

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Технология машиностроения»

**И. В. Царенко, А. Я. Григорьев**

## **ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**КУРС ЛЕКЦИЙ**

**по одноименной дисциплине  
для студентов специальностей**

**1-25 01 07 «Экономика и управление на предприятии»,**

**1-26 02 02 «Менеджмент» и 1-26 02 03 «Маркетинг»**

**дневной и заочной форм обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

**Гомель 2012**

УДК 658.512(075.8)  
ББК 34я73  
Ц18

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 9 от 30.05.2011 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Металлургия и литейное производство» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *Ю. Л. Бобарикин*

**Царенко, И. В.**

Ц18 Производственные технологии : курс лекций по одной дисциплине для студентов специальностей 1-25 01 07 «Экономика и управление на предприятии», 1-26 02 02 «Менеджмент» и 1-26 02 03 «Маркетинг» днев. и заоч. форм обучения / И. В. Царенко, А. Я. Григорьев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 84 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-047-8.

Содержит характеристику сырьевой базы промышленного производства Беларуси, а также описание металлургического производства, включая определение и способы промышленного получения металлов и сплавов, основные технологии получения изделий из металлов, производство материалов и изделий из основных нерудных горных пород и из органического сырья.

Для студентов экономических специальностей дневной и заочной форм обучения.

**УДК 658.512(075.8)  
ББК 34я73**

**ISBN 978-985-535-047-8**

© Царенко И. В., Григорьев А. Я., 2012  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2012

# Тема № 1

## Вводная лекция

1. Определения: технология, технологическая цепь.
2. Связь сырье – технология.
3. Классификация технологий.
4. Новейшие технологии.

### 1. Определения: технология, технологическая цепь

*Технология* (греч. «искусство», «мастерство») – совокупность приемов, способов получения, переработки сырья, материала.

*Технологический процесс* (ТП) – совокупность действий, в результате которых сырье превращается в готовую продукцию.

Технология отвечает на вопрос «как?» – «Как сделать из сырья готовый продукт?». Эта трансформация может быть представлена в виде технологической цепи (табл. 1.1).

Таблица 1.1

#### Принцип технологической цепи: трансформация сырья в продукт

<b>С</b>	<b>Т</b>	<b>Пр</b>
Сырье	Технология	Продукт

### 2. Связь сырье – технология

Технология и сырье связаны между собой, т. е. изменение одного ведет к изменению другого. Пример: изготовление топлива (табл. 1.2).

Таблица 1.2

#### Технологическая цепь производства топлива из нефти и из рапса

№	С	Т	Пр
1	Нефть	Физический процесс (перегонка)	Топливо
2	Рапс	Химико-биологический процесс	Топливо

Сырье для одной технологии может являться продуктом для другой. Пример: продукт целлюлозно-бумажного производства – бумага – является сырьем в полиграфическом производстве (табл. 1.3).

Таблица 1.3

#### Технологическая цепь производства книги

<b>С</b>	<b>Т</b>	<b>Пр</b>	<b>Т</b>	<b>Пр</b>	<b>Т</b>	<b>Пр</b>
Древесина	?	Целлюлоза	?	Бумага	Полиграфия	Книга

### 3. Классификация технологий

Различают три основных вида технологий:

1. *Химические* технологии. Превращение сырья в продукт происходит в результате химических реакций; таким образом, химический состав сырья и продукта различен. Пример: металлургия (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Технологическая цепь производства металла

С	Т	Пр
Руда Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Металлургическое производство. Технология восстановления металла из руды $Fe_2O_3 + C \rightarrow Fe + CO_2 \uparrow$	Металл (Fe)

Примеры изделий, полученных по химическим технологиям: ядохимикаты, удобрения, кислоты, синтетические волокна, лаки и др.

2. *Механические* технологии. Превращение сырья в продукт происходит при помощи механических действий (измельчение, истирание, формование и др.), т. е. изменения формы происходят без изменения химического состава. Химический состав сырья и продукта одинаков. Примеры механических технологий представлены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Технологические цепи производства изделий с использованием механических технологий

№	С	Т	Пр	Отрасль
1	Металлический слиток (Me)	Формовка: литье, обработка давлением и др.	Металлическая деталь	Машиностроение
2	Детали металлические и неметаллические	Сборка	Машина	Машиностроение
3	Древесина	Деревообработка (пиление, строгание)	Древесные строительные материалы	Деревообрабатывающая промышленность
4	Шерсть животных	Прядение	Нитки	Текстильная промышленность
5	Нитки	Ткачество	Ткань	Текстильная промышленность
6	Ткань	Шитье	Одежда	Швейное производство

3. *Биологические* технологии. Превращение сырья в продукт происходит в результате жизнедеятельности биологических объектов: микроорганизмов и бактерий. Химический состав сырья и продукта различен. В биотехнологиях главенствуют 3 группы микроорганизмов:

а) дрожжи (известно около 500 видов; человек использует около 150 видов);

б) плесени (человек использует около 5 видов);

в) лучистые грибки (используются для производства лекарств).

Классификация биотехнологий:

3.1) микробиологические производства:

– пищевых продуктов – производство сыра, кисломолочных продуктов (кефир, йогурты, сметана, творог и т. д.), хлеба, вина, пива;

– лекарств (гормоны, ферменты и т. д.);

– биогеотехнологии (извлечение металла из руды при помощи микроорганизмов);

3.2) микробиологический синтез (разведение чистых культур микробов);

3.3) генная инженерия;

3.4) клеточная и белковая инженерия;

3.5) другие.

Примеры биологических технологий: *технология брожения*, используемая в производстве спирта, винно-водочных изделий (табл. 1.6), и *технология сквашивания*, используемая в производстве, например, творога (табл. 1.7).

Таблица 1.6

#### Технологическая цепь производства спирта

С	Т	Пр
Рис, пшеница и др.	Брожение: глюкоза, сахароза → спирт	Спирт

Таблица 1.7

#### Технологическая цепь производства творога

С	Т	Пр
Молоко	Сквашивание молочнокислое: молочный сахар → молочная кислота	Творог

## 4. Новейшие технологии

Компьютерные технологии, нанотехнологии, генная инженерия, плазменные, ультразвуковые, лазерные технологии и т. д.

## Тема № 2

### Природные материалы, используемые в качестве сырья. Органическое сырье

---

1. Классификация природного сырья (2 группы).
  2. Какие вещества называют органическими?
  3. Каких веществ больше – органических или неорганических? Почему?
  4. Кругооборот органических и неорганических веществ.
  5. Классификация органического сырья по происхождению.
  6. Классификация органического сырья по составу.
  7. Основные изделия, получаемые из органического сырья.
- 

#### 1. Классификация природного сырья (2 группы)

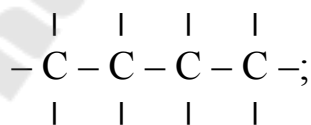
Сырье, из которого производят изделия и продукты, можно разделить на две большие группы:

- органическое сырье;
- неорганическое (минеральное) сырье.

#### 2. Какие вещества называют органическими?

*Органические вещества* – вещества, обладающие следующими основными свойствами:

- а) имеют в своем составе атом углерода С;
- б) обладают способностью образовывать цепные молекулы по связям углерода (то есть углерод может соединяться с себе подобными С в цепи, образуя цепочечные структуры):



- в) обладают свойством изомерии. (Изомеры – это вещества, имеющие одинаковый состав молекулы, но разное строение.) Например, известно 75 веществ с одинаковой формулой  $C_{10}H_{22}$ .

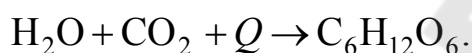
#### 3. Каких веществ больше – органических или неорганических? Почему?

Число органических соединений намного больше, чем неорганических. На сегодняшний день их несколько миллионов. И это несмотря на то, что в состав органических веществ входят в основном только четыре элемента (С, Н, О, N), а неорганические вещества мо-

гут содержать более 100 элементов. Попробуйте объяснить, почему тогда органических соединений больше.

#### 4. Кругооборот органических и неорганических веществ

Существует кругооборот органических и неорганических веществ: органика  $\rightleftharpoons$  неорганика. Рассмотрим этот кругооборот на примере синтеза и распада молекулы глюкозы. Растения, поглощая неорганические вещества (воду из почвы и углекислый газ из воздуха) и энергию солнца ( $Q$ ), в результате процесса фотосинтеза создают органическую молекулу глюкозы ( $C_6H_{12}O_6$ ):



Функция глюкозы энергетическая, т. к. она в своем кольце несет квант солнечной энергии, который выделяется при распаде глюкозы обратно на воду и углекислый газ. Этот обратный распад с целью получения энергии может осуществляться любым живым организмом, не имеющим возможность самому получить энергию солнца. Например, растение, не способное к фотосинтезу зимой, питается глюкозой, запасенной летом. Точно так же и семена в период до появления собственных листьев, и все животные организмы, от бактерий до человека. Глюкоза, получаемая человеком с пищей, окисляется кислородом, полученным из воздуха через дыхание, и распадается на воду и углекислый газ (которые выводятся из организма) с выделением кванта энергии (ради которого человек и использует глюкозу в пищу):



#### 5. Классификация органического сырья по происхождению

По происхождению органическое сырье бывает:

- 1) *растительное* (древесина, сахар, семена и др.);
- 2) *животное* – пищевые материалы, текстильные (шерсть, кожи и др.);
- 3) *ископаемое* (нефти, природный газ, торф, угли).

#### 6. Классификация органического сырья по составу:

- а) органические вещества, состоящие из двух атомов: С и Н (называются углеводородами);
- б) органические вещества, состоящие из трех атомов: С + Н + О.

К ним относят в основном спирты, жиры и углеводы. Наиболее яркие представители углеводов – это глюкоза  $C_6H_{12}O_6$ , сахароза  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , крахмал  $(C_6H_{12}O_5)_n$  и целлюлоза  $(C_6H_{12}O_5)_n$ . Как можно заметить из формул, все вышеперечисленные углеводы состоят из глюкозы: сахароза – димер глюкозы (образована из двух ее молекул), а крахмал и целлюлоза – полимеры глюкозы (образованы соединением десятков и сотен тысяч молекул глюкозы в одну полимерную молекулу). Чем длиннее молекула углевода, тем больше энергии выделяется при ее разложении на неорганические воду и углекислый газ;

в) органические молекулы, состоящие из четырех атомов  $C + H + (O) + N$ . Основной представитель этого класса органических веществ – это белки. Белки – природный полимер, образованный аминокислотами.

## 7. Основные изделия, получаемые из органического сырья

Основные изделия, получаемые из органического сырья, и общая технологическая цепь их получения представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Общая технологическая цепь для изделий, получаемых из органического сырья

Сырье		Технология	Продукт
Состав/название	Источник		
C + H: углеводороды	Нефть, природный газ, уголь	Перегонка, крекинг	Топливо (горючее)
		Химическое производство	Синтетические продукты (пластмассы, синтетические волокна и др.)
C + H + O: спирты, жиры, эфиры, углеводы. Углеводы: глюкоза $(C_6H_{12}O_6)$ , сахароза $(C_{12}H_{22}O_{11})$ , крахмал $(C_6H_{12}O_5)_n$ , целлюлоза $(C_6H_{12}O_5)_n$	Растения, животные	Пищевое производство, химическое производство	Пищевые продукты; искусственные и синтетические продукты: 1) спирты → растворители; 2) жиры → моющие средства; 3) целлюлоза (древесина) → бумага; 4) целлюлоза (хлопок, лен) → текстильный материал; 5) эфиры → духи, парфюмерия
C + H + (O) + N: аминокислоты, белки	Растения, животные	Пищевое производство, химическое производство	Пищевые продукты; химические и строительные материалы



### Тема № 3

## Неорганическое (минеральное) сырье на основе горных пород

---

1. Определения: горная порода, минералы.
  2. Классификация горных пород по агрегатному состоянию и плотности.
  3. Классификация горных пород по количеству минералов.
  4. Иерархия природных образований.
  5. Генезис горных пород.
  6. Минералы ювелирного назначения.
  7. Распределение элементов по геосферам.
  8. Основные элементы, входящие в неорганические материалы.
  9. Основные изделия, получаемые из неорганического сырья (обобщенная технологическая цепь).
- 

### 1. Определения: горная порода, минералы

*Горная порода* (ГП) – природный материал, состоящий из минералов.

*Минерал* – неорганическое химическое соединение или химический элемент (например, графит, алмаз), природный или выращиваемый искусственно, однородного химического состава и структуры. Всего известно около 2–4 тыс. минералов, но в образовании горных пород участвует 25–40 минералов. Их называют породообразующими, или основными минералами. Остальные встречаются в виде примесей и называются второстепенными минералами.

### 2. Классификация горных пород по агрегатному состоянию и плотности

ГП по агрегатному состоянию делят на:

- *твердые* (гранит, мрамор и др.);
- *жидкие* (нефти).

Твердые ГП классифицируют по плотности и размеру частиц на:

- *твердые монолитные* ГП (гранит, мрамор и др.);
- *твердые рыхлые* ГП:
  - валуны – размером 1000–300 мм;
  - булыжник – размером 300–100 мм;
  - галька, щебень – размером 100–10 мм (галька по форме окатанная, щебень – остроугольный);

гравий, дресва – размером 10–1 мм;  
 песок – размером 1–0,1 мм;  
 лесс – размером 0,1–0,01 мм;  
 глина – размером 0,01–0,001 мм.

### 3. Классификация горных пород по количеству минералов

По количеству входящих минералов бывают:

1) *одноминеральные* ГП – горные породы, которые состоят из одного минерала.

Примеры одноминеральных ГП:

- кварцевый песок (минерал кварц,  $\text{SiO}_2$ );
- кварцит (минерал кварц);
- гипс (минерал гипс,  $\text{CaSO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$ );
- каменная соль (минерал галит,  $\text{NaCl}$ );
- мел (минерал кальцит,  $\text{CaCO}_3$ );
- мрамор (минерал кальцит);
- известняк (минерал кальцит).

*Примечание:* Разные горные породы могут состоять из одного и того же минерала и отличаться друг от друга структурой. (Структура – пространственное расположение частиц: атомов, молекул (микроструктура); зерен, пор (макроструктура)). Пример: горные породы песок и кварцит состоят из кварца  $\text{SiO}_2$ ; горные породы мел, известняк и мрамор состоят из кальцита  $\text{CaCO}_3$ ;

2) *многоминеральные* ГП – горные породы, которые состоят из 2-х и более минералов.

Примеры многоминеральных ГП: гранит (табл. 3.1), пески полимиктовые (табл. 3.2), глины смешанные (табл. 3.3).

Таблица 3.1

Состав гранита

Минерал		Формула, класс химических соединений	Содержание, %
A	Полевые шпаты	Алюмосиликаты Na, K, Ca. Пример: ортоклаз $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	40–60
B	Кварц	Оксид $\text{SiO}_2$	20–40
C	Слюды	Алюмосиликаты $\text{KAl}_2(\text{OH})_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{12})$	5–20
D	Роговая обманка	Силикат: $\text{Si} + \text{O} + \text{Na}, \text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}$	

Структура гранита плотная. Из гранита могут быть образованы различные рыхлые ГП: галька, щебень, булыжник, гравий и т. д.

Существует достаточно много монолитных ГП по своему минералогическому составу близких к граниту, например, сиенит (состав аналогичен составу гранита, но не содержит кварц), габбро (состав аналогичен составу гранита, но вместо слюды содержит оливин).

Таблица 3.2

Состав песка полимиктового

Минерал		Формула, класс химических соединений	Содержание, %
A	Кварц	Оксид $\text{SiO}_2$	90–10
B	Полевые шпаты	Алюмосиликаты	10–90

Таблица 3.3

Состав глины смешанной

Минерал		Формула, класс химических соединений	Содержание, %
A	Каолинит	Алюмосиликаты $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	различное соотношение
B	Монтмориллонит	Алюмосиликаты $(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{12})$	

#### 4. Иерархия природных образований

Элементарные частицы (Ч), соединяясь образуют химические элементы (Э); из химических элементов образуются минералы (М); из минералов состоят горные породы (ГП); горные породы образуют земную кору (верхнюю твердую часть Земли) (рис. 3.1).

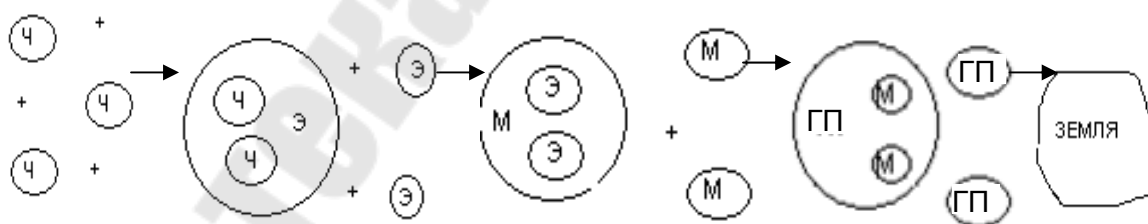


Рис. 3.1. Иерархия природных образований: Ч – элементарные частицы (электрон, протон, нейтрон); Э – химические элементы (например, Н, О, N, Fe и др.); М – минералы (например, кварц  $\text{SiO}_2$ ); ГП – горная порода (например, гранит, песок, мрамор, глина)

#### 5. Генезис горных пород

Генезис отражает происхождение, последовательность появления ГП.

*I этап.* Выход магмы на поверхность земли в результате извержения вулкана ведет к образованию первичных плотных и массивных ГП (например, гранит, сиенит). Состав магмы  $\text{SiO}_2$ . Другие элементы (Al, Mg, Ca, K и др.) растворены в ней.

*II этап.* Старение первичных горных пород. В результате обветривания наступает механическое разрушение ГП, что ведет к ее измельчению и превращению в рыхлую горную породу (рис. 3.2).

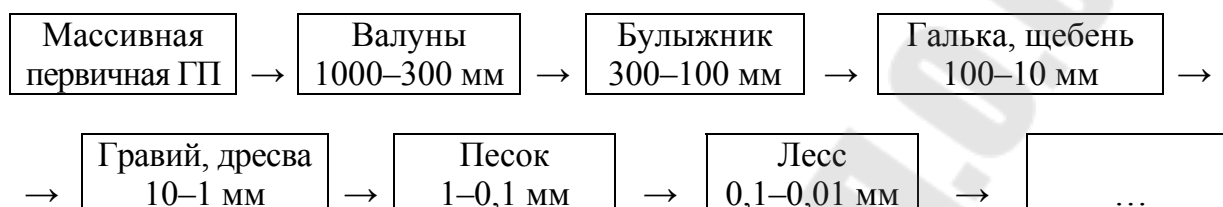


Рис. 3.2. Превращение массивной горной породы в рыхлую

*III этап.* Цементация рыхлых горных пород. Например, при соединении песка с природным цементом образуется песчаник.

