	
о'цет	уксус
очисни й	очистительный
оща дний	сберегательный

П

па ливо	топливо
пальне	горючее
пальни к	горелка

папі р	бумага
па с	ремень
пая ння	пайка
перева га	преимущество
пере різ	сечение
переро бка	переработка
переро бний	перделочный
перетво рення	превращение
перешко да	помеха
періоди чний	периодический
пи л	пиль
пито мий	удельный
пі впродуція	полуфабрикат
підганя ння	подгонка
підло га	пол
підкла дка	подложка
підпріс мство	предприятие
підси лення	усиление
пі дшивка	подкладка
пі ч	печь
пли нність	текучесть
плі вка	пленка
площина	плоскость
пля ма	пятно
пля шка	бутылка
побудо ва	построение
пове рхня	поверхность
повітронagrі вник	воздухонагрева- тель
поглина ти	поглощать
подрі бнення	измельчение
поже жа	пожар
позити вний	положительный
позна чення	обозначение
показни к	показатель
покі вка	поковка
по клади	залежи
поли ва	глазурь
поли ця	полка
полумене вий	пламенный
по лум'я	пламя
помазо к	кисточка
поми лка	ошибка
по мпа	насос

порівняння	сравнение
поробок	уток
порожни на	полость
	изделие получен-
порошківка	ное порошковой
	металургий
порох	пыль
порцеляна	фарфор
постачання	снабжение
посуд, посудина	сосуд
потік	поток
потужність	мощность
похибка	погрешность
походження	происхождение
пошкодження	повреждение
пошук	поиск
праця	труд, работа
працестіксть	трудоемкость
	изделие получен-
пресівка	ное пресованием
прибуток	прибыль
прикраса	украшение
приплив	приток
прилад	прибор
приміщення	помещение
присадний	присадочный
прискорення	ускорение
пристрій	приспособление
провідник	проводник
прогонич	болт
	производитель-
продуктивність	ность
прозорість	прозрачность
промисловість	промышленность
проміжна	
продукція	полуфабрикат
промінь	луч
просочений	пропитанный
прошарок	прослойка
пружний	упругий
прядиво	пряжа

Р

рафінування	рафинирование
ретельно	тщательно

рейка	рельс
речовина	вещество
рисунк	чертеж
рівень	уровень
рівність	равенство
рівновага	равновесие
рідина	жидкость
рідинотекучість	жидкотекучесть
різальний	режущий
розбірний	разъемный
розв'язка	развертка
розгалужений	разветвленный
розжарений	раскаленный
розімкнутий	разомкнутый
розкид	разброс
розкиснювач	раскислитель
розкладач	разлагатель
розмежування	разграничение
розпал (печі)	задувка печи
розпилювач	распылитель
розрахувати	рассчитать
розрахунок	расчет
розташування	размещение, рас-
	положение
розчин	раствор
розчинник	растворитель
руйнування	разрушение
рукавиці	перчатки
рух	движение
рухомість	подвижность

С

самоскид	самосвал
свердло	сверло
свердління	сверление
свердловина	скважина
свічка	свеча
селективність	избирательность
середовище	среда
сечовина	мочевина
сироватка	сыворотка
сировина	сырьё
сірка	сера
сірковокислий	сероводород

склад	состав
складання	сборка, монтаж
складова	составная, слагаю- щая
скраплювати	сжижать
склепіння	свод
скло	стекло
скринька	ящик
смак	вкус
собівартість	себестоимость
сокира	топор
сопляшник	подсолнух
спалах	вспышка
співмірність	соизмеримость
сповільнювач	замедлитель
споживач	потребитель
сполука	соединение
споруда	сооружение
спотворення	искажение
спряження	сопряжение
стан	состояние
створення	создание
стеля	потолок
стискання	сжатие
стигливість	сжимаемость
стибий	сурьма
стійкість	устойчивость
стовбур	ствол
столе	столб
стояк	стойка
стрибок	скачек
стрижень	стержень
стрічка	лента
струм	ток
струмінь	поток
ступінь	степень
ступінчастий	ступенчатый
сумісність	совместимость
суміш	смесь
суспільство	общество
суцільний	сплошной
сушарня	сушилка
сходина	ступень

