

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Максимов Алексей Филиппович

Должность: директор по развитию

Дата подписания: 15.10.2016 15:40

Уникальный программный ключ:

8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Кафедра «Промышленное, гражданское и подземное строительство»

**И.С. Пуляев, Ю.С. Филимонова**

# **МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ**

*Учебное пособие  
для студентов, обучающихся по специальности  
08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»  
и направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»,  
всех форм обучения*

*Текстовое электронное издание*

Москва  
2026

Об издании [1](#), [2](#)

УДК 691.2(075.8)  
ББК 38.312.2я73  
П88

*Рецензенты:*

*В.Б. Петропавловская, д.т.н., профессор кафедры «Производство строительных изделий и конструкций» Тверского государственного технического университета;*

*Е.В. Ткач, д.т.н., профессор кафедры «Градостроительство» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета*

**Пуляев, И.С.**

**П88** Материалы и изделия на основе минеральных расплавов: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» и направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», всех форм обучения / И.С. Пуляев, Ю.С. Филимонова. – Москва: Московский Политех, 2026. – 1 CD-R. – Загл. с титул. экрана. – Текст: электронный. ISBN 978-5-2760-2939-9.

Содержатся теоретические сведения об основах технологии производства, составе, структуре, свойствах и рациональных областях применения материалов и изделий на основе минеральных расплавов. Описание строительных материалов построено по схеме «технология – состав – структура – свойства – область применения». Знание основных принципов технологии производства позволяет целенаправленно изменять состав и структуру строительных материалов, получая в результате материалы с требуемыми свойствами.

Предназначено для студентов вузов строительных специальностей и направлений подготовки всех форм обучения.

**УДК 691.2(075.8)**  
**ББК 38.312.2я73**

*Системные требования: PC-совместимый процессор 1,3 ГГц и выше. Оперативная память (RAM): 256 Мб. Необходимо на винчестере: 350 Мб. Операционные системы: Windows, Mac OS. Видеосистема: разрешение экрана 1024x768. Дополнительные программные средства: Adobe Acrobat Reader 9 и выше.*

**ISBN 978-5-2760-2939-9**

© Пуляев И.С., Филимонова Ю.С.,  
2026 © Московский Политех, 2026

# СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                           | 3  |
| 1. КЕРАМИЧЕСКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....                                                                              | 4  |
| 1.1. Общие сведения .....                                                                                                | 4  |
| 1.2. Классификация керамических материалов .....                                                                         | 5  |
| 1.3. Сырьевые материалы .....                                                                                            | 6  |
| 1.4. Технология производства керамики .....                                                                              | 8  |
| 1.5. Структура керамических изделий .....                                                                                | 11 |
| 1.6. Стеновые керамические материалы .....                                                                               | 11 |
| 1.7. Керамические облицовочные изделия .....                                                                             | 20 |
| 1.8. Керамическая черепица .....                                                                                         | 23 |
| 1.9. Керамические огнеупорные материалы и изделия .....                                                                  | 24 |
| 2. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТЕКЛА .....                                                                                   | 26 |
| 2.1. Общие сведения .....                                                                                                | 26 |
| 2.2. Состав строительного стекла .....                                                                                   | 26 |
| 2.3. Сырье для производства строительного стекла .....                                                                   | 27 |
| 2.4. Технологические процессы при производстве стекла .....                                                              | 28 |
| 2.5. Свойства стекла .....                                                                                               | 30 |
| 2.6. Листовые стекла .....                                                                                               | 31 |
| 2.7. Материалы и изделия из стекла .....                                                                                 | 44 |
| 2.8. Облицовочные изделия из стекла .....                                                                                | 48 |
| 3. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ .....                                                                                         | 51 |
| 3.1. Области применения металлических конструкций .....                                                                  | 51 |
| 3.2. Основные понятия .....                                                                                              | 51 |
| 3.3. Основы технологии производства чугуна и стали .....                                                                 | 54 |
| 3.4. Свойства стали .....                                                                                                | 56 |
| 3.5. Фазовый состав железоуглеродистых сплавов .....                                                                     | 59 |
| 3.6. Модифицирование стали .....                                                                                         | 65 |
| 3.7. Классификация сталей .....                                                                                          | 70 |
| 3.8. Нормирование сталей .....                                                                                           | 73 |
| 3.9. Факторы, влияющие на свойства стали .....                                                                           | 75 |
| 3.10. Первичные элементы стальных конструкций .....                                                                      | 76 |
| 3.11. Арматурная сталь (ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный<br>для железобетонных конструкций. Технические условия) ..... | 78 |
| КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....                                                                                                | 82 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                                         | 83 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....                                                                                                  | 84 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Строительные материалы оказывают решающее значение на техническую, экономическую и энергетическую эффективность, долговечность, безопасность, надежность строительных объектов. Стоимость строительных материалов составляет до 40–50 % от сметной стоимости строительства объекта.