*IV этап.* Трансформация ГП под действием высоких температур и высокого давления. Так образуются метаморфические ГП, например, мрамор, гнейсы и др. (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Образование метаморфических ГП

Начальная ГП	Условие трансформации	Метаморфическая ГП
Известняк, или мел ( $\text{CaCO}_3$ )	Высокая температура	Мрамор ( $\text{CaCO}_3$ )
Гранит	Высокое давление	Гнейсы

## 6. Минералы ювелирного назначения

К основным минералам ювелирного назначения можно отнести:

а) *оксиды кремния* – кварцы ( $\text{SiO}_2$ ): горный хрусталь (чистейший объемный кристалл  $\text{SiO}_2$ ), аметист (кристалл с придающей фиолетовый оттенок примесью железа), опал (гидратированный аморфный кремнезем,  $\text{SiO}_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_2$ ), цитрин. Тонкокристаллические кварцы: сердолик, агат, халцедон, хризопраз, оникс. Кварцы с включениями других минералов: тигровый глаз, авантюрин;

б) *оксиды алюминия* – корунды ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ): рубин (ярко-красный), сапфир (ярко-синий);

в) *силикаты* (соли кремниевой кислоты): топаз, циркон, берилл, гранат, турмалин, жад, оливин и др. Самым драгоценным из силикатных минералов признан изумруд – редкая хромсодержащая разновидность берилла ярко густо-зеленого цвета;

г) *самородные элементы* (простые вещества): алмаз – кристаллическая кубическая модификация углерода. Ограниченные алмазы называются бриллиантами. С 1955 г. алмазы получают синтетически из углерода при высокой температуре (1200–2000 °С) и высоком давлении – до  $10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>.

Оцениваются драгоценные камни по прозрачности, цветовой игре, форме и массе в каратах. Карат равен 200 мг ( $2 \cdot 10^{-4}$ ) кг.

## 7. Распределение элементов по геосферам (табл. 3.5)

Таблица 3.5

Состав сфер Земли

Ионосфера	Атмосфера	Гидросфера	Литосфера		Астеносфера	
			Земная кора	Верхняя мантия	Нижняя мантия	Ядро земли
Плазма	Газовая сфера N <sub>2</sub> – 78 %, O <sub>2</sub> – 21 %, CO <sub>2</sub> – 0,03 %, инертные газы	Жидкая сфера H <sub>2</sub> O	Твердая сфера: O – 47 %, Si – 27 %, Al – 7 % + Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P. Доля всех остальных элементов < 1 % – основные соединения силикаты и алюмосиликаты	O – 43 %, Mg – 26 %, Si – 19 %, Fe – 10 %	O Fe Mg	Fe – 81 %, остальное Co и Ni

## 8. Основные элементы, входящие в неорганические материалы

ГП образуют слой земной коры мощностью 15–60 км. Как видно из табл. 3.5, основные элементы, входящие в ГП, а значит в неорганические материалы, – O, Si, Al. На их долю приходится 80 % земной коры. На долю еще семи элементов (Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P) приходится еще почти 20 %. Доля остальных более 100 элементов незначительна.

## 9. Основные изделия, получаемые из неорганического сырья (обобщенная технологическая цепь)

Таблица 3.6

№	Сырье неорганическое (минеральное)	Технология/Производство	Изделия
1	Рудные ГП Руда – минеральное сырье, содержащее металлы в количестве, пригодном для их промышленного получения	Металлургическое производство	Металлы и сплавы
		Машиностроительное производство	Металлические изделия

№	Сырье неорганическое (минеральное)	Технология/ Производство	Изделия
2	Нерудные ГП 2.1. Рыхлые ГП: щебень, гравий, галька, песок, известняк, глина и др.	Строительное производство	Стройматериалы (цемент, бетон и др.)
	Песок (+добавки)	Стекловарение	Стекло
	Глина (+добавки)	Спекание	Керамика (посуда, кирпичи и др.)
	2.2. Плотные ГП (граниты, кварциты, мрамор и др.)	Механическая обработка	Облицовочные, строительные материалы
3	Минералы со специальными свойствами, такими как: а) высокая твердость	Механическая обработка	Режущий инструмент
	б) оптические свойства (кварц, алмаз)	Механическая обработка	Оптический материал
	в) прозрачность, красота	Механическая обработка	Ювелирный материал
	г) мягкость, инертность (тальк)	Механическая обработка	Медицинский материал и материал-наполнитель

## Тема № 4

### Минерально-сырьевая база Беларуси

---

1. Горючие полезные ископаемые (топливно-энергетические ресурсы).
  2. Полезные ископаемые для получения металлов.
  3. Ископаемые соли.
  4. Карбонатные породы.
  5. Глины и каолины.
  6. Пески и песчано-гравийные отложения.
  7. Естественные строительные и облицовочные камни.
  8. Полезные ископаемые для получения сельскохозяйственных удобрений.
  9. Полезные ископаемые, перспективные для дальнейшего изучения.
- 

Природные ресурсы страны можно разделить на минеральные, лесосырьевые, земельные и водные. В этой теме рассмотрим, что составляет минеральное богатство Беларуси и как обеспечена этим сырьем национальная промышленность.

#### 1. Горючие полезные ископаемые (топливно-энергетические ресурсы)

К группе горючих полезных ископаемых (ПИ) относятся нефть и газ, каменные и бурые угли, горючие сланцы и торф.

Основной нефтегазоносной зоной территории Беларуси является Припятский прогиб (Гомельская обл.). По состоянию на 01.01.2004 г., в Республике Беларусь открыто 66 нефтяных месторождений (в том числе одно нефтегазоконденсатное), из которых разрабатывается только 39. Общие ресурсы *нефти* оцениваются в 356,6 млн т. Добыча нефти в 2004 г. в объеме 1,8 млн т обеспечивает только 40 % потребностей страны в нефтепродуктах. Попутного *газа* в республике ежегодно добывается 230–240 млн м<sup>3</sup>.

Месторождения бурого *угля* находятся также в Припятском поле. Прогнозные запасы всех углепроявлений составляют 1,3 млрд т, а запасы трех разведанных месторождений угля составили 158,8 млн т. Однако залежи угля пока не разрабатываются из-за сложных горно-геологических условий залегания и экологических проблем. Так, например, Житковичское месторождение оказалось практически в черте города, в 700–800 м от жилых домов. Поэтому уголь импортируется в количествах примерно 1 млн т ежегодно. При решении экологических

вопросов имеются реальные предпосылки обеспечить добычу 4–5 млн т угля в год.

*Горючие сланцы* (низкокалорийное твердое топливо) разведаны в Припятском бассейне (Любанское и Туровское месторождения). Прогнозные запасы оцениваются в 11 млрд т. Однако добыча считается не рентабельной из-за низкого содержания органической составляющей (10–28 %). Требуется применение рациональных технологий по комплексной переработке горючих сланцев, включая негорючую массу.

Около 12,4 % территории Беларуси покрыто торфяниками. Всего выявлено (на 01.01.2000 г.) более 9 тыс. месторождений *торфа*, эксплуатируется около 100 месторождений. Промышленные запасы торфа составляют 2,5 млрд т, прогнозируемые ресурсы – 3 млрд т. Годовая добыча на топливные нужды в последние годы составила 2,0–2,3 млн т. Кроме того, торф широко используется в сельском хозяйстве (в качестве органического удобрения) и в грязелечении.

Оценивая наличие всех имеющихся в Беларуси горючих ПИ, необходимо отметить их недостаточность для удовлетворения потребностей хозяйства страны ни на сегодня, ни в ближайшем будущем. Обеспеченность собственными энергоресурсами в 2000 г. оценивалась в 7,6 %.

## **2. Полезные ископаемые для получения металлов**

Промышленная добыча ПИ для получения металлов на территории Беларуси пока не ведется, хотя наличие железных и цветных руд подтверждено геологической разведкой.

Выявлено два месторождения *железной руды* и 10 рудопроявлений, промышленный ресурс которых оценен в 230 млн т. Главным рудным минералом является магнетит ( $Fe_3O_4$ ). Содержание железа в руде оценено в 15–20 %. Освоение месторождений затруднено сложными горно-геологическими и гидро-геологическими условиями залегания руд. Рентабельность освоения возможна при переходе на новейшие ресурсосберегающие технологии, включающие комплексное использование отходов производства.

Разведано месторождение *алюминиевой руды*, промышленные ресурсы которого оценены в 125,3 млн т. Главными рудными на алюминий минералами в этом месторождении являются: (а) давсонит (алюмокарбонат натрия), он же единственный содовый минерал – сырье для получения и алюминия, и соды. Содержание давсонита в руде



достигает 63 %; (б) бокситовые минералы (гиббсит, нордстрандит и бемит). Всего по Беларуси прогнозные ресурсы алюминиевого сырья оцениваются в 2,6 млрд т. Промышленное освоение разведанных запасов алюминиевой руды сдерживается из-за отсутствия рентабельного метода их добычи.

На территории Беларуси обнаружены проявления и других цветных металлов: меди, молибдена, никеля, титана, циркония, вольфрама, ниобия, тантала, лантана, церия, бериллия. Проявления *золота* установлены на севере, юге и центральной части республики. Они представлены концентрациями самородного золота размером меньше 0,1 мм. В южной части Гомельской обл. обнаружены породы с повышенным содержанием золота: концентрации составляли максимум десятые доли грамма на тонну породы.

Таким образом, в перспективе на территории Беларуси возможна добыча и черных, и цветных металлов.

### **3. Ископаемые соли**

Месторождения солей (каменных и калийных) также находятся на территории Припятского бассейна. По количеству запасов *калийных солей* Беларусь занимает 3-е место в мире после Канады и России, а производимые калийные удобрения являются важнейшим экспортным продуктом. Общие запасы калийных солей оцениваются в 80 млрд т, из них промышленные – около 7 млрд т. Всего разведано два месторождения калийных солей, одно из которых (Старобинское) разрабатывается: на его базе с 1949 г. работает ПО «Беларуськалий». Основными минералами калийных залежей являются сильвин (KCl) и карналлит ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ), которые формируют сильвинитовые породы (KCl + NaCl) или породы смешанного сильвин-карналлит-галитового ряда. Сильвиниты бывают от бледно-розовых до темных и кирпично-красных, обычно полосчатые и слоистые. Добыча калийных солей ведется шахтным методом с глубины до 1000 м (450–950 м).

Запасы *каменной соли* на территории Беларуси практически не ограничены. Промышленные ресурсы разведанных месторождений оцениваются около 22 млрд т. Из разведанных трех местонахождений разрабатывается только одно – Мозырское. Каменная соль (минерал галит, NaCl) извлекается методом подземного растворения через наземные рассолодобывающие скважины с глубины 699–734 м (12 скважин, ОАО «Мозырьсоль»). Объем добычи в настоящее время составляет около 260 тыс. т/г. Работающий на месторождении солеваренный ком-

бинат по выпуску поваренной соли сорта «Экстра» удовлетворяет потребности республики только на 50 %. В случае освоения новых месторождений с лучшими горно-геологическими условиями (меньшей глубиной залегания, большей мощностью пластов) Беларусь может стать крупным экспортером поваренной соли.

#### 4. Карбонатные породы

Карбонатное сырье представлено доломитами, мелом, мергельно-меловыми породами, пресноводными известняковыми отложениями. Выявлен ряд месторождений *доломитов* ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), общий ресурс которых оценивается почти в 750 млн т. Но эксплуатируется только одно месторождение – Руба (Витебская обл.). Месторождение разрабатывается открытым карьерным способом: разработчик – ПО «Доломит». Добыча составляет 8 млн т (на 1990 г.). Основной продукт – доломитовая мука. Обеспеченность Беларуси – 100 %.

На территории Беларуси выявлено 18 мергельно-меловых месторождений, добывающих *цементное сырье*. Запасы этих месторождений оценены в 851 млн т, из них разрабатываются только шесть. На их базе действуют ПО «Кричевцементошифер», ПО «Волковыскцементошифер» и др., которые выпускают около 5 млн т цемента в год и полностью удовлетворяют потребность Беларуси в этом продукте. Цементные заводы обеспечены разведанными запасами на длительную перспективу.

Разведано 32 месторождения *мела* общим ресурсом в 207 млн т. Разработанные 5 месторождений обеспечивают мел в основном для производства извести и меловой муки, для нужд сельского хозяйства (известкование почв).

Открыты крупные месторождения *пресноводных известковых отложений*, которые на сегодня пока не разрабатываются.

#### 5. Глины и каолины

*Легкоплавкие глины* применяются для производства кирпича, черепицы, цемента, дренажных труб, керамзита и т. д. Их сырьевая база представлена 227 месторождениями с общими запасами около 300 млн м<sup>3</sup>. Разрабатываются из них только 103 месторождения, которые добывают около 3,5 млн м<sup>3</sup> в год. На их базе работает 119 кирпичных заводов. Кирпичные глины имеют характерный красно-бурый цвет и преимущественно гидрослюдистый состав.

*Тугоплавкие и огнеупорные глины* применяются для производства тугоплавкого кирпича, облицовочной плитки, канализационных труб и т. д. Промышленные запасы шести разведанных месторождений таких глин составляют 52,9 млн т. Из них разрабатываются только три. Цветность этой глины от серой до черной. Состав: гидрослюдино-монтмориллонитовый.

Выявлено четыре месторождения *каолинов*, суммарные запасы которых составляют около 3,5 млн т. Цвет белорусских каолинов от светло-серых, зеленоватых до желтых. Состав: преимущественно каолинит. Разработка разведанных месторождений не ведется из-за низкосортности белорусских каолинов: большого содержания песчано-гравийных примесей и красящих веществ: оксидов железа, марганца, титана и др. Поэтому на сегодняшний день белорусская фарфорово-фаянсовая промышленность, годовая потребность которой в каолине составляет около 20 тыс. т, работает на импортном сырье. Использование новейших технологий обогащения каолинов может дать возможность для перехода фарфорово-фаянсовой промышленности на отечественное сырье, запасов которых достаточно.

Известно месторождение *глинистой охры* (красящей глины). Она содержит до 20 %  $Fe_2O_3$  и может применяться для изготовления красок и эмалей (цвет от ярко-желтого до золотистого).

## **6. Пески и песчано-гравийные отложения**

Открыто два месторождения *стекольных песков*, ресурсы которых составляют 18,1 млн т. Стекольные пески – чистые кварцевые пески (до 99,8 %  $SiO_2$ ) белого цвета. Особо вредными для стекольного сырья являются окрашивающие примеси (Fe, Cr, Ti). Разрабатывается только одно месторождение, добывающее около 170 тыс. т песка для стекольных заводов Беларуси. По качеству добываемые пески пригодны для производства оконного и тарного стекла. Для получения хрусталя требуются более качественные пески либо применение более эффективных технологий обогащения сырья.

Разведано три месторождения *формовочных песков* с общими промышленными запасами 36,9 млн т. Из них разрабатывается только одно. Формовочные пески применяются в литейном производстве для изготовления литейных форм. Потребность металлургических предприятий в формовочных песках более высокого качества (около 200 тыс. т ежегодно) пока обеспечивается за счет импорта из Украины.

Запасов *строительных песков* достаточно для удовлетворения потребностей строительной индустрии. Разведано 100 месторождений

с общими промышленными запасами 476 млн м<sup>3</sup> песка. Разрабатывается 39 месторождений с ежегодной добычей около 7 млн м<sup>3</sup> песка. Эти пески используются в основном для производства бетона и силикатных изделий.

К наиболее крупным предприятиям-потребителям строительных песков относятся: Оршанский комбинат силикатных изделий, Гомельский завод силикатного кирпича, Минский завод силикатных изделий, Гродненский комбинат строительных материалов, Могилевский комбинат силикатных изделий.

Промышленные ресурсы 153 месторождений *песчано-гравийных смесей* составляют 685,4 млн м<sup>3</sup>. Из них разрабатываются 95 месторождений, которые полностью обеспечивают предприятия данным сырьем.

## **7. Естественные строительные и облицовочные камни**

На территории Беларуси разведано три месторождения *строительного камня* с общими промышленными запасами около 580 млн м<sup>3</sup>. Два месторождения разрабатываются ПО «Гранит» и щебнезаводом «Глушкевичи». По составу строительные камни представлены гранитами, диоритами, гранодиоритами, диабазами, гнейсами и другими породами. Ежегодная добыча около 5 млн м<sup>3</sup> идет в основном на производство щебня.

ПО «Гранит» разрабатывает и месторождение *облицовочного камня*. Промышленные запасы декоративного камня (мигматит – сложная горная порода из смеси магмы и посторонних твердых включений) составляют 3,3 млн м<sup>3</sup>. Ежегодная добыча его составляет 14 тыс. м<sup>3</sup>. Кроме того, на территории Беларуси выявлено проявление мрамора.

## **8. Полезные ископаемые для получения сельскохозяйственных удобрений**

Известно около 350 залежей *сапропелей*, прогнозируемые ресурсы которых превышают 2,6 млрд т. Сапропель – органический ил на дне озера – является высокоценным сырьем в качестве удобрений и лечебных грязей.

В Беларуси разведано около 250 месторождений *вивианита* (фосфорнокислая соль закисного железа), являющегося ценным комплексным удобрением. Их разработка возможна силами местных агропредприятий.

Установлено четыре месторождения *фосфоритов* с общим промышленным запасом около 5 млн т, которые пока не разрабатываются, хотя годовая потребность в фосфоритах составляет около 100 тыс. т. Разработка месторождений тормозится отсутствием рациональных технологий добычи.

Прогнозные ресурсы месторождения *гипса* составляют 1 млрд т. Гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) и ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ ) используются для производства сульфата аммония (ценного азотного удобрения) и применяются в строительном деле (строительный гипс, облицовочные плиты и др.). Потребность Республики в этом виде сырья, оцениваемая в 90–100 тыс. т в год, пока реализуется за счет импорта. Требуется проведение детальной разведки и технико-экономического обоснования разработки.

## **9. Полезные ископаемые, перспективные для дальнейшего изучения**

*Янтарь* – минерал класса органических соединений, ископаемая смола хвойных деревьев, драгоценный ювелирно-поделочный камень. Прогнозные ресурсы выявленного месторождения янтаря (Брестская обл.) оцениваются в десятки тонн. Требуется продолжение проведения геологоразведочных работ.

На территории Беларуси выявлены четыре площади, перспективные для поиска *алмазов*. Прогнозные ресурсы не просчитывались.

Новым перспективным видом полезных ископаемых в Беларуси является *мореный дуб* (аналог черного дерева), который высоко ценится на мировом рынке. Древесина деревьев, попавших в воду рек и занесенных донными отложениями, через сотни лет превращается в мореную и становится ценным полезным ископаемым. По прогнозным ресурсам, на территории Беларуси находится 800 тыс. м<sup>3</sup> мореного дуба.

## Тема № 5

### Черные металлы и сплавы

---

1. Две основные группы металлов. Определение черных металлов и сплавов.
  2. Сплавы Fe + C. Сталь, чугун (определения).
  3. Общее и различие в химическом составе, структуре и свойствах стали и чугуна.
  4. Классификация и маркировка стали.
  5. Классификация и маркировка чугунов.
- 

#### 1. Две основные группы металлов. Определение черных металлов и сплавов

Все металлы разделяют на две группы: черные и цветные.

К *черным* металлам относят железо и его сплавы: сталь и чугун. На долю черных металлов приходится более 90 % всей массы применяемых металлов. Основное *достоинство* черных металлов – они обладают достаточной прочностью, чтобы использоваться как основной конструкционный материал, в сочетании с относительно невысокой себестоимостью (по сравнению со стоимостью большинства цветных металлов). Железо (Fe) – четвертый по распространенности в земной коре элемент (после O, Si, Al, см. табл. 3.5). Содержание железа в земной коре – 4,5 %, температура плавления ( $T_{пл}$ ) = 1539 °C.

#### 2. Сплавы Fe + C. Сталь, чугун (определения)

В зависимости от содержания углерода в сплаве различают три сплава железа с углеродом:

*Техническое железо*: сплав Fe + C, содержащий углерода менее 0,02 % (самый «чистый» сплав на основе железа). Технически чистое железо имеет весьма ограниченное применение – в электротехнике для изготовления сердечников и якорей электрических машин.

*Сталь*: сплав Fe + C, содержащий углерода от 0,02 % до 2,14 %. Из всех металлов и сплавов сталь является наиболее применимым машиностроительным и конструкционным материалом благодаря оптимальному сочетанию характеристик.