творець	создатель
теплоємність	теплоемкость
теплоносії	теплоноситель
термін	срок
термічний	термический
терпуг	напильник
тертя	трение
тимчасовий	временный
тиньк	штукатурка
тинькувати	штукатурить
тиск	давление
тирса	опилки
тіло	тело
тканина	ткань
точіння	точение
триби	зубья
трибове колесо	зубчатое колесо
тривалість	длительность, продолжитель- ность
трикутник	треугольник
трудомісткість	трудоемкость

удосконалення	усовершенство- вание
узгодження	согласование
умова	условие
уречевлений	овеществленный
утворення	образование
устаткування	оборудование
усунення	устранение
ущільнення	уплотнение

фарба	краска
фаховий	профессиональный
формувальник	формовщик
футерівка	футировка

хвилина	минута
хвіст	хвост

хвороба	болезнь
хімія	химия
хлороводень	хлороводород
хутро	мех

Ц

цвях	гвоздь
цегла	кирпич
цементация	цементация
цівка	струя
цукор	сахар

Ч

чавун	чугун
час	время
часопис	журнал
частковий	частичный
червоноламокість	красноломкость
черінь	под
чинник	фактор
човен	лодка
чутливість	чувствительность

шар	слой
шаруваті	слоистые
швидкість	скорость
шкідливий	вредный
шкіра	кожа
шлакоутворюючий	шлакообразующий
шлях	путь
шорсткість	шероховатость
шпроти́на	дробина
штамнівка	штамповка
штампування	штампование
штучний	искусственный

Щ

щільність	плотность
-----------	-----------

Я

явище	явление
якість	качество
ялиця	пихта

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ ВКАЗІВНИК (ПОКАЖЧИК)

А

Абсорбція	74
Агломерат	53
<i>Агломерация</i>	54
Адсорбція	73
Адсорбент	74
Аероби	101
Азот	42
Азотна кислота	413
- властивості	413
- використання	413
Алюміній	265
- виробництво	265-268
- властивості	265
- сировина	266
- сплави	169
- рафінування	268
Амоніак	417
Амоніачна вода	417
Амортизація	21
Анаероби	100
Аніоніти	37
Анізотропія	149
Анодномеханічне різання	374
Аргон	251
Арматура	383
Армування	216
Армуючі елементи	216
Аустеніт	155
<i>Ацетилен</i>	345, 346
Ацетилено-кисневе полум'я	347
- науглецювальне	347
- нормальне	347
- окиснювальне	347

Б

Басра спосіб	266
Бензин	404
Бетон	387
Біотехнологія	100
Біогаз	57
Білки	102
Білково-вітамінний концентрат	103

Бродіння	
- масляно-кисле	101
- молочно-кисле	101
- спиртове	101
Бронзи	168
Будівельні матеріали	386
- бетон	387
- вапно	393
- випалювальні	383
- гіпс	390-392
- залізо-бетон	383
- керамічні вироби	385, 386
- мінеральні	382
- невидпалювальні	382
- лицювальні плити	384
- природні	381, 385
- розчини	382
- рослинні	381
- саман	382
- цегла	384, 386
- цемент	393
- черепиця	384
- штучні	382

В

Вагранка	286
Вакансія	145
Вакуумування	249
Вальцівка	312
Вальцівні	314
Вальцювання	313, 327
- поздовжнє	313
- поперечне	313
- поперечно-гвинтове	313
- продукція	314
Вапняк	134
Вапно	134, 389
- гашене	390
- негашене	389, 390
Вапняне молоко	134
Великомолекулярні сполуки	419-422
- класифікація	421
Верстати	370-377
Взаємозамінність	276
Відливки	256
Відпалювання	196
Відпускання	199
Вільне кування	316
Віскозне волокно	438, 440
Виливниця	253
Виливок	253
Вимірювальні інструменти	282
Випарник	138