В настоящее время на строительном рынке существует большой ассортимент строительных материалов различного назначения, с различными техническими характеристиками и стоимостью. В таких условиях перед строителем (проектировщиком) ставится задача выбора строительных материалов и технических решений, обеспечивающих требуемые служебные свойства строительных конструкций в заданных условиях эксплуатации, безопасность и возможность реализации принятой технологии строительно-монтажных работ. Технические решения должны обеспечивать также минимальные трудовые и финансовые затраты на строительство объекта. Следовательно, на выбор строительного материала оказывает влияние ряд факторов: требуемые эксплуатационные свойства конструкции, условия эксплуатации конструкции, технология строительных работ, требования по безопасности (в т.ч. экологической, пожарной), экономическая эффективность строительства, обеспечение комфортной среды и архитектурного облика здания.

Настоящее учебное пособие знакомит обучающихся с классификацией строительных материалов и изделий на основе минеральных расплавов, а также их основными характеристиками. Оно разработано в соответствии с основными положениями и требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки «Строительство» и специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений» и предназначено для студентов всех форм обучения, а также специалистов строительной отрасли.

# 1. КЕРАМИЧЕСКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

## 1.1. Общие сведения

**Керамикой** называют – искусственные каменные материалы и изделия из минерального сырья, доведенного до спекания. Название «керамика» происходит от греческого слова «*keramos*» – глина. Под **строительной керамикой** подразумевают материалы и изделия из обожженного глинистого сырья. Материал, из которого состоят керамические изделия после обжига, называют **керамическим черепком**. Отформованные изделия из глинистого сырья до обжига называют **сырцом**.

Глины всегда были одним из основных видов строительных материалов. Еще за 8000 лет до н.э. глины применялись в необожженном виде для глинобитного строительства, изготовления саманного и сырцового кирпича. 3500 лет до н.э. отмечается начало применения керамического кирпича, 1000 лет до н.э. – глазурированного кирпича и черепицы. С середины первого тысячелетия в Китае началось производства изделий из фарфора. В России первый кирпичный завод был построен в Москве в 1475 г, а первый фарфоровый завод был запущен в Петербурге в 1744 г. С начала XX в. началось производство широкой номенклатуры строительной керамики – эффективного кирпича, пустотелых камней, керамических плиток, санитарно-технических изделий. В последнее время распространение получили специальные виды керамики.

**Достоинства** керамики как строительного материала:

- Распространенность сырья (глины);
- Простота переработки сырья;
- Высокие физико-механические характеристики керамики;
- Химическая стойкость;
- Высокая долговечность;
- Высокие эстетические качества;
- Экологическая безопасность на этапе эксплуатации изделий.

**Недостатки** керамики как строительного материала:

- Трудность изготовления крупноразмерных изделий, и связанные с этим высокие трудозатраты на устройство конструкций и низкая технологичность;
- Малая деформативность (хрупкость) керамических изделий;
- Высокая энергоемкость производства керамических изделий, следовательно – высокая стоимость изделий.

## **1.2. Классификация керамических материалов**

### **1. По назначению:**

- Стеновые;
- Отделочные;
- Кровельные;
- Для полов;
- Дорожные;
- Санитарно-технические;
- Кислотоупорные;
- Огнеупорные.