*Чугун*: сплав Fe + C, содержащий углерода от 2,14 % до 4,5 %. Несмотря на то что чугуны дешевле сталей, они значительно уступают сталям по свойствам и широте применения.

### 3. Общее и различие в химическом составе, структуре и свойствах стали и чугуна (табл. 5.1)

Таблица 5.1

Характеристика сравнения	Общее и различие	Характеристика сплавов	
		Сталь	Чугун
Химический состав	Общее	Fe + C + примеси (Mn, Si, P, S) + легирующие добавки (Cr, Mo, W, Ti...). <i>Легирующая добавка</i> – искусственно добавляемый элемент для придания материалу особых свойств. Пример: нержавеющая сталь (Fe + C + Cr + Ni). <i>Примеси</i> – вещества, остаточные от сырья (руды)	
	Различие	C: 0,02 % – 2,14 %, примесей меньше	C: 2,14 % – 4,5 %, примесей больше
Структура	Общее	Кристаллическая зернистая структура	
	Различие	«С» расположен в порах кристаллической решетки Fe. Таким образом образуется твердый раствор углерода в железе (феррит, перлит)	«С» находится самостоятельно в виде: а) самостоятельного минерала (графита); б) химического соединения Fe <sub>3</sub> C (карбида)
Свойства	Общее	Механическая прочность, твердость, электро-, теплопроводность	
	Различие	Более пластичный, (гибкий) сплав	Более хрупкий, твердый сплав
Технологические свойства	Общее	Льется (обрабатывается литьем)	
	Различие	Хорошо обрабатывается давлением (куется, штампуется)	Давлением не обрабатывается

### 4. Классификация и маркировка стали

Стали классифицируют:

– по способу производства: мартеновские, конверторные и электростали;

– по назначению: конструкционные, инструментальные и специальные (нержавеющие, жаростойкие и др.);

– по химическому составу: легированные (содержащие легирующие добавки) и нелегированные (углеродистые, легирующих добавок не содержат).

Маркировка стали в зависимости от химического состава и назначения:

1) *углеродистая сталь* (нелегированная), если она обыкновенного качества, обозначается буквами «Ст» и цифрами от 0 до 6, например, Ст0, Ст1. Качественные углеродистые стали маркируют двумя цифрами: 08, 10, 15, где цифра обозначает содержание углерода в сотых долях %;

2) *легированная сталь* маркируется цифрами и буквами: цифры перед буквами обозначают содержание углерода в сотых долях, буквы обозначают легирующие элементы (например: Н – никель, К – кобальт, Т – титан, Х – хром и т. д.), цифра после букв обозначает содержание легирующего элемента в %. Если содержание углерода больше 1 %, то цифра вначале не ставится. Пример: Х23Н20 (С – более 1 %, Cr – 23 %, Ni – 20 %. Что составляет остальные 56 %?).

## **5. Классификация и маркировка чугунов**

Чугуны классифицируют в зависимости от того, в каком состоянии в сплаве находится углерод.

1. *Белый чугун*. Углерод находится в виде карбида ( $Fe_3C$ ). 90 % всего выплавляемого чугуна – белый. Из белого чугуна не делается ни одно изделие, но он используется в качестве сырья для производства стали. Название «белый» чугун получил от цвета излома.

2. *Серый чугун*. Углерод содержится в виде пластинок графита. Название «серый» получил от цвета излома. Маркировка: СЧ20-40, где 20 – предел прочности при растяжении; 40 – предел прочности при изгибе.

3. *Ковкий чугун* получают из белого чугуна с помощью дополнительной термообработки. Углерод находится в виде хлопьев графита. Маркировка: КЧ60-3, где 60 – предел прочности; 3 – относительное удлинение при разрыве.

4. *Высокопрочный чугун* получают из серого чугуна добавлением марганца (Mn) или цезия (Ce). Углерод находится в виде шаровидного графита. Маркировка: ВЧ45-5, где 45 – предел прочности при растяжении; 5 – относительное удлинение при разрыве.



## Тема № 6

### Цветные металлы

---

1. Достоинства и недостатки цветных металлов.
  2. Классификация цветных металлов.
  3. Алюминий и сплавы на основе алюминия.
  4. Медь и сплавы на основе меди.
  5. Титан, магний, золото.
- 

#### 1. Достоинства и недостатки цветных металлов

*Достоинства:* обладают уникальными свойствами, которыми черные металлы не обладают, поэтому используются там, где нельзя применить черные металлы.

*Недостатки:* большинство цветных металлов (кроме алюминия) достаточно редки и дороги.

#### 2. Классификация цветных металлов

К цветным относятся все металлы, за исключением железа. Их можно разделить на следующие группы:

– *легкие* (имеют малый удельный вес): алюминий (Al, плотность 2,7 г/см<sup>3</sup>); титан (Ti); бериллий (Be); магний (Mg, самый легкий, плотность 1,74 г/см<sup>3</sup>) и др. Легкие металлы широко используются в транспортной, особенно в авиационной технике.

– *тяжелые:* медь (Cu, плотность 8,9 г/см<sup>3</sup>); свинец (Pb, плотность 11,7 г/см<sup>3</sup>); никель (Ni); олово (Sn) и др. Имеют широкое применение.

– *редкие:* вольфрам (W); тантал (Ta); молибден (Mo); ванадий (V) и др. Изделия из них в основном не делают, а применяют как легирующие элементы (добавки к другим материалам для получения особых свойств). Редкие металлы тоже можно разделить на группы:

– *редкие радиоактивные:* уран (U); актиний (Ac); торий (Th) и др. применяются как сырье в атомной энергетике.

– *редкие рассеянные:* галлий (Ga); таллий (Tl) и др. не образуют собственных минералов.

– *благородные:* золото (Au); серебро (Ag); платина (Pt); палладий (Pd).

Среди цветных металлов наибольшее значение имеют Al, Cu, Ti, Mg, Au и сплавы на их основе.

### 3. Алюминий и сплавы на основе алюминия

*Алюминий* (Al) – третий по распространенности элемент земной коры (8 %) и первый по распространенности среди металлов. В свободном состоянии не встречается (быстро окисляется на воздухе), но в виде различных алюмосиликатов входит в состав большинства горных пород. Основной минерал, содержащий алюминий – глинозем ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

*Основные свойства:*

- 1) легкость (низкая плотность), пластичность – достоинство;
- 2) относительно невысокая прочность – недостаток.

*Применение:* машиностроение (особенно авиастроение).

*Маркировка:* обозначают буквой А и цифрой, которая указывает на чистоту металла, например А999 (0,001 % примесей).

*Сплавы на основе алюминия:*

1. *Дуралюмины* (дюралюмины): Al + Mg + Cu. Кроме перечисленных основных элементов, дуралюмины также могут содержать небольшое количество железа и кремния. Сверхлегкий и прочный сплав. Имеет широкое применение, особенно в авиации и другом транспортном машиностроении. Маркируют буквой Д. Например, фюзеляж самолета изготавливают из Д16, лопасти винтов – из Д1.

2. *Силумины:* Al + Si (до 14 % кремния). По прочности не уступают некоторым маркам сталей, но значительно легче их. Применяются в машиностроении. Маркируют буквами АЛ. Например, поршни цилиндров изготавливают из АЛ2.

### 4. Медь и сплавы на основе меди

*Медь* (Cu). В природе встречается как в самородном состоянии, так и в виде различных минералов: медный колчедан, медный блеск, малахит и др.

*Основные свойства:*

- 1) высокая тепло-, электропроводность, пластичность – достоинство;
- 2) относительно невысокая прочность – недостаток.

*Применение:* электро-, радиопромышленность (контакты, провода) и др.

*Сплавы на основе меди:*

1. *Латуни:* Cu + Zn (до 40 %). Маркируют буквой Л. Цифра указывает на процентное содержание меди. Например, в Л90 содержится 90 % Cu и 10 % Zn. *Применение:* для изготовления различных металлических изделий.

2. *Мельхиоры*: Cu + Ni. Маркируют буквами МН. Цифра указывает на содержание никеля. Например, в МН30 содержится 30 % Ni, остальное медь. *Применение*: столовые приборы, украшения, медицинский инструмент.

3. *Бронзы*: Cu + другие металлы. Например, Cu + Sn (олово) – оловянистые бронзы (БрО6), Cu + Al – алюминиевые бронзы (БрА5), Cu + Be – бериллиевые бронзы (БрБ5). Буквы Бр указывают на то, что это бронза, а следующая буква – на второй металл в сплаве с медью: О – олово, А – алюминий, Б – бериллий. *Применение*: художественные изделия (памятники) и различные технические детали (подшипники и др.).

## 5. Титан, магний, золото

*Титан (Ti)*:

*Основные свойства*:

- 1) легкость, прочность, термостойкость – достоинство;
- 2) относительно высокая стоимость – недостаток.

*Применение*: обшивки ракет, авиационные двигатели.

*Магний (Mg)*:

*Основные свойства*:

- 1) легкость – достоинство;
- 2) низкая коррозионная стойкость во влажных средах – недостаток.

*Применение*: легирующая добавка в сплавах, сталях и чугунах.

*Золото (Au)*:

Проба указывает на содержание золота. Например, в золоте пробы 583 содержится золота 58,3 %, остальное – медь. Кроме меди в золотых сплавах чаще всего могут применяться также никель (Ni) и серебро (Ag).

*Основные свойства*:

- 1) высокая коррозионная стойкость – достоинство;
- 2) высокая стоимость – недостаток.

*Применение*:

- 1) ювелирная промышленность;
- 2) валютная ценность;
- 3) покрытие в контактах;
- 4) медицина (стоматология).

## Тема № 7

### Способы промышленного получения металлов

---

1. *Определения: металлургия, руда.*
  2. *Общая технологическая цепь получения любого металла.*
  3. *Классификация способов восстановления.*
  4. *Термический способ восстановления металла.*
  5. *Электролитический способ восстановления металла.*
- 

#### 1. Определения: металлургия, руда

*Металлургия* – наука (отрасль промышленности) о промышленных способах получения металлов. Природным сырьем для получения металла является руда. Руда – минеральное сырье, содержащее металлы в количестве, пригодном для их промышленного получения. Руда содержит минералы, которые являются соединениями металла с другими элементами, например соединения металла с кислородом или серой. Технологией извлечения металла из руды является химический процесс *восстановления металла из его соединения* (оксида или другого соединения).

#### 2. Общая технологическая цепь получения любого металла

Общая технологическая цепь получения любого металла (Me) может быть представлена в виде табл. 7.1.

*Таблица 7.1*

Сырье	Технология	Продукт
Руда (например Me + O)	Восстановление	Me

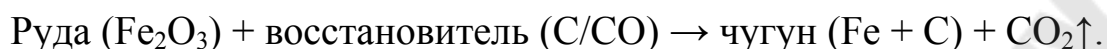
#### 3. Классификация способов восстановления

Различают следующие способы восстановления металла из руды:  
1) термический способ (пирометаллургия), оборудование – печи;  
2) электролитический способ (гидрометаллургия), оборудование – ванны (электролизеры).

#### 4. Термический способ восстановления металла

При восстановлении *термическим способом* руду плавят (под действием высоких температур переводят в жидкое состояние) и обеспечивают ее химическое взаимодействие со специально вводимым в печь компонентом – восстановителем. По виду восстановителя различают два вида термических способов:

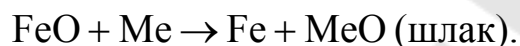
1) *углетермический способ* (углетермия). В качестве восстановителя применяют углерод (С) и его соединения (СО). Например, при производстве чугуна имеет место следующий процесс:



*Достоинства* углетермии: углерод выполняет две функции – он и восстановитель, и топливо.

*Недостаток* углетермии: в условиях высокой температуры углерод всегда будет входить в состав продукта, что бывает неприемлемо;

2) *металлотермический способ* (металлотермия). В качестве восстановителя применяют металл (Ме). Например, при производстве стали происходит следующее:



В качестве металла-восстановителя используют Si, Al, Mn и др., соответственно название способа будет силикотермия (восстановитель Si), алюмотермия (восстановитель Al) и т. д.

*Применение*: для получения металлов с малым содержанием примесей углерода, или вообще не содержащих углерод.

*Достоинства* металлотермии: отсутствие углеродных примесей.

*Недостаток* металлотермии: метод более дорогой по сравнению с углетермическим способом.

## **5. Электролитический способ восстановления металла**

В основе *электролитического способа* лежит процесс электролиза. *Электролиз* – разложение вещества под действием электрического тока.

При восстановлении металла электролитическим способом на первом этапе руду расплавляют или растворяют в электролите (среде, проводящей электрический ток). Прохождение электрического тока через растворы или расплавы электролитов сопровождается электролизом: на катоде происходит восстановление металла (например, алюминия Al, как показано на рис. 7.1), а на аноде – окисление анода (например, графитового стержня:  $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2\uparrow$ ). Таким образом, материал анода является жертвенным: он постепенно сгорает в процессе электролиза.

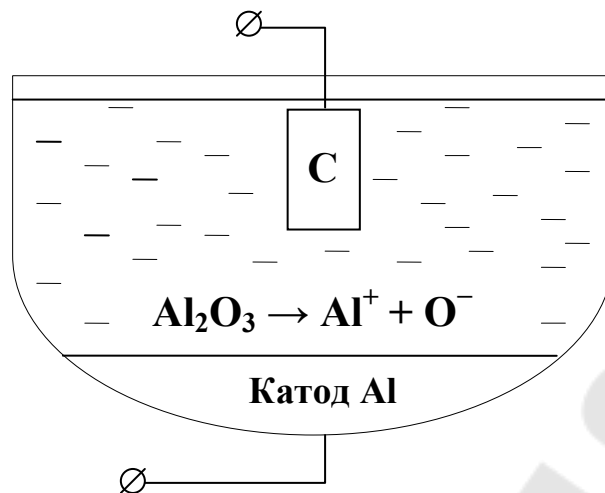


Рис. 7.1. Схема электролитического восстановления алюминия из оксида

*Применение* электролитического способа: если реализация термического способа невозможна или экономически невыгодна (например, термическое восстановление алюминия идет при очень высоких температурах).

*Достоинства* электролитического способа: возможность получения металла, который нельзя получить термическим способом.

*Недостатки* электролитического способа: а) дороже по сравнению с термическим способом, т. к. сопровождается большим расходом электроэнергии; б) методом электролиза труднее управлять.

В металлургии электролитическим способом получают многие металлы (алюминий, магний, натрий и др.), а также используют для очистки содержащих примеси металлов, полученных другими способами.

## Тема № 8

### Производство черных металлов

---

1. Доменное производство чугуна. Общая характеристика домны. Принцип действия домны. Химическая реакция, лежащая в основе доменного производства.
  2. Этапы доменного производства.
  3. Сырье для производства стали.
  4. Реакции, лежащие в основе производства стали.
  5. Способы выплавки стали.
  6. Мартеновский способ производства стали.
  7. Кислородно-конверторный способ производства стали.
  8. Электрический способ производства стали.
  9. Сравнение мартеновского и кислородно-конверторного способов выплавки стали.
- 

#### **1. Доменное производство чугуна. Общая характеристика домны. Принцип действия домны. Химическая реакция, лежащая в основе доменного производства**

Существует два способа производства чугуна: доменное (высокотемпературное) и недоменное (низкотемпературное).

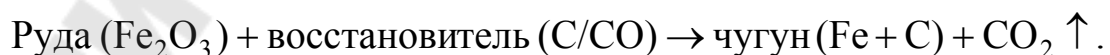
*Доменное* производство чугуна получило название от названия оборудования: плавка чугуна осуществляется в доменных печах.

*Домна* – печь шахтного типа. Шахтой называется оборудование, когда высота намного превышает диаметр. Домны достигают высотой до 40 м.

Производство непрерывное в течение 10–12 лет. Максимальная температура в печи достигает 1750 °С.

Принцип действия домны – противоток: движение шихты и воздуха идет противотоком (рис. 8.1): шихта падает вниз, воздух продувается вверх.

Химическая реакция, лежащая в основе производства – восстановление углеродом (углетермия):



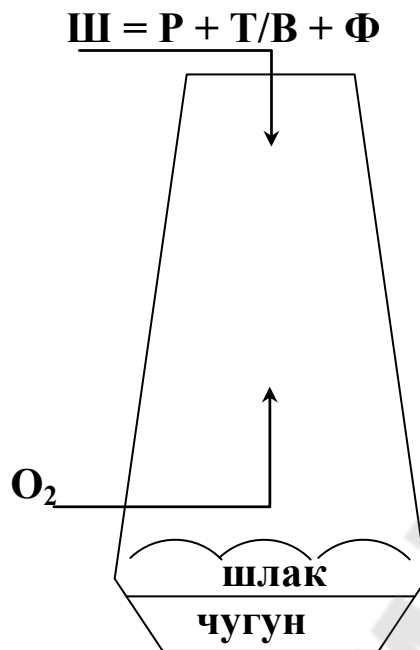


Рис. 8.1. Схема работы доменной печи: Ш – шихта; Р – руда; Т – топливо; В – восстановитель; Ф – флюсы

## 2. Этапы доменного производства

*I этап.* Сверху в печь засыпается сырье в виде шихты (рис. 8.1).

*Шихта* – это смесь в требуемых количествах трех необходимых для плавки компонентов: 1) руда; 2) топливо (восстановитель); 3) флюсы.

*Рудой* для получения чугуна является железняк (магнитный, бурый и т. д.). Самая богатая железом руда – магнитный железняк (Fe до 69 %). Она состоит из минерала магнетита  $Fe_3O_4$  и пустых пород. Количество железа в красном железняке (содержит минерал гематит  $Fe_2O_3$ ) – 62 %, в буром железняке (содержит минерал лимонит  $nFe_2O_3 \cdot mH_2O$ ) – 30–50 %.

*Топливом* в доменном производстве может быть уголь, кокс или метан. Кокс – это продукт спекания каменных углей.

*Флюсы* – материалы для облегчения образования шлаков, например, песок, известняк.

*II этап.* Кислород или воздух, подогретый до температуры 1000 °С, подается противотоком шихте из нижней части печи вверх.

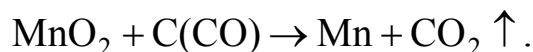
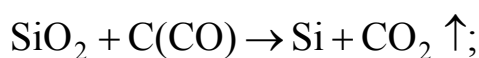
*III этап.* В результате противотокового движения (шихта двигается вниз, а воздух/кислород – вверх) происходят следующие процессы:

- а) горение топлива:  $C(\text{кокс}) + O_2 \rightarrow CO_2 + Q$ ;
- б) восстановление Fe из оксида:



Руда ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) + восстановитель (C/CO)  $\rightarrow$  чугуна ( $\text{Fe} + \text{C}$ ) +  $\text{CO}_2 \uparrow$ ;

в) восстановление примесей, которые содержались в руде:



*IV этап.* Получение продуктов доменного производства: чугуна и шлака.

*Шлак* – продукт сплавления пустых пород и примесей.

Выпуск чугуна происходит через соответствующее отверстие каждые 2 ч; выпуск шлаков – каждый час. Отверстие для выпуска шлака находится выше отверстия для выпуска чугуна, т. к. шлак легче чугуна и он плавает на поверхности жидкого металла.

### 3. Сырье для производства стали

Основное сырье для производства стали – *белый чугун*, дополнительное сырье – металлолом, железная руда.

Чтобы из чугуна получить сталь, необходимо, как видно из табл. 8.1, уменьшить содержание углерода (C) и свести содержание примесей Si, Mn, P и др. к минимуму.