Виріб	378	Гартування	197
Виробництво	22	- поверхнєве	198
- одиничне	22	Геотехнологія	49
- масове	23	Гелій	42
- серійне	23	Гетенакс	207
Вироби	44	Гідролізні дріжджі	102
- очисні	44	Гіпс	390
- підготовчі	44	Глина	381, 382
Виробничий процес	67, 458	Глинозем	267
Виробнича система	129	- властивості	267
Високотемпературні технологічні процеси	84	- виробництво	266
Висушування	75	Гомогенізація	196
ВМС	419	Гравій	382
Вода	32	Гранулятор	54
- властивості	32	Грудкування	54
- класифікація	33	Гібридні ІМС	457
- оборотна	41	Густина	174
- підготовки до використання	34	Д	
- питна	34		
- природна	33	Дегазация води	38
- промислова	34	Дедерон	440
- стічні води	38	Деталь	378
- твердість	32, 35	Дефектоскоп	119
Водень	433	Деформація	177, 306
Волокна	435	- пластична	177, 306
- віскозні	438	- пружна	177, 304
- класифікація	435	Дистиляція	74
- моноволокну	436	Дифузія	136
- природні	435	Дифузійний сік	136
- прядіння	438, 439	Діаграма стану	
- синтетичні	436	залізо-цементит	156
- хімічні	437	Довкілля	24
- штучні	436	- завдання охорони	25
Волочівка	319	- шляхи забруднення	24
Волочіння	319	Доменний газ	233
Встановлення	69	Доменний пил	234
Вугілля		Доменна піч	229
- добування	407	- будова	229
- коксування	407	- принцип роботи	230
<i>Вуглецеві сталі</i>	161	- показники роботи	234
Вузол	378	Допоміжні цехи	274
Вторинна сировина	31	Допоміжний технологічний перехід	69
- побічна продукція	31	Допуски	277
- промислові відходи	31	Дробарки	51
- споживчі відходи	31	Дріжджі	101, 102
В'язкість	179	Дуралюміни	170
Г		Е	
Газ		Евліт	63
- добування	48	Евтектика	148
- домновий	233	Електроліз	96
Газові пальники	346	Електролізер	97

Елементи мікросхеми	460	Збагачення сировини	52
Елемент технологічної системи	130	- гравітаційне	52
Електрохімічне полірування	372	- магнітаційне	52
Електрохімічне травлення	372	- промивання водою	52
Електроерозійне різання	373	- флотаційне	53
Електроіскрове різання	373	- рідин	53
Електроліз водного розчину хлориду натрію		- газових речовин	53
- діафрагмовий спосіб	432	З'єднання та їх види	330
- мембранний спосіб	431	- нерозбірні	330
- ртутний спосіб	433	- розбірні	330
- технологічна система	432	Зварювання	331
Електростанція	433	- автоматичне	340
- атомна	59	- аргонно-дугове	342
- вітрова	62	- в захисних газах	342
- гідрова	60	- вибухом	357
- сонячна	60	- газове	344
- теплова	61	- газопресове	354
Енергія	60	- дефекти	357
- електрична	58	- дифузійне	353
- механічна	59	- дугове	335
- світлова	59	- електроди	337
- сонячна	59	- електроконтактне	350
- теплова	58	- електрошлакове	342
- хімічна	59	- електронно-променеве	348
- ядерна	59	- зварні з'єднання	333
- інші види	59	- зварні шви	333
- раціональне використання	59	- класифікація способів	334
Електроди		- лазерне	349
- без покриттів	64	- напівавтоматичне	340
- з покриттями	337	- неплавким електродом	339
- плавкі	337	- плавким електродом	339
- неплавкі	337	- плазмове	350
Електроніка	337	- покриття на електродах	337
Електропровідність	337	- ручне	340
Електрохімічна корозія	454	- способи газового	348
Епітаксія	475	- стикове	352
	185	- термічні способи	335
	463	- тертям	356
		- точкове	351
		- трифазною дугою	340
		- ультразвукове	355
		- шовне	352
Жом	136	Зенкери	364
Жуželиця	58	Зенкерування	362
		Зонне переплавлення	270
Заготівка	59		
Зазор	279		
Закони М. Фарадея	98		
Залізо-бетон	383	Інгібітори	192
Залізні руди	226	Індукційне нагрівання	311
- бурий залізняк	227	Інструменти	
- залізисті кварцити	227	- вимірювальні	282
- магнітний залізняк	226	- різальні	363
- червоний залізняк	227	Інструментальні сталі	164
- шпатовий залізняк	227	Іон	331