### **2. По структуре:**

- С пористым черепком ( $W_m > 5\%$ ) – кирпич и камни стеновые, черепица, дренажные трубы, облицовочные плитки и т.п.;
- С плотным черепком ( $W_m < 5\%$ ) – клинкерный кирпич, фарфор, плитки для полов.

### **3. По температуре плавления:**

- Легкоплавкие (температура плавления ниже  $1350^{\circ}\text{C}$ );
- Тугоплавкие (температура плавления  $1350^{\circ}\text{C} \dots 1580^{\circ}\text{C}$ );
- Огнеупорные ( $1580^{\circ}\text{C} \dots 2000^{\circ}\text{C}$ );
- Высшей огнеупорности (более  $2000^{\circ}\text{C}$ ).

### 1.3. Сырьевые материалы

**1. Глинистое сырье.** Основным сырьем для производства строительной керамики является **глина** – осадочная горная порода, продукт выветривания полевошпатовых пород.

#### *Свойства глин как сырья для керамики:*

1. Пластичность – свойство глины деформироваться без разрыва сплошности (позволяет изготовить изделие заданной формы).

2. Связующая способность – свойство глины связывать компоненты сырьевой смеси и сохранять заданную форму изделия после сушки;

3. Наличие воздушной и огневой усадки. В процессе тепловой обработки происходит уменьшение размеров изделий: на этапе сушки – воздушная усадка, на этапе спекания – огневая усадка, способствующая уплотнению керамического черепка;

4. Огнеупорность;

5. Спекаемость – способность переходить в результате обжига в камневидное состояние, образуя водостойкий материал. Этот материал и будет называться керамикой.

#### *Зерновой (гранулометрический) состав:*

- Глинистые частицы – размером менее 0,005 мм. Глинистые частицы имеют пластинчатую форму, в воде набухают. При сушке глиняное тесто теряет воду и уменьшается в объеме. Чем больше глинистых частиц – тем выше пластичность и воздушная усадка глин;

- Пылевидные частицы (0,005...0,16 мм);

- Песок (0,16...2,0 мм). Песок и пылевидные частицы являются отощающими примесями, снижающими пластичность и воздушную усадку глин;

- Частицы крупностью более 2 мм – должны быть отделены от глины.

#### *Классификация глин по содержанию глинистых частиц:*

- *Высокопластичные* – до 80...90% глинистых частиц; водопотребность более 28%; воздушная усадка 10–15%.

- *Средне- и умеренно-пластичные* – до 30...80% глинистых частиц; водопотребность 20...28%; воздушная усадка 7–10 %.

- *Малопластичные* – 5...30% глинистых частиц; водопотребность менее 20%; воздушная усадка 5–7 %.

- *Непластичные* – не образуют пластичное тесто.

**«Жирные» глины** – содержат более 60% глинистых частиц, характеризуются высокой усадкой, необходимо введение отошающих добавок.

**«Тощие глины»** – содержат менее 10...15% глинистых веществ, необходимо введение тонкодисперсных, пластифицирующих добавок.

### ***Минеральный состав глин:***

- Глинистые минералы:

*Каолинит*  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – светлая окраска глин; слабо набухают, тугоплавки, малопластичны, малочувствительны к сушке.

*Монтмориллонит*  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  – пластичны, сильно набухают, чувствительны к сушке и обжигу с появлением искривлений и трещин.

*Бентонит* – более 85...90% частиц размером менее 0,001мм. Являются пластифицирующими добавками.

- Кварц ( $\text{SiO}_2$ ) представлен песком;
- Полевые шпаты, слюды и гидрослюды.
- Примеси:

$\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  – вызывают образование единичных известковых включений («дутиков»).

Сульфаты и хлориды Na; Ca; Mg; Fe – вызывают появление высолов.

### ***Химический состав глин:***

- $\text{SiO}_2$  – 40...80% – снижает пластичность и прочность, повышает пористость.

- $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 8...50% – повышает пластичность и огнеупорность глин.

- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0...15% – снижает огнеупорность.
- $\text{CaO}$  – 0,5...25%.
- $\text{MgO}$  – 0...4%.

- $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  – сильные плавни, способствуют повышению усадки, уплотнению черепка и повышению прочности керамики.