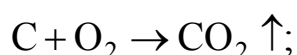
Таблица 8.1

Сравнение состава чугуна и стали

Химический элемент	Чугун	Сталь
C	2,14–4,5 %	0,02–2,14 %
Si, Mn	до 2 %	до 0,2 %
P	до 2,5 %	до 0,07 %

### 4. Реакции, лежащие в основе производства стали

1. Окисление («выжигание»):



$\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow \text{FeO}$  (остаётся в печи для последующего восстановления).

2. Восстановление (процесс производится только после удаления шлаков. Почему?).

Восстановление происходит по способу металлотермии, т. е. восстановителем является металл (Si, Mn). В сталеплавлении этот процесс называется раскислением, а восстановители называются раскислителями:  $\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{Fe} + \text{MnO}$  (шлак).

## 5. Способы выплавки стали

Существует 3 основных («классических») способа выплавки стали. Принципиально они отличаются по виду используемого тепла: мартеновский, кислородно-конверторный и электрический способы.

## 6. Мартеновский способ производства стали

*Мартеновский способ* производства стали предложен в 1864 г. французом П. Мартеном.

*Особенность* мартеновского способа: для плавки используется теплота горения топлива (природный газ, мазут).

*Характеристика* мартеновского производства: производство непрерывное; продолжительность плавки 8–16 ч; максимальная температура в печи 1900 °С; длительность работы печи 300–1000 плавков (1–1,5 года). Оборудование – мартеновская печь (рис. 8.2), которая имеет форму ванны (диаметр больше, чем высота).

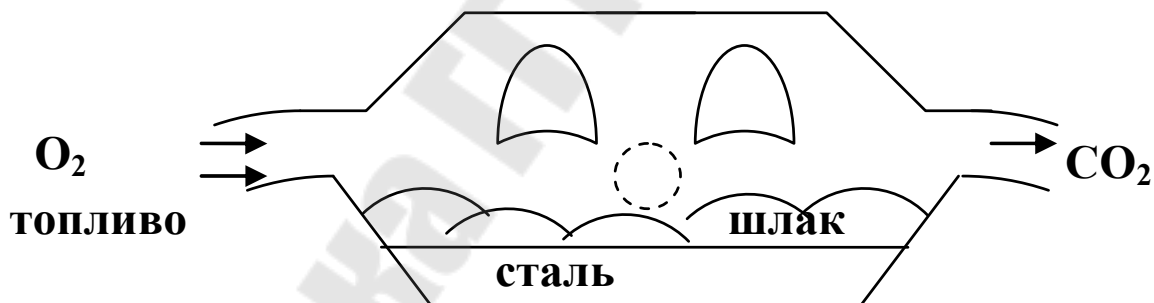
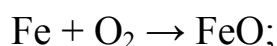


Рис. 8.2. Схема мартеновской печи. Сверху два окна для загрузки металлического сырья и одно окно для выгрузки готовой стали

*Принцип работы мартеновской печи (этапы мартеновского производства):*

1. Загрузка шихты (твердый чугун, стальной металлолом и флюсы) через загрузочные окна.
2. Подача в печь топлива и воздуха через торцевые отверстия, горение топлива в воздухе ( $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + Q$ ), в результате чего выделяется энергия  $Q$ , необходимая для плавления шихты.

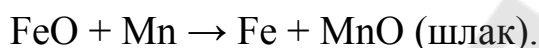
3. Плавление и окисление шихты (Fe, Si, Mn и др.):



4. «Кипение» – выделение в виде пузырьков образующегося газа  $\text{CO}_2$  в результате окисления углерода чугуна:  $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 \uparrow$ .

5. Выпуск шлаков ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  и др.).

6. Восстановление Fe («раскисление»):



7. Введение легирующих добавок (если необходимо).

8. Контроль плавки. На протяжении плавки берут пробы металла для экспресс-контроля состава стали в лабораториях.

9. Корректировка состава стали (если необходимо).

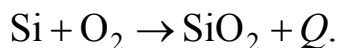
10. Выпуск шлака.

11. Выпуск стали.

## 7. Кислородно-конверторный способ производства стали

*Кислородно-конверторный способ* производства стали (метод «продувки», Бессемеровский способ) – предложен англичанином Бессемером в 1856 г. Но в XIX в. этот способ распространения не получил и был вытеснен мартеновским.

*Особенность* кислородно-конверторного способа: для плавки не используется топливо, т. к. в качестве сырья применяется уже горячий жидкий чугун, а температура в печи повышается только за счет теплоты внутренней реакции окисления. Наибольшее количество тепла выделяется при окислении кремния, фосфора и марганца, которые содержатся в виде примесей в чугуне, например:



*Характеристика* кислородно-конверторного производства:

Производство – прерывное. Продолжительность плавки – 20–50 мин в зависимости от емкости конвертора (40 т – 20 мин, 350 т – 50 мин). Сырье – горячий жидкий чугун. Оборудование – конвертор: печь в виде сосуда грушевидной формы (рис. 8.3).

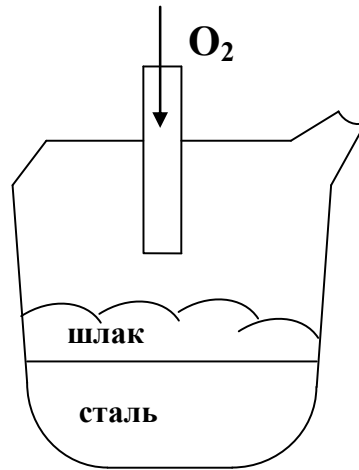
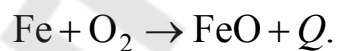
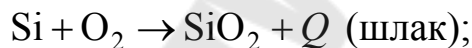


Рис. 8.3. Схема кислородного конвертора. Сверху – фурма для подачи кислорода. Сбоку – окно для выгрузки стали

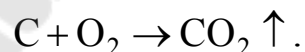
*Принцип работы конверторной печи (этапы производства):*

1. Загрузка шихты (горячий жидкий чугун и флюсы).
2. Опускание фурмы (трубка для подачи  $O_2$ );
3. Подача кислорода под давлением 0,3 МПа, окисление Fe, Si, Mn и шлакообразование ( $SiO_2$ , MnO):



Этот этап длится от 3 до 6 мин.

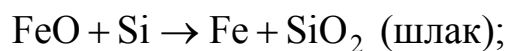
4. Окисление углерода, который содержится в чугуне:

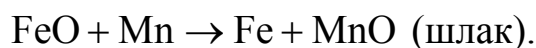


Горение углерода сопровождается ослепительно белым пламенем и длится 5–16 мин (в зависимости от содержания углерода в чугуне).

5. «Период дыма». Период интенсивного окисления железа сопровождается появлением бурого дыма. Это контрольный этап. Как только появляется бурый дым – процесс продувки кислородом прекращается.

6. Поднятие фурмы.
7. Слив шлака.
8. Восстановление железа из оксида (раскисление) по механизму металлотермии:





9. Взятие пробы для экспресс-анализа.
10. Поворот конвертора.
11. Слив вторичного шлака и стали.

### 8. Электрический способ производства стали

По электрическому способу для плавления чугуна используется теплота электрической энергии. Оборудование – электропечь.

### 9. Сравнение мартеновского и кислородно-конверторного способов выплавки стали

В табл. 8.2 представлена сравнительная характеристика основных способов выплавки стали.

Таблица 8.2

**Сравнительная характеристика мартеновского и кислородно-конверторного способов выплавки стали**

Характеристика сравнения	Мартеновский способ		Кислородно-конверторный способ	
	достоинства	недостатки	достоинства	недостатки
Время плавки	16 ч: за это время есть возможность контроля состава стали и можно получить любую по составу сталь	16 ч: низкая производительность	20–40 мин: высокая производительность	За 20–40 мин невозможно проконтролировать состав стали
Используемое топливо	Так как используется топливо, то можно перерабатывать любое сырье: твердый чугун, металлолом	Необходимы расходы на топливо	Топливо не используется, значит не нужны расходы на топливо	Ограничения по сырью: в качестве сырья можно использовать только горячий белый чугун

## Тема № 9

### Производство цветных металлов

---

1. Основные технологии получения цветных металлов.
  2. Производство алюминия.
  3. Производство меди.
  4. Производство золота.
  5. Технологическая цепь получения цветного сплава на примере бронзы.
- 

#### 1. Основные технологии получения цветных металлов

Наиболее часто применяемая технология получения цветного металла из руды – электролитическая. Причем электролиз может применяться и как основная технология восстановления металла, и для очистки чернового металла. Так, например, чисто электролитическим способом получают Al, Mg, Na и другие металлы.

Для получения таких металлов, как титан, хром, цинк, олово, свинец, используют и *термический способ* (для получения чернового металла), и *электролитическую очистку чернового металла*. Причем для получения олова и свинца в качестве восстановителя применяют углерод (углетермия), для получения титана – восстановитель магний (магнетермия), для получения хрома – восстановитель алюминий (алюмотермия).

#### 2. Производство алюминия

Сырьем для получения алюминия являются алюминиевые руды – горные породы, содержащие оксид алюминия (глинозем): бокситы (до 60 %  $Al_2O_3$ ), нефелины (до 30 %  $Al_2O_3$ ), алуниты и каолины (до 20 %  $Al_2O_3$ ). Технологический процесс получения алюминия можно разделить на два основных этапа:

*I этап.* Получение глинозема  $Al_2O_3$  из руды путем отделения пустых пород одним из известных способов (щелочным, кислотным или термическим). Например, при щелочном способе руду измельчают и обрабатывают в NaOH для расслоения компонентов руды.

*II этап.* Из глинозема ( $Al_2O_3$ ) методом электролиза извлекают алюминий. Для этого глинозем растворяют в расплаве криолита ( $Na_3AlF_6$ ) при температуре 1000 °C и через полученный расплав пропускают электрический ток, под действием которого катионы алюминия восстанавливаются на катоде, а анионы кислорода – на угольном аноде. Оборудование – ванна; производство непрерывное (2–3 года).

### 3. Производство меди

Сырьем для получения меди являются медные руды: сульфидные (например, медный колчедан) и оксидные. Медные руды содержат относительно небольшое количество меди. Так, руды, содержащие более 3 % меди, уже считаются богатыми. Поэтому процесс получения меди включает много этапов и может быть представлен в виде табл. 9.1.

Таблица 9.1

Технологическая цепь получения меди

С	Т	Пр	Т	Пр	Т	Пр	Т	Пр
Медная руда 3–5 % Cu	Термическая обработка. Печь шахтного типа	Ога-рок	Термическая обработка. Печь марте-новско-го типа	Шт е й н 50 % Cu	Термическая обработка. Печь конвер-терного типа	Чер-новая медь 98 % Cu	Элек-тро-лиз	Чис-то-вая медь

### 4. Производство золота

Сырьем для получения золота является золото самородное или золотосодержащие руды – горные породы, содержащие минералы, в состав которых входит золото. Всего известно более 30 золотосодержащих минералов. Но даже самородное золото не состоит из чистого металла. Так, например, серебросодержащее самородное золото называется электрум и может содержать 15–50 % серебра и примеси меди и железа. Кроме того, золото бывает медистое (содержит до 20 % меди), палладистое (содержит 5–11 % палладия и 4 % серебра) и др. До 20 % золота содержит самородное серебро (кюстелит). Кроме собственных минералов, золото встречается и как примесь в других минералах, например, в малахите, пирите и др.

Известны следующие технологии извлечения золота:

1. *Амальгамирование* – способ извлечения Au с помощью ртути. Для этого золотосодержащую породу измельчают и смачивают ртутью, в результате Au образует амальгаму (AuHg) и в таком виде отделяется от пустой породы. На следующем этапе ртуть удаляется в результате разложения амальгамы при нагревании.

2. *Хлорирование* – способ, при котором С1 пропускается через измельченный рудный концентрат, в результате чего образуется хлорид золота, который затем вымывают водой.

3. *Цианирование* – способ, при котором рудный концентрат обрабатывается раствором NaCN, в результате чего золото переходит в раствор. Далее цианистый раствор отделяют от остальной породы фильтрацией. И на заключительном этапе производят осаждение Au из раствора либо с помощью цинковой пыли, либо активированными углями.

Процесс получения Au высокой пробы (процесс очистки) получил название *аффинаж*. Он бывает трех видов:

*Электролитический аффинаж* – осаждение чистого металла на катоде; при этом примеси выделяются в виде шлама.

*Мокрый аффинаж* – растворение в царской водке и выделение золота различными реагентами.

*Сухой аффинаж* – обработка расплавленного металла – хлором. При этом все неблагородные металлы образуют хлориды и улетучиваются, а хлорид серебра всплывает на поверхности чистого расплавленного Au.

## 5. Технологическая цепь получения цветного сплава на примере бронзы

Общая технологическая цепь получения цветного сплава на примере бронзы может быть представлена в виде табл. 9.2.

Таблица 9.2

С	Т	Пр	Т	Пр
Медная руда	Термическая и электролитическая обработка	Медь (Cu)	Сплавление Cu + Sn	Бронза
Оловянистая руда		Олово (Sn)		



## Тема № 10

### Технология получения изделий из металлов. Заготовительное производство

1. Общая технологическая цепь получения изделий из металлов.
2. Виды заготовительного производства.
3. Литье. Определение, достоинства и недостатки, применение.
4. Способы литья.
5. Обработка металлов давлением. Определение, достоинства и недостатки, применение.
6. Виды ОМД.
7. Холодная листовая штамповка.
8. Спекание металлических порошков. Этапы производства.
9. Достоинства спеченных материалов.

#### 1. Общая технологическая цепь получения изделий из металлов (Ме)

Таблица 10.1

С	Т	Пр	Т	Пр	Т	Пр
Ме	Заготовительное производство: – литье; – ОМД; – спекание металлических порошков; – другие	За- гото- вка З	Обрабатывающее производство: – термическая обработка; – механическая обработка (резанием); – химическая обработка; – электрическая обработка; – плазменная, лазерная и др.	Де- таль Д	Сборочное производство (сборка)	Сбо- рочное изделие, например, машина

#### 2. Виды заготовительного производства

К основным заготовительным производствам относятся:

- литейное производство (литье);
- обработка металлов давлением (ОМД);
- спекание металлических порошков (порошковая металлургия);
- резка.

### **3. Литье. Определение, достоинства и недостатки, применение**

*Литейное производство* – производство изделий (отливок) путем заливки расплавленного металла в полую форму, воспроизводящую форму изделия.

Теоретически все металлы можно лить. Но чаще всего применяют литье для получения заготовок из малопластичных металлов (например, чугун, бронза, силумин).

*Достоинства* литья: 1) простота; 2) доступность для всех металлов; 3) стоимость отливок ниже стоимости поковок; 4) возможность получения деталей больших размеров и сложной формы (например: Царь-колокол, 20-метровые стволы орудий, станины станков).

*Недостатки* литья: 1) более низкие прочностные характеристики из-за наличия пустот-раковин и других литейных дефектов (за исключением отливок, полученных особыми способами литья); 2) литые детали более тяжелые.

*Применение* литья:

1) для изделий технически неответственных (урны, ванны, памятники, люки);

2) для изделий, которые получить методом обработки металлов давлением невозможно либо из-за малопластичности материала (например, чугунные детали только льются), либо из-за больших размеров (например, Царь-колокол), либо из-за сложной конфигурации (например, корпуса двигателей в машине);

3) для изделий, работающих в статике (например: станины станков, памятники, урны и т. д.).

### **4. Способы литья**

*Литье в разовые песчано-глинистые формы* – основной, наиболее распространенный способ литья.

Основные этапы технологии:

I. Приготовление модели изделия. Модель соответствует (копирует) отливаемой детали по форме, но больше по размеру, из-за последующей усадки металла. Изготавливать модели могут, например, из дерева.

II. Приготовление песчано-глинистой формы. Материал формы: песок + глина + масло/жидкое стекло.

Для приготовления формы производят следующие операции:

– приготавливают формовочную смесь (смешиванием песка, глины и жидкого стекла);

- вдавливают модель в формовочную смесь (или смесью засыпают модель);
- сушат форму вместе с моделью (температура до 350 °С);
- вынимают модель из уже сухой формы.

Формы готовятся либо в полу литейного цеха, либо в специальных ящиках (опоках).

III. Расплав металла и заливка его в форму.

IV. Выбивка отливки из формы после застывания металла (при этом форма разрушается).

*Достоинство*: самый дешевый способ.

*Недостатки*: 1) форма разовая (разрушается при выбивке); 2) качество отливки низкое (низкая точность размеров, высокая шероховатость поверхности).

*Применение*: в основном для технически неответственных деталей.

Существуют и другие способы литья, например, *литье в металлические формы* («кокиль»). Кокиль – металлическая форма, изготовленная из стали или чугуна. *Достоинство* литья в кокиль: более высокое качество получаемой отливки (выше точность размеров, поверхность отливки менее шероховатая). *Недостаток* литья в кокиль: это более дорогой метод, по сравнению с литьем в разовые песчано-глинистые формы. Кроме того, известны *непрерывное литье*, *литье под давлением*, *центробежное литье* и другие способы.

## **5. Обработка металлов давлением. Определение, достоинства и недостатки, применение**

*Обработка металлов давлением* (ОМД) – получение заготовок и изделий путем деформирования металла в холодном или горячем состоянии. Давлением обрабатываются только пластичные металлы и сплавы (дуралюмины, медь, сталь, золото, латунь).

*Достоинство* ОМД: механические свойства штампованных деталей выше, чем литых.

*Недостатки* ОМД: 1) стоимость поковок выше, чем отливок; 2) ограниченность применения по размеру изделия (методом ОМД нельзя получить очень большие изделия); 3) ограниченность применения по материалу (ОМД обрабатываются только пластичные металлы).

*Применение* ОМД: В современном автомобиле около 80 % деталей получено штамповкой (один из видов ОМД).

## **6. Виды ОМД**

*По температуре обрабатываемого металла различают*:

- холодную ОМД;
- горячую ОМД.

В зависимости от лежащего в основе ОМД процесса различают следующие основные виды ОМД:

а) прокатка – деформирование металла вращающимися валками (рис. 10.1, а);

б) волочение – протаскивание металла через волоку (рис. 10.1, б). Волока – инструмент для волочения;

в) ковка – деформирование металла ударами молота или прессы (рис. 10.1, в);

г) штамповка – придание формы металлу с помощью штампа (рис. 10.1, г, д).