Іонізація	335	Контактні апарати	93
Іоніти	37	Копальня	43, 46
Іржа	183	Корисні копалини	42
		- способи добування	43
К		Корозія	183
Кам'яне вугілля	407	- види	184
Капрон	441	- способи захисту	189
Капролактam	440	Корозійне руйнування	187
Каталіз	90	Корозійні середовища	183
- гомогенний	91	Корозієстійкість	189
- гетерогенний	91	Крекінг	401, 402
Каталізатори	92, 93	- каталітичний	404
- властивості	92	- рідинний	402
- газові	91	- термічний	402
- тверді	90	Кристалізація	74, 75
- рідинні	91	Кристаліти	145, 256
Катіоніти	37	Криця	224
Карбамід	418	Кування вільне	316
Кар'єр	45	Кут падіння пласта	43
Квалітети	276		
Кераміка	211	Л	
- вогнетривка	212	<i>Лазери</i>	112
- глиноземна	212	- газові	113
- динасова	212	- напівпровідникові	113
- діелектрична	213	- рідинні	113
- доломітова	212	- рубіновий	113, 114
- магнетитова	212	- тверді	113
- пориста	213	Латуні	167
- хромомагнетитова	212	Лиття	
- цирконієва	212	- багаторазові форми	297
- шамотова	212	- витисканням	303
Кисень	41, 345	- відцентрове	301
Кислоти	412	- відливки	297
- азотна	413	- дефекти відливок	303
- виробництво сірчаної	425	- в кокіль	298
- сірчана	412	- оболонкова форма	293
- соляна	414	- під тиском	299
Кліть	47	- піщано-глиняна форма	287
Коефіцієнт серійності	24	- разові форми	295
Кокс	407	Леговані сталі	162
Коксовий газ	408	Легування	190
Коксування вугілля	407	Легуючі елементи	162
Комплексні нитки	436	Ледебурит	157
Композити	216	Лігнін	102
- керамічні	219	Лігроїн	401
- металеві	216	Луги	414
- полімерні	218	- кальцинована сода	414
Кольорові метали	151, 257	- каустична сода	414
Конвертери	238	- харчова сода	415
- для виробництва міді	261		
- для виробництва сталі	239	М	
Конверс	381	Магнетострикція	117
Контакти	92	Мазут	399
- склад	92		

Термінологічний вказівник (показчик)

Масоперенесення	73	Моноволокно	121
Марнохід	70	Модель	122
Мастила	399		
Мастильно-охолодні рідини	363	<i>Модель математична</i>	122
Мартенсит	195	Моделювання технологічного процесу	
Математична модель	122, 124		
Матеріалознавство	143		
Машина	374-376	Н	
Машинобудування	373		
- види складання машин	376	Навуглецьовування	231
- види машин	374	Напівпровідники	460-462
- способи складання	375	Напівпровідникові ІМС	456
- показники складання	377	- вирощування	
Мембрани	76	монокристалів	460
Мембранізація	76	- елементи ІМС	455
Металогازی	223	- епітаксія	463
Металургія	221	- класифікація мікросхем	456
- способи виробництва металів і сплавів	222	- отримання кремнію	459
Метали	144	- очищення кремнію	459
- будова	150	- сировина для виробництва ІМС	459
- аморфні	144	- утворення елементів ІМС	460
- кристалічні	151	- фотолітографія	464
- класифікація	145	- фотошаблон	465
- типи комірок	174, 175	Наповнювачі	207
- властивості	213	Наклеп	308
Металокераміка	223	Натяг	279
Металургія порошкова	258	Нафта	398
Мідь	258	- добування	48
- властивості	258-261	- дистиляція	400
- виробництво	167	- класифікація	398
- сплави	261	- склад	398
- рафінування		- підготовка до переробки	398
- шляхи вдосконалення виробництва	262	Нафтопродукти	399
Мікроелектроніка	454	- коксування	403
Мікросхеми	458	- крекінг	401
- виготовлення	457	- очищення	406
- гібридні	456	- піроліз	403
- класифікація	456	Недогарок	260
- напівпровідникові	457	Низькотемпературні технологічні процеси	84
- плівкові	415		
<i>Мінеральні добрива</i>	415		
- класифікація	417		
- азотні	419	О	
- мішані	416		
- калійні	418	Окалина	310
- комплексні	417	Об'єкт	68
- фосфорні	214	Окиснювачі	239
Мінералокераміка	68	Олеум	412
Місце праці	360	Операція технологічна	68
Мітчики	51	- складові операції	69
Млини	423	Оптимізація	120
Мономер	436	Основні цехи	274