Для производства изделий от темно-красного до красно-коричневого цвета используют красножгущиеся глины, для производства изделий светлой цветовой палитры используют светложгущиеся глины.

**2. Отощающие добавки** – вводят в пластичные глины для уменьшения усадки при сушке и обжиге, предотвращения деформаций и трещин (дегидратированная глина, шамот, шлаки, золы, кварцевый песок).

**3. Порообразующие добавки** – вводят для повышения пористости черепка и повышения теплозащитных характеристик изделий (древесные опилки, угольный порошок, торфяная пыль).

**4. Плавни** – вводят с целью снижения температуры обжига (полевые шпаты, железная руда, доломит, магнезит, тальк, песчаник, пегматит, стеклобой, перлит).

**5. Пластифицирующие добавки** – вводят для повышения пластичности сырьевых смесей при меньшем расходе воды (высокопластичные глины, бентониты, ПАВ).

**6. Специальные добавки** – к примеру, для повышения кислотостойкости добавляют песчаные смеси, затворенные жидким стеклом. Для получения некоторых видов цветной керамики в сырьевую смесь добавляют оксиды металлов (Fe, Co, Ti, Cr).

## 1.4. Технология производства керамики

### *Основные этапы производства керамических материалов:*

- Добыча, транспортировка, обработка сырья;
- Подготовка массы;
- Формование изделий;
- Сушка;
- Обжиг;
- Контроль качества;
- Упаковка готовой продукции.

Карьерная глина, как правило, непригодна для получения керамических изделий. Поэтому проводится ее обработка с целью подготовки массы. Подготовку глин ведут сочетанием

естественной и механической обработки. Естественная обработка – вылеживание предварительно добытой глины в течение 1–2 лет при периодическом увлажнении осадками или искусственном замачивании и периодическом замораживании и оттаивании. Механическая обработка – проводится с целью разрушения природной структуры глин, удаления и измельчения крупных включений, удаления примесей, измельчения глин и добавок, перемешивания всех компонентов. Для механической обработки используются специализированные машины – глинорыхлители; дезинтеграторы, мельницы, мешалки и т.д. Качественная подготовка сырьевой массы – необходимое условие получения качественных керамических изделий.

В зависимости от вида продукции, вида и свойств сырья изделия **формуют** по одному из пяти способов.

- *Пластический способ.* Влажность теста 18...28%. Наиболее простой, наименее металлоемкий и наиболее распространенный способ. Применяется в случаях использования среднепластичных и умеренно-пластичных, рыхлых и влажных глин с умеренным содержанием посторонних включений. Формование осуществляется на ленточных прессах (шнековых) под давлением 1,6...7 МПа с вакуумированием или подогревом и без них (рис. 1). Производительность до 10 000 штук/час.

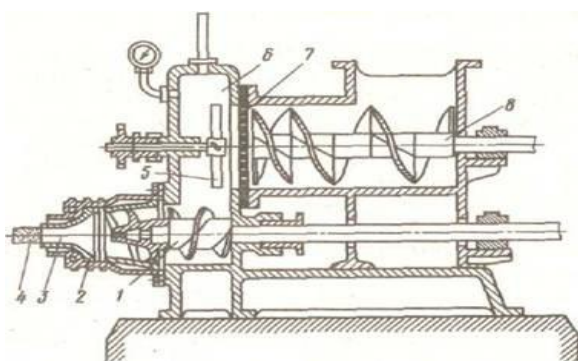


Рис. 1. Ленточный пресс

- *Жесткий способ* является разновидностью пластического способа. Влажность массы 13...18%. Формование осуществляется на мощных вакуумных и гидравлических прессах под давлением 10...20 МПа. Могут быть использованы менее пластичные глины. Требуются меньшие энергетические затраты на сушку. Сырец

имеет повышенную прочность. Пластическим и жестким способами выпускаются полнотелые и пустотелые кирпичи, камни, блоки, панели, черепица.