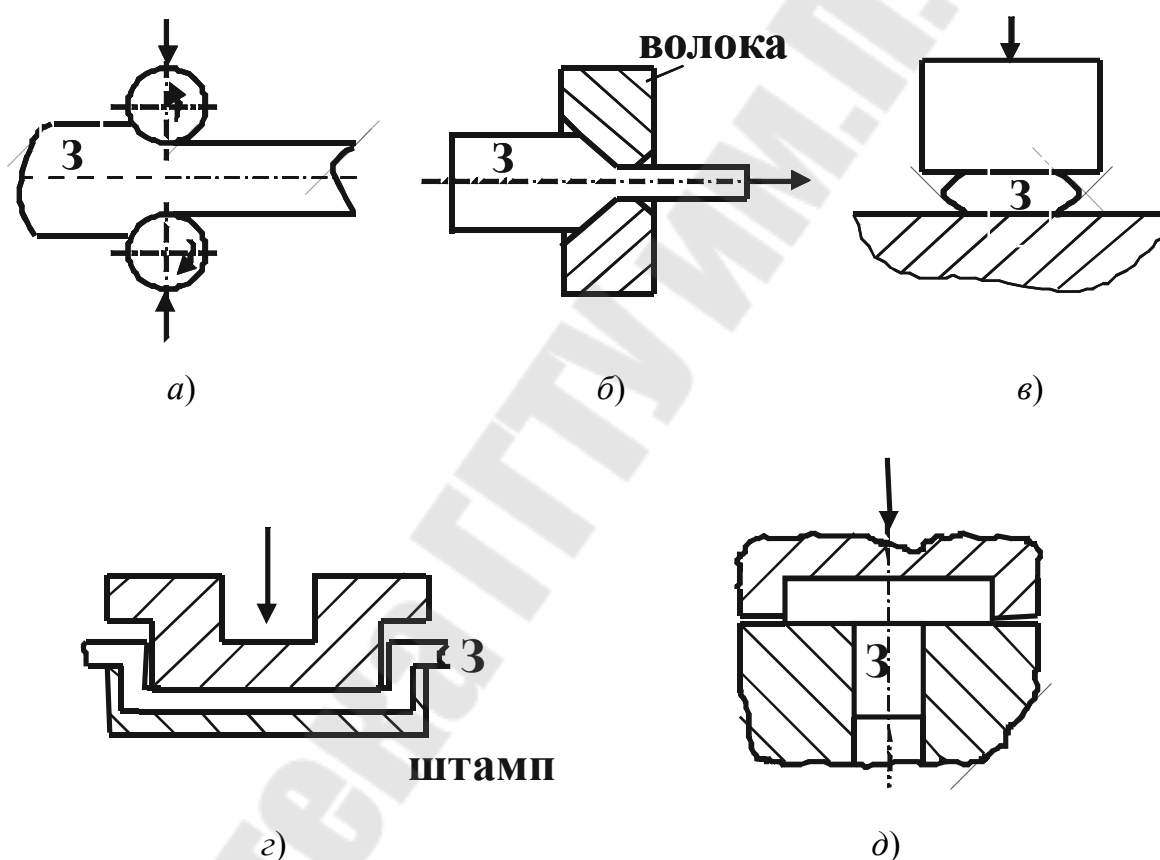


Рис. 10.1. Схемы основных видов обработки металлов давлением:

а – прокатка; б – волочение; в – ковка; г – листовая штамповка;

д – объемная штамповка. Обозначения: З – заготовка

Длинномерные изделия, такие, как, например, листы, трубы, могут быть получены только прокаткой. Волочение, как правило, используется для уменьшения диаметра изделия, полученного прокаткой, например, проволоки.

Характеристика основных видов ОМД приведена в табл. 10.2.

## Основные виды ОМД

Вид ОМД	Оборудование, инструмент	Изделие	Применение
Прокатка	Прокатный стан	Прокат: листовой, трубный, проволочный, сортовой простой (круг, квадрат и т. д.), сортовой фасонный (рельс, швеллер, угловой, тавр и т. д.)	75 % всей стали идет на изготовление проката. Основное применение проката – строительство
Волочение	Волочительный стан. Инструмент – волока	Проволока, прутки	Основное применение – строительство
Ковка	Кузнечное оборудование: наковальня, ковочные молота, пресса	Поковка	Детали крупных размеров (ручная ковка), детали единичного и мелкосерийного производства (когда штамповка экономически не оправдана)
Штамповка: – объемная; – листовая	Пресс. Инструмент – штамп	Поковка	Детали серийного и массового производства. 80 % деталей в современном автомобиле – штампованные

Ковка и штамповка может быть применима для получения одних и тех же изделий, поэтому выбор конкретного метода осуществляется исходя из достоинств и недостатков каждого из них, которые отражены в табл. 10.3.

## Сравнениековки и штамповки

Характеристика сравнения	Ковка	Штамповка
Простота	«+» более простой вид ОМД	«-» более сложный вид ОМД, т. к. требуется специальный инструмент – штамп
Себестоимость	«+» более низкая себестоимость	«-» более высокая себестоимость (из-за дополнительной стоимости штампа)

Характеристика сравнения	Ковка	Штамповка
Ограничение по весу	«+» куются заготовки весом до 250 т	«-» штампуются изделия весом до 350 кг
Производительность	«-» низкая	«+» высокая
Точность заготовки	«-» низкая	«+» высокая
Требуемая квалификация рабочего	«-» требуется высокая квалификация рабочего	«+» не требуется высокая квалификация рабочего

## 7. Холодная листовая штамповка

*Холодная листовая штамповка* – наиболее экономичный и прогрессивный метод изготовления деталей. Заготовкой для листовой штамповки является листовая прокат. Различают два вида операций листовой штамповки:

1) *разделительные* операции: а) вырубка (отделение детали по контуру от листовой заготовки); б) пробивка (получение отверстий) и др.;

2) *формообразующие* операции: а) гибка (изменение угла); б) чеканка (выдавливание рисунка); в) формовка (изменение формы листа); г) вытяжка (более глубокая формовка для получения полостных деталей) и др.

Примеры операций листовой штамповки для производства отдельных изделий:

Вилка: вырубка + гибка.

Монета: вырубка + чеканка.

Ложка: вырубка + формовка.

Кастрюля: вырубка + вытяжка.

## 8. Спекание металлических порошков. Этапы производства

Этапы производства заготовок (изделий) методом спекания:

*I этап.* Получение металлического порошка (чаще всего измельчением).

*II этап.* Приготовление смеси (композиции) перемешиванием всех компонентов материала в необходимых пропорциях до достижения однородности состава.

*III этап.* Формование (прессование). На этом этапе изделие принимает требуемую форму, чаще всего методом прессования.

*IV этап.* Спекание. В зависимости от температуры различают:

– спекание в твердой фазе, когда температура спекания ниже температуры плавления материала порошка;

– спекание в жидкой фазе, когда температура спекания выше температуры плавления.

*Цель* спекания – получение требуемой прочности и твердости изделия. Оборудование для спекания – печь. Время спекания – 1–2 ч.

## 9. Достоинства спеченных материалов

1. Экономичное использование металла, т. к. не требуется дополнительная механическая обработка.

2. Возможность получения изделий из тугоплавких металлов, таких как Ti ( $t_{пл} = 1668 \text{ }^\circ\text{C}$ ), V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, W ( $t_{пл} = 3400 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

3. Возможность получения твердых сплавов.

*Твердый сплав* – материал, состоящий из тугоплавкого наполнителя и металлической связи (рис. 10.2).

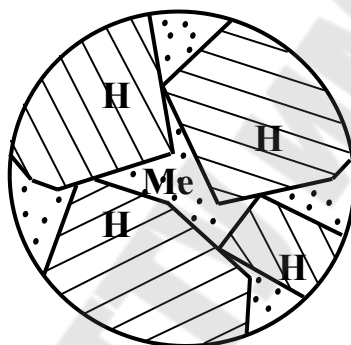


Рис. 10.2. Структура твердого сплава: Н – зерна наполнителя; Ме – металлическая связка

Например, в вольфрамовом твердом сплаве ВК6 буквы означают состав: В – наполнитель вольфрам (W), К – связка кобальт (Co). Цифра обозначает содержание кобальта в %.

*Достоинство* твердых сплавов – высокая твердость и износостойкость.

*Недостаток* твердых сплавов – хрупкость.

*Применение* твердых сплавов – режущий инструмент.

4. Возможность получения уникальных композиционных материалов, которые другими методами получить нельзя:

а) композиции металлов с различными свойствами. Например, сплавы W + Cu, W + Pb литьем получить невозможно из-за сильно отличающихся теплофизических свойств компонентов:  $t_{пл}(W) = 3410 \text{ }^\circ\text{C}$ , а  $t_{пл}(Cu) = 1084 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{кип}(Cu) = 2360 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{пл}(Pb) = 327 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{кип}(Pb) = 1755 \text{ }^\circ\text{C}$ . Таким образом, при температуре, когда вольфрам только начнет плавиться, медь и свинец уже испарятся и улетят;

б) композиции металл+пластик. Например, магнито-диэлектрик – материал, состоящий из частиц магнитного железа, связанных полиэтиленовой матрицей (Fe + ПЭ), или магнитографитовые щетки (Cu + С) для электродвигателей.

5. Получение пористых металлов. Наличие пор – особенность спеченных материалов. Причем пористость можно варьировать от нескольких до 60 %. Такие высокопористые материалы применяются для производства фильтров и подшипников. Для получения беспористых (компактных) материалов применяют спекание в жидкой фазе.

6. Получение точных деталей (не требующих последующей обработки).

7. Получение высококачественных материалов с абсолютно однородной структурой. Если сравнить качество сплавленных и спеченных материалов одинакового состава и плотности, то спеченные материалы окажутся более качественными, т. к. обладают более высокой прочностью, износостойкостью и жаропрочностью. Причины более высокого качества – отсутствие неоднородности состава, ориентации в структуре, вредных примесей, которые свойственны для плавленных материалов.

*Недостаток* спеченных материалов – высокая стоимость.



## Тема № 11

### Технология получения изделий из металлов. Обработывающее производство

1. Механическая обработка.
2. Термическая обработка (ТО).
3. Химико-термическая обработка (ХТО).
4. Физическая обработка.
5. Электрохимическая (гальваническая) обработка.

#### 1. Механическая обработка

*Механическая обработка* – обработка металлов резанием (обработка со снятием стружки). Цель механической обработки – получение необходимой формы, размеров детали и чистоты поверхности (шероховатости). Оборудование – металлорежущие станки (МРС). Описание основных видов механической обработки представлено в табл. 11.1 и на рис. 11.1.

Таблица 11.1

#### Наиболее распространенные способы механической обработки

№	Способ	Применение	Движение	Станок	Инструмент
1	Точение	Для обработки цилиндрических деталей	Вращение цилиндрической детали	Токарный. Пример: 16К20	Резец
2	Сверление	Для получения и обработки отверстий	Вращение инструмента, деталь неподвижна	Сверлильный. Пример: 2Н135	Сверло, зенкер, развертка и др.
3	Шлифование	Для уменьшения шероховатости поверхности	Вращение инструмента	Шлифовальный. Пример: 3К227	Шлифовальный круг
4	Фрезерование	Для обработки поверхностей, получения отверстий и др.	Вращение инструмента	Фрезерный. Пример: 6Р13К	Фреза

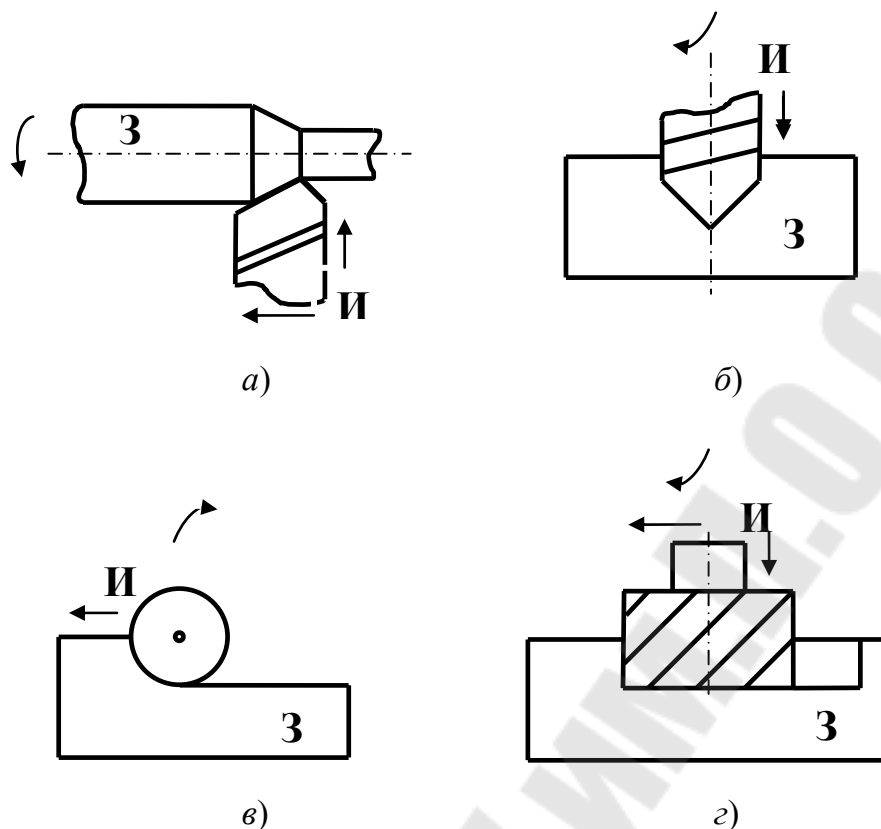


Рис. 11.1. Схемы основных видов механической обработки металлов:  
 а – точение; б – сверление; в – шлифование; г – фрезерование.  
 Обозначения: З – заготовка; И – инструмент

Первая цифра в маркировке станков указывает на назначение (группу) станка:

1 – токарные; 2 – сверлильные; 3 – шлифовальные; 4 – электрофизические, электрохимические; 5 – зубо-, резьбообрабатывающие; 6 – фрезерные; 7 – строгальные; 8 – разрезные; 9 – разные.

Например: 16К20 – токарный станок, 6Р13 – фрезерный станок, 2М125 – сверлильный станок.

## 2. Термическая обработка

Термическая обработка (ТО) – обработка металлов, включающая процессы:

- 1) нагрев;
- 2) выдержка при определенной температуре;
- 3) охлаждение.

Эти процессы можно изобразить графически в виде рис. 11.2.

Цель любой термической обработки – изменение структуры и свойств материала.



Рис. 11.2. Схема термической обработки

В зависимости от температуры нагрева, времени выдержки, скорости охлаждения различают четыре основных вида ТО: отжиг I рода, отжиг II рода (нормализация), закалка и отпуск (старение). Например, закалка – это нагрев и очень быстрое, резкое охлаждение. Применяется закалка для повышения твердости поверхности.

### 3. Химико-термическая обработка

*Химико-термическая обработка (ХТО)* – насыщение поверхности металла инородными элементами (рис. 11.3).

*Цель ХТО* – изменение химического состава и структуры поверхности для придания ей необходимых свойств.

*Оборудование* – печь, в которой может поддерживаться среда – источник насыщающего поверхность элемента. Таким образом, условием, необходимым для проведения ХТО, является наличие элемент-содержащей среды и высокая температура. При высокой температуре происходит диффузия (перемещение) элемента из среды вглубь детали.

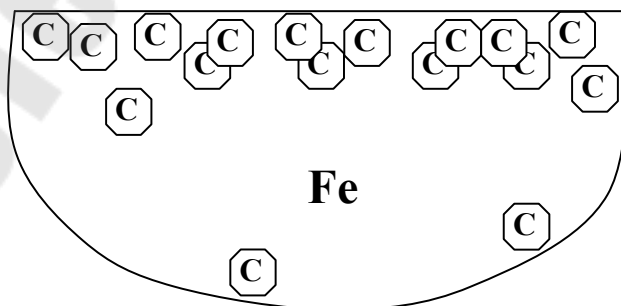


Рис. 11.3. Структура стального образца после насыщения поверхности углеродом (цементация)

*Основные виды ХТО:*

– *цементация* – насыщение поверхности углеродом. *Цель* – повышение твердости поверхности. *Среда-источник* углерода – кокс или метан.

– *азотирование* – насыщение поверхности азотом. *Цель* – повышение твердости поверхности. *Среда-источник* азота – аммиак.

– *цианирование* – насыщение поверхности углеродом и азотом одновременно. *Цель* – повышение твердости и коррозионной стойкости поверхности. *Среда-источник* – расплав NaCN.

– *хромирование* – насыщение поверхности хромом. *Цель* – повышение коррозионной стойкости поверхности.

#### **4. Физическая обработка**

*Физическая обработка* – обработка поверхности физическими методами: ультразвуком, лазером, плазмой и т. д. Простейшая физическая обработка – нанесение покрытия распылением (окрашивание пульверизатором).

*Цель* физической обработки – придание поверхности особых свойств (декоративных, защитных и т. д.).

#### **5. Электрохимическая (гальваническая) обработка**

*Электрохимическая (гальваническая) обработка* – нанесение на поверхность гальванических покрытий методом электролиза. Оборудование – гальваническая ванна (рис. 11.4).

*Цель* – придание поверхности особых свойств (повышение износостойкости, коррозионной стойкости). Применение – хромирование ножей, никелирование хирургического инструмента и т. д.

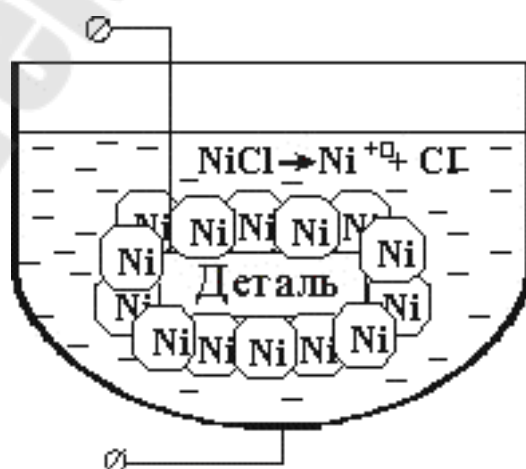


Рис. 11.4. Схема гальванического никелирования поверхности детали

## Тема № 12

### Материалы из нерудных горных пород: изделия из известняка/мела

1. Основные нерудные горные породы для производства искусственных материалов.
2. Основные виды строительных вяжущих на основе известняка.
3. Сравнительная характеристика вяжущих.
4. Применение вяжущих.
5. Технология изготовления вяжущего (по этапам).
6. Технологическая цепь изготовления вяжущего.
7. Бетон.
8. Силикатные материалы и технология их получения.
9. Технология получения белого кирпича.

#### 1. Основные нерудные горные породы для производства искусственных материалов

Минеральный состав горных пород, используемых для производства искусственных материалов, представлен в табл. 12.1.

Таблица 12.1

#### Характеристика горных пород для производства искусственных материалов

Название ГП	Название минерала	Формула
Известняк (мел)	Кальцит	$\text{CaCO}_3$
Глина	Каолинит и др.	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Песок	Кварц	$\text{SiO}_2$
Гипс (гипсовый камень)	Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

#### 2. Основные виды строительных вяжущих на основе известняка

Основные изделия из известняка (мела) – строительные вяжущие и материалы на их основе.

*Строительное вяжущее* – материал, способный при добавлении воды твердеть и превращаться в камень (камнеподобное вещество).

Существует четыре основных вида строительных вяжущих на основе известняка (мела):

- 1) *известь негашеная*:  $\text{CaO}$ ;
- 2) *известь гашеная (гидратная)*:  $\text{Ca(OH)}_2$ ;

3) *известь гидравлическая*:  $\text{CaO}$  + искусственные минералы (белит  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ,  $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ );

4) *цемент* ( $\text{CaO}$  + искусственные минералы (алит  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , белит  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , целит  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

В зависимости от состава смеси искусственных минералов различают много видов цементов. Самый распространенный – *портландцемент* (> 90 % всех цементов). Название «портландцемент» идет от названия города в Англии (г. Портланд), где добывали серый камень, на который по внешнему виду очень похож застывший цемент.