П

Паливо	57, 399
- властивості	57
- класифікація	57
- природне	57
- склад	57
- штучне	57
Пальне	399
Папір	444
- виготовлення	447-451
- класифікація	444
- сировина	445
Перегрівання	306
Перекристалізація	139
Перепалення	309
Перліт	157, 195
Печі	310
Підсистема	130
Пісок	382
Плазма	104
Плазмотрони	106, 107
Побічна продукція	76
Побічні цехи	274
Повітря	41
Подрібнення	50
Поліконденсація	423
Позиція	69
Поківка	316
Покриття	190
Полімеризація	422
Поліморфізм	148
Попіл	58
Порода	42
Посадка	278
Портландцемент	393
Порошкова металургія	223
Потоки	131
Потужність пласта	43
Плазма	104
- гаряча	104
- холодна	104
Плазмотрони	106
Пласт	43
Пластмаси	206
- класифікація	206
- прості	206
- полімеризаційні	207
- поліконденсаційні	210
- складні	207
- термопластичні	210
- терморективні	210
Пластичність	306, 307
Плашки	360

Платформінг	406
Плівкові ІМС	457
Полум'я	347
Порода	42
Порошки	
- властивості	324
- способи виготовлення	323
- підготовка шихти	325
- формування виробів	326
Порошківка	326
Пристрої для нагрівання заготовок	
- печі	310
- індукційне нагрівання	311
- контактне нагрівання	311
Припуск на різання	360
Пресівка	320
Пресування	320, 326
- одностороннє	326
- зустрічне	326
Прес-форма	326
Присадний дріт	346
Принцип Ле-Шательє	77
Продуктивність	20
- каталізатора	92
Продукція	20
- основна	31
- побічна	31
Протягування	363
Протяжка	363, 365
Прохід	71
Профілометр	280
Пульпа	41

Р

Рафінування	249
Регенератор	65
Режим різання	367
Рекуператор	64
Рекристалізація	308
Ректифікація	74
Решетування	52
Реформінг	404
Різання	360
- точіння	361
- свердління	362
- стругання	362
- протягування	363
- фрезування	362
- шліфування	363
- інструменти	364
- елементи режиму різання	367
- продуктивність різання	369

Термінологічний вказівник (показчик)

- хімічні способи різання	371	Сплави		146
- електричні способи різання		- алюмінієві		169
різання	371	- аморфні		150
- ультразвукове різання	375	- властивості		174
Родовище	43	- евтектичні		148
Розвертки	364	- евтектоїдні	156,	157
Розкиснення	237	- залізвуглецеві		154
Розкиснювачі	238	- класифікація		152
		- мідні		167
C		- магнієві		171
Сатураційний газ	134	- нікелеві		172
Свердла	364	- прості		148
- спіральні	364	Сталі	160,	224
- кільцеві	364	- вуглецеві		161
Свердловина	48	- леговані		162
Селективність	92	- класифікація		161
Сірка	232	- конструкційні		163
Сірчана кислота	412, 425	- інструментальні		164
- властивості	412	- спеціальні		165
- використання	412	Способи отримання сталі		
- способи виробництва	425-429	- безчавунне сталеваріння		247
- сировина	425	- вакуумно-дуговий		250
Силюміни	170	- вакуування		249
Синтетичні волокна	436	- електрошлаковий		251
Системи	127	- індукційний		247
- класифікація	128	- киснево-конверторний		239
- технічні	129	- мартенівський		240
- технологічні	130	- рафінування сталі		249
- складові системи	130	- розкиснення сталі		237
Сировина		- розливання сталі		253
- класифікація	29-32	- сиродутний спосіб		224
- вторинна	31	Стійкість інструменту		367
- допоміжна	32	Стоббури		46
- мінеральна	29	- головні		47
- основна	33	- вентиляційні		47
- первинна	29	- комбіновані		46
- рослинна	30	Стачеварні агрегати		238
- тваринна	30	Стандарт		22
- штучна	32	Стружка	361,	366
Ситування	52	Сульфатаційний газ		134
Складання	378	Суспензія		447
- способи	375	T		
- види	376	Такт випуску		24
- випробування машин	378	Тверді розчини		147
Скрап	235	Температура плавлення		175
Собівартість	20	Теплопереенесення .		73
Соди	414	Теплопровідність		175
Соляна кислота	414	Теплоцентрально		61
- властивості	414	Теракота		211
- використання	414	Точність		277
Сорбіт	195	Текучість		285
Сортування сировини	51, 52	Термічна обробка	193,	194
Скіп	47	- відпалювання		196
СПВполімеризація	423			