- *Полусухой способ* менее распространен. Влажность шихты 8...12%. Формование изделий осуществляется в пресс-формах на гидравлических или механических прессах под давлением 15...40 МПа. По сравнению с пластическим способом длительность производственного цикла сокращается в 2 раза, изделия имеют более правильную форму и точные размеры, до 30% сокращается расход топлива. Недостаток способа – металлоемкость (формы) в 3 раза выше по сравнению с пластическим способом. Можно использовать малопластичные тощие глины с большим количеством добавок.

- *Сухой способ* является разновидностью полусухого способа. Влажность пресс-порошка составляет 2...6%. Устраняется операция сушки. Применяется для изготовления плотных керамических изделий – плитки для полов; клинкерного кирпича; материалов из фаянса и фарфора.

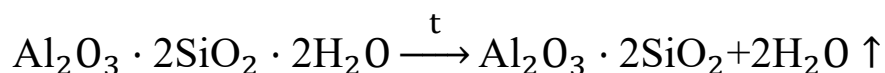
- В *шликерном (литьевом) способе* используется многокомпонентная масса, состоящая из неоднородных и трудноспекающихся глин и добавок. Влажность шликера – до 40%. Способ применяется для изготовления изделий сложной формы (санитарно-технических изделий), облицовочных плиток.

В процессе *сушки и обжига* сырца происходят следующие приращения:

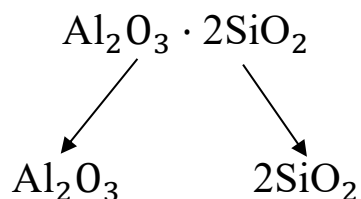
*Сушка изделий* ( $t=100...150^{\circ}\text{C}$ ) служит для удаления свободной воды. Процесс обратим. Изделия необходимо высушить до влажности 5...6 % во избежание неравномерной усадки, искривлений, растрескиваний при обжиге. Продолжительность сушки – до 72 часов. Воздушная усадка составляет 6...10%.

После сушки выполняется операция *обжига*.

При температуре 500...800°С происходит потеря химически связанной воды, выгорание органических примесей. Процесс необратим. Дегидратация глинистых минералов осуществляется по общей схеме:



При температуре 800...900°C происходит распад метакаолина на оксиды, находящиеся в химически активном состоянии:



При температуре 1000...1100°C происходит образование керамического черепка. Происходит частичное плавление твердой фазы, расплав обволакивает нерасплавившиеся частицы, стягивает их, проводя к уплотнению массы и огневой усадке, которая составляет 2...8%. Образуются различные соединения, в т.ч. основной минерал керамики, придающий ей водостойкость и высокие физико-механические характеристики – **муллит** –  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ . В основном керамические изделия обжигают при данной температуре.

При повышении температуры обжига до 1200°C происходит усиление спекания, образование плотного керамического черепка. При такой температуре получают изделия с плотным черепком – клинкерный кирпич, плитки для полов, керамогранит и др.

При температуре 1350°C происходит плавление сырья, до этой температуры обжиг не доводят.

## 1.5. Структура керамических изделий

Структура керамики представляет собой **матрицу** – остывший расплав (состоящую из непрерывной стекловидной фазы застывшего расплава и дисперсной фазы – кристаллов силлиманита, муллита, кремнезема), в которой распределена **дисперсная фаза**, представленная нерасплавленными частицами глины, пыли, песка, порами и пустотами.

## 1.6. Стеновые керамические материалы

Основной нормативный документ, регламентирующий технические требования к стеновым керамическим материалам и

методы их испытания – ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия».

В соответствии с ГОСТ 530–2012 предусмотрены два вида стеновых керамических изделий – кирпич и камень.

**Кирпич** – керамическое штучное изделие, предназначенное для устройства кладок на строительных растворах.

**Камень** – крупноформатное пустотелое керамическое изделие номинальной толщиной 140 мм и более, предназначенное для устройства кладок.

Различают следующие *виды кирпича*:

- **Кирпич нормального формата (одинарный)** – изделие в форме прямоугольного параллелепипеда номинальными размерами 250×120×65 мм (рис. 2).