### 3. Сравнительная характеристика вяжущих

Таблица 12.2

Сравнительная характеристика вяжущих

Характеристика	Известь негашеная	Известь гашеная	Известь гидравлическая	Цемент
	Воздушные вяжущие		Гидравлические вяжущие	
Условия работы	Затворение водой (+ $\text{H}_2\text{O}$ ). При смешивании с водой образуется пластическая масса, способная со временем твердеть и сохранять форму. При этом негашеная известь гасится в течение 10–14 дней			
Условия затвердевания	Смесь твердеет только в воздушно-сухой среде в результате испарения воды и взаимодействия с $\text{CO}_2$ воздуха: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . Таким образом, восстанавливается первичный известняковый камень		Смесь твердеет в любой среде (и сухой, и водной), т. к. механизм затвердевания другой: образуются камнеподобные гидроалюмосиликаты, которые срачиваются между собой: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 + 2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSiO}_5(\text{OH})_n + \text{CaSiO}_4(\text{OH})_n + \text{Ca}_2\text{AlO}_4(\text{OH})_n$	
Скорость схватывания и затвердевания	Медленнее, чем цемент, быстрее, чем гашеная известь	Медленно	Быстро: схватывание (45 мин–12 ч), твердение (1–28 суток)	
Прочность образовавшегося камня после затвердевания	2 МПа	1–2 МПа	2–5 МПа	20–60 МПа
Пластичность смеси после затворения водой	Пластичная	Не пластичная	Пластичная	Пластичная

Характеристика	Известь негашеная	Известь гашеная	Известь гидравлическая	Цемент
	Воздушные вяжущие		Гидравлические вяжущие	
Достоинства	Пластичность; самое дешевое вяжущее; прочность и скорость затвердевания выше, чем у гашеной извести	Не требует гашения; дешевле цемента	Прочность; твердеет в любой среде	Самое прочное вяжущее; пластичное; твердеет в любой среде
Недостатки	Твердеет только в сухой среде; требует гашения; прочность невысокая	Медленное схватывание, низкая прочность; непластичность	Дороже гашеной и негашеной извести; прочность ниже цемента	Дороже всех остальных вяжущих

#### 4. Применение вяжущих

Используются для приготовления растворов при кладке кирпича и блоков и растворов для штукатурки (состав строительного раствора: 1 часть вяжущего + 2,5 части песка +  $H_2O$ ); для приготовления бетонов.

#### 5. Технология изготовления вяжущего (по этапам)

*I этап. Приготовление смеси (шлама).*

*Шлам* (известняк + глина + вода) приготавливается дроблением составляющих в дробилках и добавлением воды до получения однородной массы. В зависимости от соотношения в смеси известняка и глины получают различные вяжущие (рис. 12.1).



Рис. 12.1. Состав сырья для получения строительных вяжущих

II этап. Обжиг в печах (шахтного типа). Основные характеристики обжига представлены в табл. 12.3.

Таблица 12.3

**Характеристики обжига**

Характеристика	Гашеная, негашеная известь	Гидравлическая известь	Цемент
Температура обжига	1000 °С неполное спекание	1000 °С неполное спекание	1300–1500 °С полное спекание сырьевых компонентов
Продукт обжига $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$	CaO	CaO + искусственные минералы: $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (белит), $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	<i>Клинкер:</i> камнеподобная спеченная смесь, состоящая из CaO и искусственных минералов: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (алит), $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (белит), $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (целит)

III этап. Помол и гашение (табл. 12.4).

Таблица 12.4

**Содержание третьего этапа для различных вяжущих**

Гашеная известь	Гидравлическая, негашеная известь	Цемент
Гашение извести: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$	Помол	1) вылеживание (10–14 суток): $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$ (из воздуха) $\rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ , 2) помол

**6. Технологическая цепь изготовления вяжущего**

Таблица 12.5

**Технологическая цепь производства вяжущих на основе извести**

Сырье	Т	Пр	Т	Пр	Т	Пр
Известняк более 94% (примесей не более 6%)	Дробление + $\text{H}_2\text{O}$	Шлам	Обжиг в печах при 1000 °С: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$	Известь негашеная комовая CaO	Помол	Негашеная известь CaO, «кипелка»
					Гашение	Гашеная известь «пушонка» – $\text{Ca}(\text{OH})_2$



Сырье	Т	Пр	Т	Пр	Т	Пр
Известняк 80–94 % + + глина 6–20 %	Дробление + H <sub>2</sub> O	Шлам	Обжиг при 1000 °С CaCO <sub>3</sub> → CaO + + CO <sub>2</sub> ↑. Образование искусственных минералов	Смесь CaO + искус. минералы (белит и др.)	Помол	Гидравлическая известь
Известняк 75–80 % + + глина (20–25 %)	Дробление + H <sub>2</sub> O	Шлам	Обжиг при 1300–1500 °С CaCO <sub>3</sub> → CaO + + CO <sub>2</sub> ↑. Образование искусственных минералов и их полимеризация	клинкер CaO + + искус. минералы (алит и др.)	Вылеживание, помол	Цемент (портланд- цемент)

## 7. Бетон

*Бетон* – искусственный каменный материал, получаемый в результате твердения смеси: вяжущее + H<sub>2</sub>O + наполнитель.

*Вяжущие*, применяемые для производства бетона: цемент, гипс, асфальт, полимер-цемент.

*Заполнители* бетона: песок, гравий, щебень (для тяжелых бетонов), шлаки металлопроизводства, пемза, керамзит (для легких бетонов).

*Применение* бетонов:

- 1) несущие конструкции зданий: стены, перекрытия, стойки, полы;
- 2) дорожные покрытия.

*Железобетон* – разновидность бетона, в котором в монолитное целое соединены затвердевший бетон и стальная арматура.

## 8. Силикатные материалы и технология их получения

Основной представитель силикатных материалов – *известково-песчаный кирпич* (белый кирпич).

Сырье для производства белого кирпича: негашеная известь CaO (10 %) + кварцевый песок SiO<sub>2</sub> (90 %).

Такая смесь в естественных условиях твердеет медленно, и изделия из нее размокают, имеют низкую прочность (1–2 МПа), т. к. песок в естественных условиях химически не взаимодействует с известью.

Для химического связывания SiO<sub>2</sub> и CaO применяют специальную автоклавную обработку (паром под давлением).

## 9. Технология получения белого кирпича

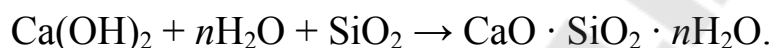
*I этап.* Приготовление известково-песчаной смеси: песок 90 % + + известь 10 %.

*II этап.* Гашение извести – выдержка увлажненной смеси в бункере 1–4 ч, где происходит реакция  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ .

*III этап.* Формование кирпича-сырца (оборудование – пресс; продукт: кирпич-сырец).

*IV этап.* Автоклавная обработка. Оборудование – автоклав (сосуд, в котором создается давление водяного пара 1,5 МПа, температура 200 °С), время обработки – 8–12 ч.

При высокой температуре и влажной среде происходит химическое взаимодействие между известью и кварцевым песком:



Гидросиликаты кальция срастаются с зернами песка в сплошной твердый камень.

*Применение* белого (силикатного) кирпича: там же, где и красный (керамический) кирпич, за исключением фундаментов печей и конструкций, подверженных воздействию сточных/грунтовых вод.

*Достоинства* белого (силикатного) кирпича: дешевле, чем керамический кирпич, на 25 %.

*Недостатки* белого (силикатного) кирпича: по сравнению с керамическим кирпичом ниже водо- и жаростойкость.

Таблица 12.6

Технологическая цепь производства белого (силикатного) кирпича

Сырье	Т	Пр	Т	Пр	Т	Пр
Известь 10 % + + песок 90 %	Смешивание с $\text{H}_2\text{O}$ , гашение	Силикатная смесь	Прессование	Кирпич-сырец	Автоклавное твердение $P = 1,5 \text{ МПа}$ , $T = 200 \text{ °С}$ , $t = 8\text{--}12 \text{ ч}$	Силикатный кирпич

## Тема № 13

### Материалы из нерудных горных пород: изделия из песка

- 
1. *Стекло. Классификация веществ по способности образовывать стекла. Условия образования стеклянной структуры.*
  2. *Основные свойства стекол. Достоинства и недостатки.*
  3. *Классификация стекол.*
  4. *Сырье для производства стекла.*
  5. *Технология получения стекла и стеклянных изделий.*
  6. *Примеры особых стекол.*
- 

Основными потребителями песка являются:

- *строительные* производства (производство силикатного кирпича, бетонов, строительных растворов, дорожных покрытий);
- производство *песчано-глинистых форм для литья*;
- производство *стекла*.

Первые из перечисленных были рассмотрены ранее. Подробнее остановимся на производстве стекла.

#### **1. Стекло. Классификация веществ по способности образовывать стекла. Условия образования стеклянной структуры**

*Стекло* – твердый, некристаллический материал, полученный в результате переохладения расплава стеклообразующих компонентов.

Все ли вещества при переходе из жидкого состояния в твердое (при остывании) обладают способностью образовывать стекла?

*По способности образовывать стекла* все вещества делятся на три группы:

1. *Стеклообразующие активные*. Например,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{As}_2\text{S}_3$ . Эти вещества при остывании способны образовывать не кристаллическую структуру, а цепочечный каркас, как у жидкости (рис. 13.1).

2. *Стеклообразующие пассивные*. Например:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  – вещества, которые самостоятельно не образуют стеклянный каркас (рис. 13.1), но могут замещать в нем другие оксиды.

3. *Стеклообразующие*. Например:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  – вещества, не участвующие в образовании стеклянного каркаса (рис. 13.1).

При каких условиях образуется стеклянная структура?

Стеклообразующая структура (рис. 13.1) образуется из расплавов только *стеклообразующих* веществ и только *при высокой скорости охлаждения* расплава, когда не успевают появиться даже зародыши кристаллов.

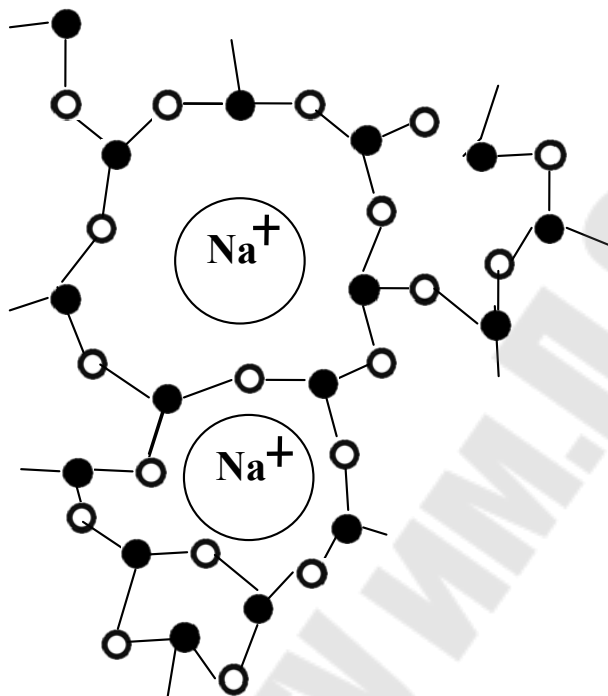


Рис. 13.1. Структура стекол. Цепочечный каркас образуется стеклообразующими веществами. Стеклообразующие вещества (на примере Na) в образовании каркаса не участвуют

## 2. Основные свойства стекол. Достоинства и недостатки

*Достоинства:*

1. Светопрозрачность (в оптических стеклах до 99,9 %; в оконных – 80–90 %).
2. Водо-, газонепроницаемость, шумоизоляция.
3. Химическая стойкость.
4. Высокая механическая прочность.
5. Высокая плотность.
6. Способность к механической обработке (резке).

*Недостатки:*

1. Хрупкость.
2. Некоторые стекла неустойчивы к перепаду температур. Но есть составы очень термостойкие, например, кварцевое стекло стойко к перепаду в 1000 °С.

### 3. Классификация стекол

По химическому составу стекла бывают:

А. Кислородсодержащие (оксидные):

1) *силикатные* стекла (на основе  $\text{SiO}_2$ ).

*Достоинства* силикатных стекол: дешевизна и химическая стойкость. Это наиболее распространенные стекла. Обычные стекла содержат от 60 до 80 %  $\text{SiO}_2$ ; кварцевые стекла содержат до 100 %  $\text{SiO}_2$ ;

2) *боратные* стекла (на основе  $\text{B}_2\text{O}_3$ );

3) *фосфатные* стекла (на основе  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и др.

Б. Бескислородные неорганические стекла:

1) на основе соединений мышьяка ( $\text{As}_2\text{S}_3$ );

2) на основе соединений бериллия ( $\text{BeF}_2$ ) и др.

В. Органические стекла – техническое название оптических прозрачных твердых материалов на основе полимеров (полиакрилаты, полистиролы, поликарбонаты). Например: плексиглас состоит из полиметилметакрилата. Применяются органические стекла в авиа-, автомобиле-, судостроении.

По назначению стекла бывают:

1) *строительные* (оконные стекла, стеклянные блоки и др.);

2) *тарные* (бутылки, банки и др.);

3) *сортовые* (бытовая посуда, художественно-декоративные изделия).

По агрегатному состоянию стекла бывают:

1) *твердые*;

2) *жидкие* (растворимые) – водный раствор смеси силикатов натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) и калия ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ). Получают сплавлением  $\text{SiO}_2$  с карбонатами калия и натрия. Применяют в виде клеев (силикатный клей), для изготовления кислотоупорного цемента и бетона, для пропитывания тканей, приготовления огнезащитных красок по дереву и др.

### 4. Сырье для производства стекла

Как правило, стекло – многокомпонентная система. Компоненты подбираются в зависимости от требуемых свойств и назначения стекла (табл. 13.1).

Например, в состав обычного оконного и посудного стекла входят:  $\text{SiO}_2$  (75 %),  $\text{CaO}$  (7 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (15 %),  $\text{MgO}$  (3 %).

**Компоненты, применяемые для производства стекла**

Компоненты стекла	Значение	Применение	Сырье
SiO <sub>2</sub>	Стеклообразующее, обеспечивает высокую термостойкость, высокую химическую стойкость	Основа всех силикатных стекол. Существуют стекла, содержащие 99,9 % SiO <sub>2</sub> (кварцевые стекла, способные держать термический удар)	Песок кварцевый (SiO <sub>2</sub> )
CaO	Обеспечивает высокую механическую прочность, высокую химическую устойчивость, ускоряет варку стекла	Входит в состав большинства стекол. Существуют материалы, содержащие до 40 % CaO (стекловолокно)	Известняк, мел (CaCO <sub>3</sub> )
MgO	Обеспечивает высокую механическую прочность	Входит в состав большинства стекол	Доломит (Ca, Mg(CO) <sub>2</sub> )
Na <sub>2</sub> O	Понижает температуру варки	Входит в состав большинства стекол. Жидкие стекла содержат 24 % Na <sub>2</sub> O	Сода (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O)
PbO	Улучшает оптические характеристики (светопрозрачность)	В хрусталях содержится 27 %, в оптических линзах – 53 %	Галенит
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Придает высокую жаростойкость	Жаростойкие стекла содержат 25 %	Бокситы, нефелины
F	Светорассеивающий элемент	Матовые (непрозрачные) стекла	Кремнефториды
BaO	Обеспечивает защиту от радиационного излучения	Специальные защитные стекла содержат 30 %	Витерит (BaCO <sub>3</sub> ), барит (BaSO <sub>4</sub> )
CoO, MnO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Цветообразующие соединения	Цветные стекла	Кобальтин, пиролюзит, браунит и др.

**5. Технология получения стекла и стеклянных изделий**

*1 этап.* Приготовление смеси (шихты):

- 1.1. Дробление, сушка компонентов.
- 1.2. Дозирование компонентов.
- 1.3. Смешивание компонентов в смесителях (барabanного типа).

*II этап. Стекловарение.*

Оборудование: печь-ванна (бассейн). Длина печи – 70 м, ширина печи – 10 м, глубина печи – 1,5 м.

Режимы варения. Температура – 1500–1600 °С. Время – до появления прозрачности (55 мин при 1400 °С, 4 мин при температуре 1600 °С).

Процесс стекловарения условно разделяют на несколько стадий:

– *силикатообразование* – термическое разложение компонентов с образованием непрозрачного расплава силикатов;

– *стеклообразование* – растворение остаточных зерен кварца в силикатном расплаве (в обычных силикатных стеклах около 25 % SiO<sub>2</sub> химически в силикаты не связывается);

– *осветление* – удаление из стекломассы газообразных продуктов;

– *гомогенизация* – усреднение стекломассы по составу;

– *«студка»* – охлаждение стекломассы до вязкости, необходимой для формования (700–1000 °С).

*III этап. Формовка* – придание стеклу формы изделия.

Способ формовки зависит от вида изделия:

3.1. *Вытягивание.* Применяется для изготовления листового стекла. Существует 3 разновидности вытягивания: лодочное, безлодочное и флоат-метод. В случае лодочного вытягивания в бассейн с готовой сваренной стекломассой опускают лодочку (брус со сквозным продольным отверстием), в щель лодки вдавливаются стекломасса; на эту стекломассу подвешивают сверху рамку («приманка»); к рамке прилипает стекло и специальная машина вытягивает вверх рамку со стеклом в виде листа. Недостаток лодочного способа: высокая волнистость получаемого стекла и необходимость дополнительной шлифовки и полировки. Наиболее прогрессивный способ получения листового стекла – флоат-метод. По этому методу струя стекломассы подается на поверхность расплавленного олова. Таким образом, горячий металл (олово) играет роль транспортирующей ленты. Длина такого транспортера 800–1200 м.

3.2. *Прессование.* Этим способом получают граненые стаканы, сахарницы, бутылки. Оборудование – пресс.

3.3. *Литье.* Стекломасса заливается в специальные формы. Этот метод формовки применяется редко. Например, для получения крупных оптических объектов астрономического назначения (линзы).

3.4. *Выдувание* (самый древний способ формовки стекла). Этим способом получают сортовую посуду, вазы, изделия сложной формы. Основным инструментом – стеклодувная трубка.

3.4.1. Ручной способ выдувания осуществляется при помощи стекловыдувной трубы.

3.4.2. Машинное выдувание осуществляется при помощи трубки-самодувки.

*IV этап.* Отжиг (термическая обработка). Этот этап состоит из нагрева до 400–600 °С, затем выдержки и медленного охлаждения. Цель отжига – исключить внутренние напряжения, появившиеся в изделии в процессе формовки. При формовке стекло охлаждается неравномерно. В результате неравномерного охлаждения появляются внутренние напряжения, которые могут привести к разрушению изделия.

*V этап.* Дополнительная обработка: нанесение «рисунка», полировка, шлифовка, закалка.

## **6. Примеры особых стекол**

1) *триплекс* – стекло безосколочное (листовой комбинированный материал из 3-х листов, склеенных между собой слоем поливинилбутирала);

2) *пеностекло* (пористый материал для тепло- и звукоизоляции). Поры получаются при добавке в шихту газообразователей, например, мела ( $\text{CaCO}_3$ ) или кокса;

3) *увиолевое* стекло – стекло, пропускающее ультрафиолетовое излучение. В составе таких стекол должны отсутствовать примеси, поглощающие ультрафиолетовое излучение (оксиды хрома, железа, титана и др.). Используются для остекления детских садов, лечебных учреждений.



## Тема № 14

### Материалы из нерудных горных пород: изделия из глины

---

1. *Керамика (определение и классификация).*
  2. *Виды керамики и особенности ее получения.*
  3. *Сырье для производства глиняной керамики.*
  4. *Технологическая цепь производства глиняных керамических изделий.*
- 

#### 1. Керамика (определение и классификация)

*Керамика* (греч. глина) – материалы, получаемые спеканием неметаллического минерального сырья (глины и др.).