[illegible]

Ш		Я	
Швидкість різання	367	Штапування	317
Шихта	228	- об'ємне	317
Шлак	233	- листове	318
Шлікер	328	Штейн	260
Шлікерне лиття	328	Шунгіт	35
Шліфувальні круги	365		
Шліфування	363	Якість	
Шорсткість	280	- сировини	55
Штамповка	317	- продукції	21
Штапельне волокно	436		
Штучні волокна	436		



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Алаи С.И.* и др. Технология конструкционных материалов. — М.: Просвещение, 1986.
2. *Бойко Е.И.* и др. Управление техническим развитием производственных систем. — Л.: Вища шк., 1985.
3. *Бойко Е.И.* Организация технологических систем промышленного производства. — К.: Наук. думка, 1985.
4. *Бондаренко А.Д.* Технология химической промышленности. — К.: Вища шк., 1982.
5. *Брик М.Т.* и др. Мембранная технология в промышленности. — К.: Техника, 1990.
6. *Булгаков С.Н.* Строительное дело. — М.: Стройиздат, 1980.
7. Вредные вещества в промышленности. — Л.: Химия, 1976.
8. *Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г.* Материаловедение. — М.: Металлургия, 1983.
9. *Гончаров А.И., Стеценко О.В.* Основи хімічної технології. — К.: Вища шк., 1971.
10. *Григоряну А.Г.* Основы лазерной обработки материалов. — М.: Машиностроение, 1989.
11. *Дриц М.Е., Москалев М.А.* Технология конструкционных материалов и материаловедение. — М.: Высш. шк., 1990.
12. *Ізюмов О.* Російсько-український словник. — Харків-Київ: Державне вид-во України, 1930.
13. *Калихман И.Л.* Сборник задач по линейной алгебре и программированию. — М.: Высш. шк., 1969.
14. *Клюковский Г.И.* Общая технология строительных материалов. — М.: Высш. шк., 1976.
15. *Козырь И.Я.* и др. Общая технология. Кн. 1. — М.: Высш. шк., 1989.
16. *Космачев И.Г.* Технология машиностроения. — Л.: Лениздат., 1970.