Классификация керамики:

– по химическому составу бывает:

1) *оксидная* – на основе оксидов алюминия и кремния (*глиняная керамика*). Например, керамика на основе минерала каолинита:  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ;

2) *безоксидная* – на основе карбидов металлов (*карбидная* MeC); на основе боридов металлов (*боридная* MeB); на основе нитридов металлов (*нитридная* MeN) и др.;

– по назначению керамика бывает:

1) *строительная*: стеновая (красный кирпич), кровельная (черепица), облицовочная (плитка), санитарно-техническая (унитазы, умывальники);

2) *бытовая* (посуда, художественно-декоративные изделия);

– по температуре спекания (*обжига*) керамика бывает:

1) *частично спекшаяся* (температура спекания – 950–1200 °С, структура грубозернистая). Примеры: кирпич ( $t_{\text{спек}} = 950$  °С), плитка ( $t_{\text{спек}} = 1200$  °С);

2) *полностью спекшаяся* (температура спекания – 1250–1400 °С, структура плотная, блестящий излом). Пример: фарфор;

– по структуре:

1) *грубая* (кирпич);

2) *тонкая* (фарфор, фаянс).

#### 2. Виды керамики и особенности ее получения

1. *Фаянс* (температура обжига – 1250 °С).

2. *Фарфор* (температура обжига – 1450 °С). В отличие от всей остальной керамики фарфор не имеет пор. Сырье для получения фарфора – только каолиновая (белая) глина.

3. *Терракота* – цветная керамика с пористым черепком (от бежевого до черного цвета).

4. *Майолика* – керамика с цветными глазурями (цветное покрытие).

### 3. Сырье для производства глиняной керамики

Сырьем для производства глиняной керамики являются глина и добавки, специально вводимые в состав сырья. Глинистая порода, как правило, кроме непосредственно глинистых минералов содержит еще и примеси (табл. 14.1).

Таблица 14.1

Состав глинистой породы

Глина*			Примеси**		
Минерал	Формула	Функция	Минерал	Формула	Функция
Каолинит	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \times 2H_2O$	Образуют при обжиге камне-видный материал, состоящий, например, из прочного муллита: $3Al_2O_3 \times 2SiO_2$	Кремнезем (кварц)	$SiO_2$	Понижает пластичность глиномассы, ускоряет процесс сушки
Монтмориллонит	$(Al, Mg)_2(OH) \times [Si_4O_{10}] \cdot H_2O$		Глинозем	$Al_2O_3$	Повышает огнеупорность
			Гематит	$Fe_2O_3$	Понижает огнеупорность, окрашивает

\* Рыхлая горная порода с размером частиц 0,01–0,001 мм. Состав глин: силикаты, алюмосиликаты, образующие глинистые минералы.

\*\* Рыхлые горные породы с размером частиц 0,01–2 мм. Состав примесей: оксиды, карбонаты.

Добавки специально вводятся в состав керамики либо для придания изделию определенных свойств, либо для облегчения процесса спекания (табл. 14.2).

Таблица 14.2

Добавки в керамическое сырье

Название добавки	Функция добавки	Сырье
Флюсы (плавни)	Понижают температуру спекания	Мел, мрамор, доломит, тальк
Порообразующие	Образуют поры	Молотый мел, угли, деревянные опилки
Цветообразующие	Окрашивают керамику	Оксиды Cr, Fe и др.
Отощающие	Понижают степень усадки сырца	Песок

#### 4. Технологическая цепь производства глиняных керамических изделий

В табл. 14.3 представлен процесс производства глиняных керамических изделий.

Таблица 14.3

<b>С</b>	<b>Т</b>	<b>Пр</b>	<b>Т</b>	<b>Пр</b>	<b>Т</b>	<b>Пр</b>	<b>Т</b>	<b>Пр</b>
Глина (Г), добавки (Д)	Дробление, смешение	Смесь Г + Д	+H <sub>2</sub> O Увлажнение	Глино-масса	Формовка	Сырец	Термическая обработка в печах: сушка; спекание (отжиг) при 900–1450 °С	Керамика

При необходимости, в зависимости от вида керамического изделия, возможно проведение дополнительной обработки, например, покрытие изделия глазурью, декоративной росписью.

## Тема № 15

### Изделия (продукты), получаемые из органических полезных ископаемых, и технологии их переработки

---

1. *Органические полезные ископаемые (ПИ). Происхождение и состав.*
  2. *Классификация нефтей.*
  3. *Технологии переработки твердых органических полезных ископаемых.*
  4. *Технологическая цепь переработки углей.*
  5. *Технологии переработки нефти.*
- 

#### **1. Органические полезные ископаемые (ПИ). Происхождение и состав**

Твердые органические полезные ископаемые (торф, угли, органическая составляющая горючих сланцев) – продукты разложения растений. Конечный продукт этого разложения – чистый углерод. Поэтому по количеству углерода (степени углефикации) можно определить возраст полезного ископаемого.

Самым «молодым» из твердых органических ПИ является *торф*. От почвенных образований торф принято отличать по содержанию в нем органических соединений (не менее 50 % по отношению к абсолютно сухой массе). По мнению ученых, он предшественник генетического ряда углей.

*Угли* – продукты разложения растений, произраставших на земле 50–300 млн лет назад. Из углей самые «молодые» – бурые угли; самые «старые» – антрациты.

*Горючие сланцы* – ПИ, состоящие из двух частей: преобладающей минеральной (кальциты, доломиты, гидрослюда и др., всего 90–70 % от общей массы ПИ) и органической (кероген, 10–30 % от общей массы).

*Нефть*, согласно биогенной гипотезе, образовалась из илистых отложений древних морей (из остатков растительных и животных организмов).

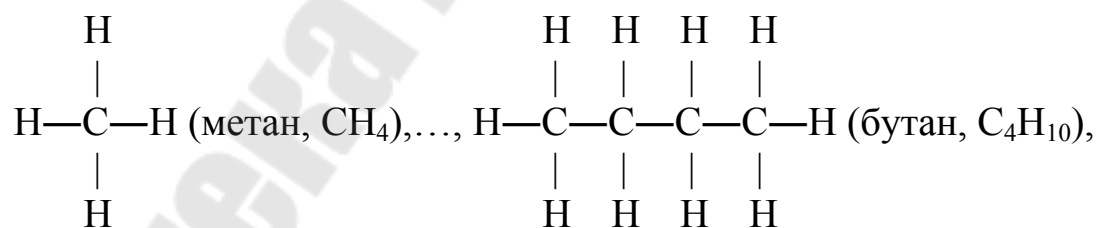
Состав органических полезных ископаемых (ПИ)

Вид органического ПИ	Химический состав, %				
	Органическая часть				Масса неорганического вещества
	С	Н	О	S	
<i>Твердые:</i>					
– торф;	50–65	5–7	30–40	до 2.5	до 50
– горючие сланцы;	60–78	6–10	10–20	1,5–11	90–70
– угли:					
1) бурый	70	4–5,5	20–25	до 6	до 10
2) каменный	80	44–45	10–12	до 3	5
3) антрацит	95	1–2	2–3	до 2	1–3
<i>Жидкие</i> – нефть	87	13	0,2	до 5	доли процента
<i>Газообразные</i> – природный газ	89	11	–	–	–

## 2. Классификация нефтей

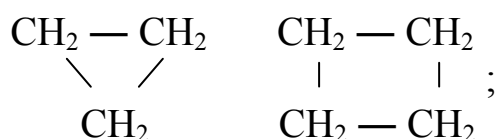
По составу нефть является смесью различных углеводородов. В зависимости от преобладающего вида углеводородов различают нефти:

1) *парафиновые* – преобладают углеводороды линейные насыщенные, которые, в зависимости от длины углеводородной цепочки, могут находиться в газообразном, жидком или твердом состоянии. Например: углеводороды, содержащие в цепи от одного до четырех атомов углерода, т. е. от  $C_1$  до  $C_4$  – газы:



от  $C_5$  до  $C_{15}$  – жидкости, от  $C_{16}$  – углеводороды твердые (растворены в жидкой нефти);

2) *нафтеновые* – преобладают циклические насыщенные углеводороды, например, циклопропан  $C_3H_6$ , циклобутан  $C_4H_8$  и др.:



3) *ароматические* – преобладают ароматические углеводороды, например, бензол ( $C_6H_6$ ), толуол, ксилол и др.;

4) *смешанные*:

а) парафино-нафтеновые;

б) нафтенно-ароматические;

в) парафино-нафтенно-ароматические.

### **3. Технологии переработки твердых органических полезных ископаемых**

*Пиролиз* (сухая перегонка) – нагревание продукта без доступа воздуха.

*Цель* пиролиза: разделение сырья (углей) на три продукта:

(а) твердый продукт – кокс; (б) жидкий продукт – *каменноугольная смола*; (в) газообразный продукт – *коксовый газ*.

*Кокс* – кристаллический, фактически чистый углерод (98 % C). Основное использование кокса – металлургия (75 % кокса используется в доменном производстве в качестве топлива для получения чугуна). *По назначению* кокс разделяют на доменный, энергетический, электродный, литейный.

*Каменноугольная смола* содержит около 300 ценных химических соединений, которые могут быть выделены из нее с помощью различных технологий (табл. 15.2).

*Коксовый газ* – это смесь  $H_2 + CO + CH_4 + H_2S + NH_3$ . Компоненты газа разделяются перегонкой и используются для производства красителей, удобрений и т. д. (табл. 15.2).

Оборудование для пиролиза: печь.

*По температуре* различают 2 вида пиролиза:

1) *высокотемпературный* пиролиз (1000 °C). Сырье – уголь. Продукт – кокс;

2) *низкотемпературный* пиролиз (500 °C). Сырье – горючие сланцы, торф, бурые угли. Продукт – полукокс.

Процесс «коксования» длится 14–17 ч. За ним следует «тушение» кокса – гашение водой или в среде азота и углекислого газа, необходимое, чтобы предупредить самовозгорание кокса.

*Гидрирование* – обработка водородом для получения жидкого топлива.

*Газификация* – превращение твердого продукта в газообразный.

#### 4. Технологическая цепь переработки углей

Технологии переработки и основные продукты, получаемые из углей, обобщены в табл. 15.2.

Таблица 15.2

Технологическая цепь и продукты переработки углей

С	Т	Пр	Т	Пр	Т	Пр
Угли	Пиролиз $T = 500-1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , без доступа $\text{O}_2$	Кокс	–	–	–	–
		Коксовый газ	Перегонка (разделение на фракции)	$\text{CH}_4$ топливо	–	–
				$\text{H}_2$ и $\text{CO}$	Орг. синтез	Метанол, формальдегид (смола)
				Аммиак	Химическое производство	Азотное удобрение
				Бензол	Орг. синтез	Красители и др.
	Каменноугольная смола	Перегонка	бензол, толуол, ксилол, крезол, нафталин-пиридин и др.	Орг. синтез	Красители, фармацевтические препараты, инсектициды, хим. волокна	
Гидрирование	Жидкое топливо	–	–	–	–	
Газификация	Газообразное топливо	–	–	–	–	

#### 5. Технологии переработки нефти:

5.1. *Перегонка* – процесс разделения смеси на составляющие ее компоненты или фракции (табл. 15.3) по принципу разных температур кипения. Этот процесс используется при переработке нефти, каменно-угольной смолы, а также, например, в пищевой промышленности для получения спирта из виноградной браги (рис. 15.1).

**Фракции, на которые разделяется нефть при перегонке  
в ректификационной колонне, и их применение**

Угле- водо- роды	Темпе- ратура кипения, °С	Название фракции	Применение	Технология дальнейшей переработки
C <sub>1</sub> (CH <sub>4</sub> ) ...C <sub>4</sub>	< 20	Газовая	Топливо для метал- лургии и газифика- ции квартир	Алкилирование (для C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )
C <sub>5</sub> ...C <sub>10</sub>	90	Бензиновая	Автомобильное топли- во, растворители	Компаунди- рование
C <sub>11</sub> ...C <sub>12</sub>	200	Лигроиновая (нафта)	Реактивное топливо, растворители	Риформинг
C <sub>13</sub> ...C <sub>17</sub>	250	Керосиновая	Реактивное и дизель- ное топливо	–
C <sub>18</sub> ...C <sub>24</sub>	300	Газойль (легкий и тяжелый)	Дизельное топливо (солярное масло)	Крекинг каталитический
C <sub>25</sub> ...	Выше 385	Мазут: 1) масла (C <sub>25</sub> –C <sub>70</sub> ) + 2) гудрон (C > 70)	Котельное топливо, топливо для газовых турбин	Вакуумная пере- гонка, терми- ческий крекинг

На рис. 15.1 показана схема перегонного аппарата периодического действия, т. е. периодически нужно сливать остатки из бака с сырьем и заливать новую смесь. Перегонка нефти осуществляется в установках постоянного действия, которые называются ректификационными колоннами. В основе принципа действия ректификационной колонны лежит зависимость температуры кипения углеводорода от его состава и строения, например, от длины молекулы (табл. 15.3).



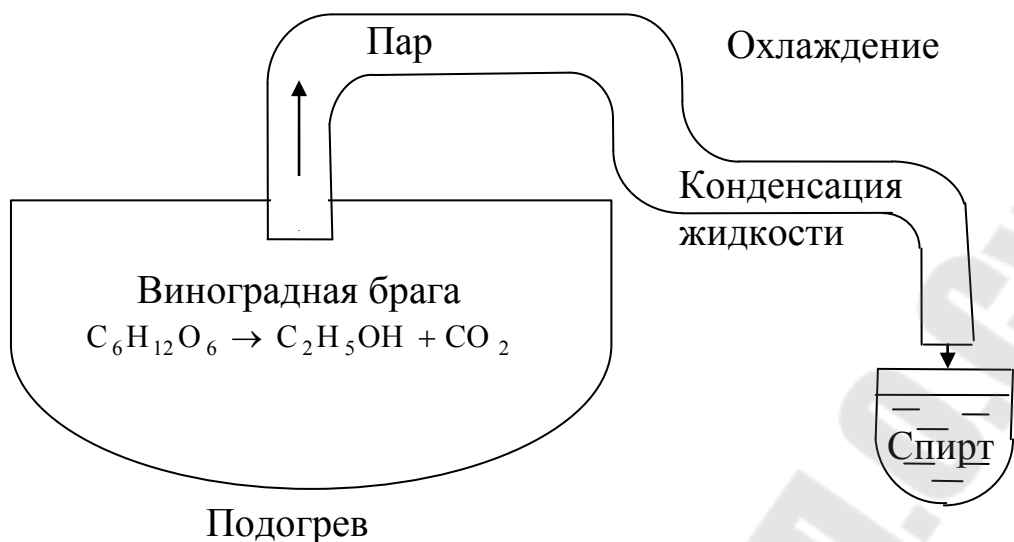


Рис. 15.1. Устройство перегонного аппарата периодического действия

Технология прямой перегонки (при атмосферном давлении):

I этап. Подача сырой нефти из резервуара 1 насосом 2 в печь 3 (рис. 15.2).

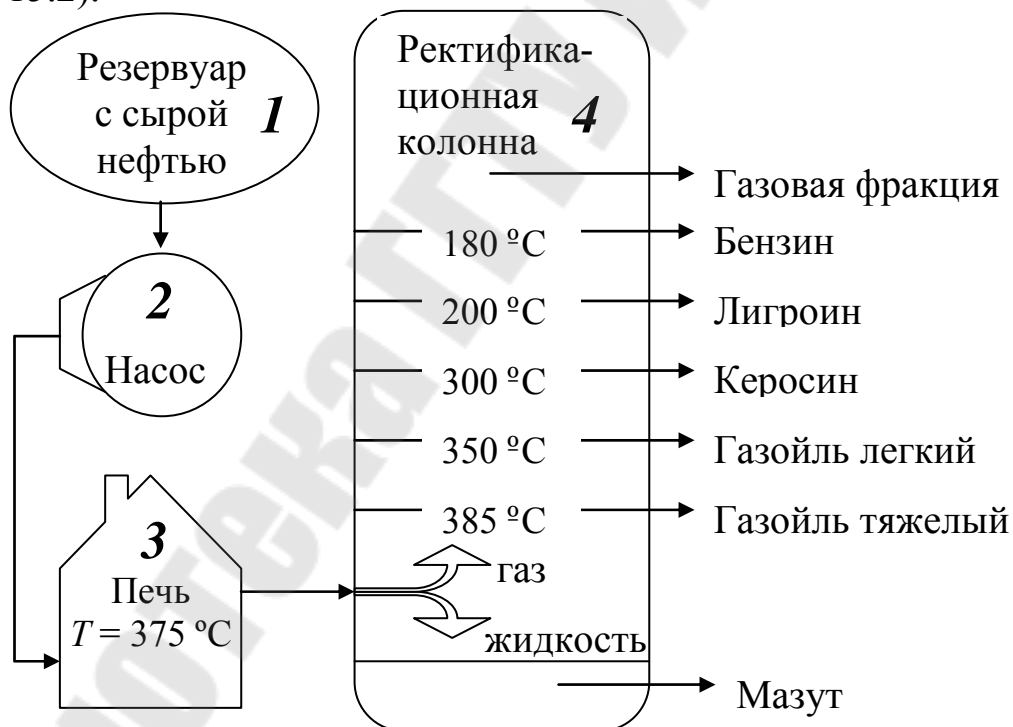


Рис. 15.2. Схема прямой перегонки нефти (при атмосферном давлении)

II этап. Нагрев в печи до 385 °C.

III этап. Перегонка в ректификационной колонне 4. Нагретая до 385 °C нефть при давлении, равном атмосферному, подается в ниж-

ную часть ректификационной колонны, где сразу происходит отделение газа от жидкости. Газовая фракция поднимается вверх, а жидкая сливается вниз. Название этой жидкой фракции – мазут. Газ, поднимаясь вверх по колонне (25–55 м), охлаждается. Внутри колонны находятся тарелки с отверстиями, на которых конденсируются соответствующие данной температуре конденсации углеводороды и в виде жидкости отводятся в боковые отводы.

*Продукты прямой перегонки нефти:*

- 1) газы углеводородные (метан, этан, пропан, бутан);
- 2) бензин;
- 3) лигроин;
- 4) керосин;
- 5) газойль (легкий и тяжелый);
- 6) мазут.

*Технология вакуумной перегонки*

Сырье: мазут (остаток после прямой перегонки). Принцип действия вакуумной перегонки тот же, что и описанный выше, но давление в аппарате понижено до 0,3–0,4 атм. При пониженном давлении легкая фракция мазута начинает кипеть и испаряться. При охлаждении этой легкой фракции образуются масла. Тяжелая фракция стекает вниз и образует гудрон (рис. 15.3).

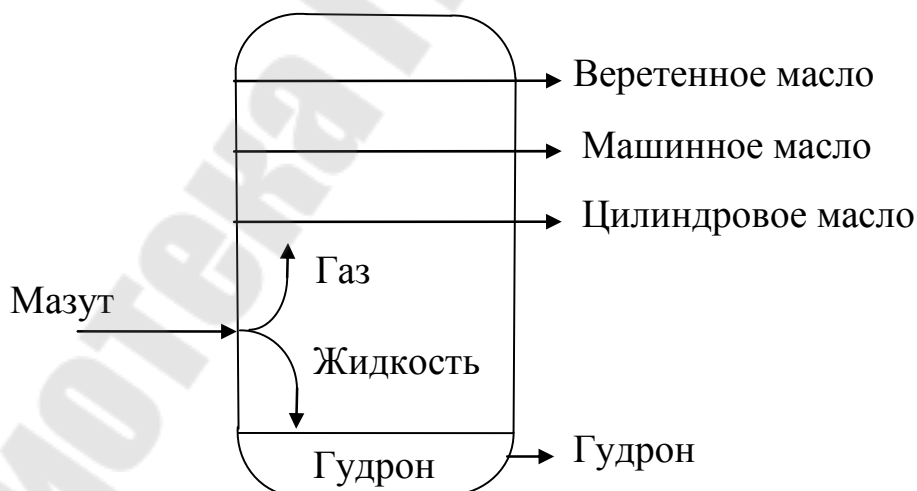


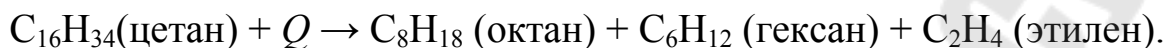
Рис. 15.3. Схема вакуумной перегонки мазута

*Продукты вакуумной перегонки мазута:*

1. Масла различного назначения.