17. Кузьмин Б.А., Самохоцкий А.И. *Металлургия, металловедение и конструкционные материалы*. — М.: Высш. шк., 1984.
18. Кульский Л.А., Накорчевская В.Ф. *Химия воды*. — К.: Вища шк., 1983.
19. Курнасов А.И., Брук В.А. *Основы полупроводниковой микроэлектроники*. — М.: Высш. шк., 1980.
20. Кутепов А.М. и др. *Общая химическая технология*. — М.: Высш. шк., 1990.
21. Лахтин Ю.М. *Металловедение и термическая обработка металлов*. — М.: Metallurgy, 1983.
22. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. *Материаловедение*. — М.: Машиностроение, 1990.
23. Масанори Моритани. *Современная технология и экономическое развитие Японии*. — М.: Экономика, 1986.
24. Мокеев О.К. *Полупроводниковые приборы и микросхема* — М. Высш. шк., 1987.
25. Мухленов И.П. и др. *Основы химической технологии*. — М.: Высш. шк., 1983.
26. Никифоров В.М. *Технологія металів і конструкційні матеріали*. — К.: Вища шк., 1984.
27. *Общая химическая технология* / Под ред. А.Г. Амелина. — М.: Химия, 1977.
28. *Основы технологии важнейших отраслей промышленности* (Под ред. И.А. Сидорова). — М.: Высш. шк., 1971.
29. *Основы химической технологии* / Под ред. И.П. Мухленова. — М.: Высш. шк., 1991.
30. Остапенко Н.Н., Кропивницкий Н.Н. *Технология металлов*. — М.: Высш. шк., 1970.
31. Петрушевский В.В. и др. *Производство сахаристых веществ*. — К.: Урожай, 1989.
32. Примаков С.Ф. *Производство бумаги*. — М.: Лес. пром-сть. 1987.
33. Прыкин Б.В. *Технология металлов и сварки*. — К.: Вища шк., 1978.
34. Рязов А.Н. и др. *Технология получения химических волокон*. — М.: Химия, 1980.
35. Савінов Б.Г., Кудрицька С.Ю. *Хімічна технологія*. — К.: Вища шк., 1973.
36. Сахал Д. *Технический прогресс: концепции модели, оценки*. — М.: Финансы и статистика, 1985.

37. Серый И.С. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. — М.: ВО Агропромиздат, 1987.
38. Сквернюков П.Ф. В мире говорящих листов. — М.: Знание, 1990.
39. Словник іншомовних слів / За ред. ОС. Мельничука. — К.: Голов, редакція україн. рад. енциклопедії АН УРСР. 1975.
40. Технология металов и конструкционные материалы / Под ред. Б.А. Кузьмина. — М.: Машиностроение, 1981.
41. Технология важнейших отраслей промышленности / Под ред. А.М. Гринберга, Б.А. Хохлова. — М.: Высш. шк., 1985.
42. Технология важнейших отраслей промышленности. Ч. I, II / Под ред. И.В. Ченцова. — Минск: Вышэйш. шк., 1977.
43. Технология конструкционных материалов / Под ред. А.М. Дальского. — М.: Машиностроение, 1985.
44. Технология металов / Под ред. Б.В. Кнорозова. — М.: Металлургия, 1978.
45. Технологія металів та інших конструкційних матеріалів / За ред. Г.О. Прейса. — К.: Виша шк., 1975.
46. Україна в цікавих фактах / Укл. Г.О. Маценко. — Львів: Слово, 1992.
47. Хубка В. Теория технических систем. — М.: Мир, 1987.
48. Шлугер М.А. и др. Коррозия и защита металов. — М.: Металлургия, 1981.
49. Эндерлайн Р. Микроэлектроника для всех. — М.: Мир, 1989.
50. Юркевич В.В., Пакивер А.В. Технология производства химических волокон. — М.: Химия, 1987.

Навчальне видання

ЗБОЖНА Ольга Михайлівна

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ

Навчальний посібник

Редактор: *Василенко Людмила Геннадіївна*

Коректор: *Котенко Катерина Михайлівна*

Комп'ютерна верстка: *Василенко Людмила Геннадіївна*

Дизайн обкладинки: *Куташенко Валерій Сергійович*

Підписано до друку з оригінал-макету 25.03.2011 р.

Формат 60x84 1/16. Гарнітура Times New Roman. Тираж (наклад) 1000.

Папір типографський. Друк офсетний. Умовн.-друк. аркушів 30,6.

Обл.-вид. аркушів 31,8. Тираж: 1000 прим.

Замовлення № 202

03067, м. Київ, вул. Гарматна, 29/31,

тел./факс (044) 408-76-17, 408-76-25,

ТОВ «Кондор»

Свідоцтво ДК № 1157

від 17.12.2002 р.

Віддруковано в друкарні ПП "Мошак М.І."

(свідоцтво ДК № 867 від 22.03.2002 р.)

32300, Хмельницька обл.,

м. Кам'янець-Подільський, вул. П'ятницька, 9а.

Тел./факс (03849) 2-72-01, 2-20-79