2. Гудрон, применяемый либо как сырье для битумов (в строительстве), либо идущий на дальнейшую переработку – термический крекинг.

5.2. *Крекинг* – расщепление длинных молекул углеводородов на короткие. Пример:



Главный фактор, вызывающий расщепление – температура (причем изменяя температуру, можно управлять составом продуктов крекинга; так, расщепление длинных молекул происходит при более низких температурах). Оборудование: реактор. В зависимости от условия проведения различают два вида крекинга (табл. 15.4):

1) *термический* крекинг: под действием высоких температур (450–500 °С) и высокого давления (2–7 МПа);

2) *каталитический* крекинг (в присутствии катализатора).

Таблица 15.4

**Сравнение каталитического и термического крекинга**

Параметр сравнения	Термический крекинг	Каталитический крекинг
Сырье	Гудрон (C <sub>70</sub> и тяжелее C <sub>70</sub> )	1. Тяжелый газойль (C <sub>20</sub> ) 2. Масла вакуумной перегонки (C <sub>20</sub> –C <sub>70</sub> )
Продукты крекинга и их качество	Крекинг-газ, крекинг-бензин, крекинг-остаток. Качество продуктов невысокое, т. к. в них содержится до 40 % нестабильных (не предельных) углеводородов	Крекинг-бензин, крекинг-газойль, крекинг-остаток. Качество продуктов высокое, т. к. они содержат только 3 % нестабильных углеводородов
Условия проведения крекинга	В реакторе при температуре 500 °С, давлении 2–7 МПа, время – несколько часов	В реакторе при температуре 300–400 °С, в присутствии катализатора, время – несколько секунд

*Катализатор* – вещество, которое ускоряет или даже вызывает химическую реакцию. Но когда эта реакция заканчивается, катализатор остается в неизменном виде. Другими словами, он не изменяется химически, но заставляет другие вещества реагировать друг с другом. Катализатор для крекинга – глина (алюмосиликаты). Форма катализатора – шарики или микросферы.

5.3. *Риформинг* – процесс реформирования сырья (табл. 15.5) с целью получения ароматических углеводородов (бензол, ксилол). Иллюстрация процесса риформинга на примере молекулы гексана изображена на рис. 15.4.

Таблица 15.5

**Изменение состава лигроина (бензина) после риформинга**

Состав лигроина (бензина)	До риформинга (сырье)	После риформинга (продукт)
1. Парафины (линейные насыщенные углеводороды)	50	35
2. Олефины (линейные ненасыщенные углеводороды)	0	0
3. Нафтены (циклические насыщенные углеводороды)	40	10
4. Ароматические углеводороды (циклические ненасыщенные)	10	55

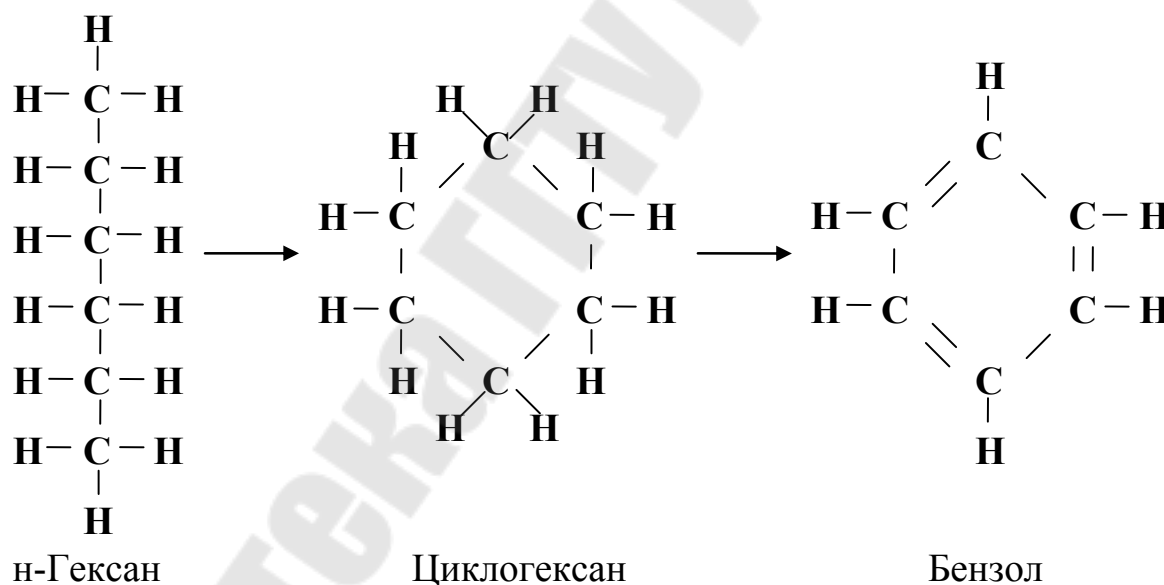


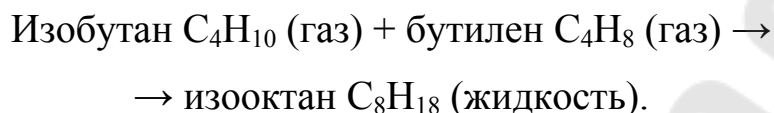
Рис. 15.4. Схема риформинга н-гексана в бензол

Сырье: прямогонный лигроин или бензин.

Продукт: риформат – бензин (лигроин), полученный по технологии риформинга, с высоким содержанием ароматических углеводородов. Риформат является высококачественным компонентом бензина, т. к. повышает основной показатель качества бензина (октановое число).

Оборудование для риформинга: реактор с температурой 500 °С, давлением 2–4 МПа, в присутствии алюмоплатинового катализатора (на поверхность слоя порошка  $Al_2O_3$  наносят тонкий слой платины).

5.4. *Алкилирование* – процесс, обратный крекингу (превращение небольших молекул в крупные). Пример:



*Цель* алкилирования: перевод легких газовых фракций нефти в бензиновые.

Сырье: газовые фракции нефти (прямой перегонки или крекинга).

Продукт: алкилат – бензин, полученный по технологии алкилирования. Алкилат является высококачественным компонентом бензина, т. к. имеет высокое октановое число.

Оборудование для алкилирования: реактор/холодильник; температура 4–5 °С; катализатор – серная кислота; время реакции 15–20 мин.

#### 5.5. *Компаундирование бензина*

Для начала уточним, во-первых, – бензинами называются самые легкие жидкие (в нормальных условиях) углеводороды, в молекуле которых содержится от 5 до 10 атомов углерода. Кроме того, бензин – широко известное торговое название автомобильного топлива на основе смеси углеводородов от  $C_5$  до  $C_{10}$ . Разные смеси имеют различные торговые марки (например, А-72, А-96 и др.) и, естественно, будут отличаться по составу, а значит, по себестоимости и качеству.

Качество бензина определяется двумя основными показателями:

1) *октановое число* – характеристика, показывающая при какой степени сжатия в цилиндре двигателя бензин будет самовоспламениться (детонировать).

Высокооктановый бензин качественнее и дороже низкооктанового;

2) *ДПР* (давление паров по Рейду) – мера летучести бензина. Зимой требуется бензин с ДПР 0,91 атм, летом – 0,60 атм.

*Компаундирование* – это процесс создания требуемой марки бензина, отвечающей определенным свойствам (октановое число, ДПР и др.), из смеси углеводородов бензиновой фракции и добавок.

Влияние на качество бензина бензиновых углеводородов, полученных по различным технологиям (прямая перегонка, крекинг, риформинг, алкилирование), и добавок показано в табл. 15.6.

Таблица 15.6

## Влияние компонентов бензина на его качество

Состав бензина		Влияние на качество бензина
Группа	Название	
Бензиновые углеводороды	Прямогонный бензин (продукт прямой перегонки)	Качество разное, т. к. зависит от исходного сырья
	Крекинг-бензин (продукт термического крекинга)	Качество низкое, т. к. содержит много (до 40 %) олефинов (химически нестабильных углеводородов)
	Крекинг-бензин (продукт каталитического крекинга)	Качество высокое, т. к. содержит мало (3–5 %) нестабильных углеводородов
	Риформат (продукт, полученный в результате риформинга)	Качество высокое, т. к. содержит 55 % ароматических углеводородов
	Алкилат (продукт, полученный в результате алкилирования более легких углеводородов)	Качество высокое
Добавки	Бутан ( $C_4H_{10}$ )	Увеличивает ДПР
	ТЭС (тетроэтилсвинец), ТМС (тетрометилсвинец)	Увеличивает октановое число, но ухудшает экологию
	Этанол ( $C_2H_5OH$ ), метанол ( $CH_3OH$ )	Увеличивает октановое число

## Тема № 16

### Производство синтетических полимеров и изделий из них

---

1. *Полимеры. Определение, классификация, основные виды полимерных материалов.*
  2. *Основные свойства высокомолекулярных соединений.*
  3. *Технологии получения синтетических полимеров.*
  4. *Основные технологии получения изделий из синтетических полимеров.*
  5. *Общие технологические цепи изготовления синтетических полимерных изделий.*
- 

#### 1. Полимеры. Определение, классификация, основные виды полимерных материалов

*Полимеры* – химические соединения с высокой молекулярной массой (от нескольких тысяч до многих миллионов), молекулы которых (макромолекулы) состоят из многократно повторяющихся звеньев (мономеров). Число повторяющихся звеньев, которым определяется длина цепи макромолекулы полимера, называется степенью полимеризации  $n$ .

*По происхождению* различают полимеры:

– *природные* – образуются в результате жизнедеятельности растений и животных. Это полисахариды (целлюлоза, крахмал), белки, латекс и др.;

– *искусственные* – являются продуктом переработки природных полимеров; при этом сама структура основных цепей полимера остается неизменной. Например, натуральный каучук, изготавливаемый из латекса; целлулоид, получаемый модификацией целлюлозы и др.;

– *синтетические* – вещества, получаемые в результате синтеза из низкомолекулярных веществ (мономеров) и не имеющие аналогов в природе. Название полимера образуется от названия мономера с приставкой поли-. Например, полиэтилен, полистирол и др.

*По химическому составу* различают полимеры:

– *органические* – основные цепи содержат только атомы углерода;

– *элементоорганические* – основные цепи содержат, кроме углерода, и другие элементы, например, кремний, алюминий. В природе таких веществ нет, они получены искусственно;

– *неорганические* – их основу составляют оксиды кремния, алюминия, кальция. Углеродный скелет отсутствует. К ним относятся керамика, слюда.

*По отношению к нагреву* различают полимеры:

– *термопластичные* – при нагреве размягчаются, а при охлаждении переходят в твердое состояние без изменения своих первоначальных свойств. Поскольку этот процесс обратим, то такие полимеры могут перерабатываться вторично. К термопластам относятся: полиолефины (полиэтилен и полипропилен), стирольные пластики (полистирол), виниловые пластики (поливинилхлорид, поливинилбутираль), фторопласты (политетрафторэтилен) и др.;

– *термореактивные* – полимеры, в которых при нагревании происходят необратимые процессы; поэтому вторичной переработке подвергаться не могут. Например, эпоксидные пластики (эпоксидная смола), фенопласты (фенолоформальдегидная смола), полиэфирные, полиакриловые волокна.

Основные виды полимерных материалов – пластмассы, волокниты (волокнистые материалы), слоистые пластики, пленки, покрытия, клеи.

## **2. Основные свойства высокомолекулярных соединений:**

- 1) труднорастворимость, или вообще нерастворимость;
- 2) нелетучесть;
- 3) не имеют ясно выраженной точки плавления, а некоторые из полимеров разлагаются до плавления;
- 4) эластичность (способность к высоким обратимым деформациям при относительно небольшой нагрузке) и гибкость (для большинства полимеров).

*Чем объясняются эти особые свойства?*

- 5) оптимальное соотношение свойств прочность/масса.

## **3. Технологии получения синтетических полимеров**

Основным сырьем для производства синтетических полимеров являются продукты переработки органических полезных ископаемых (в основном нефти или углей), из которых сначала получают органические мономеры. Далее из мономеров получают (синтезируют) полимеры с помощью какого-либо из процессов органического синтеза: полимеризацией или поликонденсацией.

*Полимеризация* – процесс образования высокомолекулярных соединений – полимеров по принципу  $nM \rightarrow M_n$ , где  $M$  – молекула мо-



номера,  $M_n$  – макромолекула из  $n$  мономерных звеньев. В промышленности применяют блочную, эмульсионную, лаковую, капельную или бисерную полимеризацию, каждая из которых имеет свои технологические особенности. Если при получении полимеров участвуют два различных мономера, то такой процесс называется сополимеризацией. Полимеризация или сополимеризация происходит *без выделения побочных продуктов*.

При цепной полимеризации молекулярная масса возрастает почти мгновенно. В естественных условиях такой процесс невозможен (все природные полимеры образованы иным путем – по принципу поликонденсации). Реакция полимеризации проходит в сложных аппаратах (реакторах) под воздействием определенных факторов: температуры, химических веществ (катализаторов), электромагнитного излучения, электрического тока и других факторов.

*Применение:* производство термопластичных полимеров (полиэтилен, полипропилен, полистирол и др.).

*Поликонденсация* – объединение мономеров, сопровождающееся изменением их химического состава, а часто и *выделением побочных продуктов* ( $H_2O$ ,  $CO_2$  и др.). Эта реакция происходит медленнее, чем полимеризация, т. к. полимер образуется постепенно: от мономера к димеру, потом к тримеру, тетрамеру и т. д. Именно эта реакция реализуется в природе (при создании природных полимеров), т. к. не требует особых условий. В реакцию поликонденсации вступают как одноименные мономеры (гомополиконденсация), так и мономеры различного химического состава (гетерополиконденсация).

*Применение:* производство термореактивных полимеров (полиэфиры, полиамиды, аминопласты, фенопласты и др.).

#### **4. Основные технологии получения изделий из синтетических полимеров**

*Компаундирование* – создание полимерной композиции путем введения в смесь различных функциональных ингредиентов, таких, как: пластификаторы (для размягчения полимера, повышения его гибкости), вулканизирующие агенты (для вулканизации эластомеров), отвердители, стабилизаторы (для защиты от термической, окислительной и фотодеструкции), наполнители, красители, пламегасители и др. Необходимые ингредиенты смешивают с гранулами первичного полимера в смесителях или мешалках, а затем сплавляют все компоненты в единый полимерный компаунд.

*Литье.* Метод применяется для производства изделий из термопластичных полимеров. Полимерный компаунд расплавляют и заливают в форму, соответствующую изделию. Формы для литья изготавливают из алебаstra, стекла или свинца. В процессе отверждения полимера происходит его усадка, что облегчает извлечение изделия из формы. Оборудование – литьевые машины, инструмент – литьевая форма.

*Прессование.* Метод широко используется для производства изделий из терморезактивных полимеров. В процессе прессования терморезактивный материал подвергается однократному воздействию температуры и давления. Оборудование – пресс, инструмент – пресс-форма.

*Экструзия.* Метод получения, в основном, пленочных, волокнистых, листовых материалов. Кроме того, экструзией получают полимерные шланги, трубы, ремни. Профиль изделия задается формой выходного отверстия головки экструдера, через которое выдавливается расплавленный пластик.

*Вспенивание.* Метод применяется для получения пено- и губкообразных материалов. Обычными вспенивающимися полимерами являются полиуретан, полистирол, полиэтилен, ПВХ и др. Через расплавленный полимерный компаунд продувают воздух или азот до его полного вспенивания. Вспенивание может достигаться также добавлением в полимерную массу пенообразователей.

*Армирование.* При армировании пластической матрицы высокопрочным волокном получают системы, называемые «армированные волокнами пластики» (АВП). Красивый внешний вид, небольшой вес и коррозионная стойкость – основные достоинства этих материалов, имеющих широкое применение (от емкостей для хранения кислот до обшивки морских судов). Существует несколько методов армирования: метод пропитки распылением, метод наматывания волокна и др.

*Прядение волокон.* Существуют три принципиально различных метода прядения: прядение из расплава, сухое и мокрое прядение. В процессе прядения из расплава полимер находится в расплавленном состоянии, а в других случаях – в виде растворов. Однако во всех случаях полимер, в расплавленном или растворенном состоянии, протекает через многоканальный мундштук, представляющий собой пластину с очень мелкими отверстиями для выхода волокон.

## 5. Общие технологические цепи изготовления синтетических полимерных изделий

Основные технологии получения синтетических материалов из углей и нефти обобщены в табл. 16.1 и 16.2, соответственно.

Таблица 16.1

### Технологическая цепь получения полимерного изделия из углей

С	Т	Пр	Т	Пр	Т	Пр	Т	Пр
У Г Л И	Пиролиз	Газ/Смола	Перегонка	300 химических соединений	Оргсинтез	Полимер	Формообразование (литье, прессование, экструзия и др.)	Изделие из полимера

Таблица 16.2

### Технологическая цепь получения полимерного изделия из нефти

С	Т	Пр	Т	Пр	Т	Пр	Т	Пр
Нефть	Перегонка, крекинг	Углеводороды	Оргсинтез	Мономеры	Оргсинтез: полимеризация	Полимеры	Компаундирование, формообразование	Полимерное изделие

## Содержание

Тема № 1. Вводная лекция.....	3
Тема № 2. Природные материалы, используемые в качестве сырья. Органическое сырье.....	6
Тема № 3. Неорганическое (минеральное) сырье на основе горных пород.....	9
Тема № 4. Минерально-сырьевая база Беларуси.....	15
Тема № 5. Черные металлы и сплавы.....	22
Тема № 6. Цветные металлы.....	25
Тема № 7. Способы промышленного получения металлов.....	28
Тема № 8. Производство черных металлов.....	31
Тема № 9. Производство цветных металлов.....	38
Тема № 10. Технология получения изделий из металлов. Заготовительное производство.....	41
Тема № 11. Технология получения изделий из металлов. Обрабатывающее производство.....	49
Тема № 12. Материалы из нерудных горных пород: изделия из известняка/мела.....	53
Тема № 13. Материалы из нерудных горных пород: изделия из песка.....	59
Тема № 14. Материалы из нерудных горных пород: изделия из глины.....	65
Тема № 15. Изделия (продукты), получаемые из органических полезных ископаемых, и технологии их переработки.....	68
Тема № 16. Производство синтетических полимеров и изделий из них.....	79

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Царенко Ирина Владимировна  
Григорьев Андрей Яковлевич**

## **ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Курс лекций  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальностей  
1-25 01 07 «Экономика и управление на предприятии»,  
1-26 02 02 «Менеджмент» и 1-26 02 03 «Маркетинг»  
дневной и заочной форм обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

Редактор *А. В. Власов*  
Компьютерная верстка *М. В. Аникеенко*

Подписано в печать 31.01.12.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 5,11. Уч.-изд. л. 4,83.

Изд. № 35.

E-mail: [ic@gstu.by](mailto:ic@gstu.by)

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Издательский центр учреждения образования  
«Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48