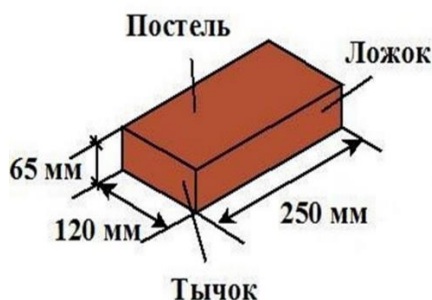


Рис. 2. Кирпич одинарный (нормального формата)

**Постель** – рабочая грань изделия, расположенная параллельно основанию кладки;

**Ложок** – наибольшая грань изделия, расположенная перпендикулярно к постели;

**Тычок** – наименьшая грань изделия, расположенная перпендикулярно к постели.

Объем одинарного кирпича равен 1950 см<sup>3</sup>, что и составляет 1 **нормальный формат** (1 НФ). Обозначение

размера (формат) изделий определяется как отношение номинального объема изделия (см<sup>3</sup>), к номинальному объему кирпича нормального формата (1950 см<sup>3</sup>) с округлением значения до одного знака после запятой.

- **Кирпич полнотелый** – изделие, в котором отсутствуют пустоты или с пустотностью не более 13 %. Под **пустотностью** подразумевается доля пустот в объеме изделия, выраженная в процентах.

- **Кирпич пустотелый** – изделие, имеющее пустоты различной формы и размеров. Учитывая предыдущее определение полнотелого кирпича, можно уточнить, что к пустотелому кирпичу следует относить изделия с пустотностью 13 % и выше. Пустоты в

изделиях могут располагаться перпендикулярно (вертикальные) или параллельно постели (горизонтальные).

- **Кирпич рядовой** – изделие, обеспечивающее эксплуатационные характеристики кладки. Рядовые изделия могут быть с гладкими или рельефными вертикальными гранями.

- **Кирпич лицевой** – изделие, обеспечивающее эксплуатационные характеристики кладки и выполняющее функции декоративного материала. Лицевой кирпич имеет не менее двух (ложковую и тычковую), а чаще три лицевых грани. Лицевой кирпич может быть с гладкой, рельефной или офактуренной поверхностями, естественного цвета или объемно окрашенным.

- **Фасонный кирпич** – изделие, имеющее форму, отличающуюся от формы прямоугольного параллелепипеда.

- **Кирпич клинкерный** – изделие, имеющее высокую прочность и низкое водопоглощение, обеспечивающее эксплуатационные характеристики кладки в сильно агрессивной среде и выполняющее функции декоративного материала.

Кирпич изготавливают с номинальными размерами, приведенными в ГОСТ 530–2012. Всего установлено 7 типоразмеров керамического кирпича и 2 типоразмера кирпича с горизонтальными пустотами. Внешний вид керамического кирпича приведен на рисунке 3.

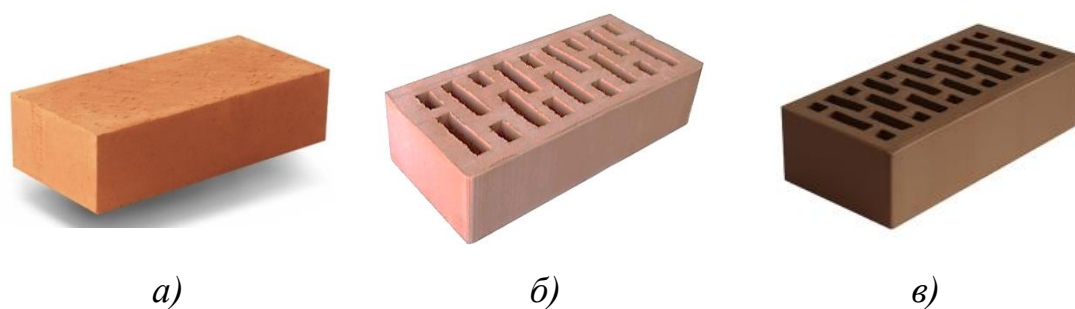


*Рис. 3. Внешний вид керамического кирпича:  
а – рядовой полнотелый; б – рядовой пустотелый;  
в – лицевой пустотелый*

**Камень** изготавливают только пустотелым. Камень может изготавливаться с плоскими вертикальными гранями, с выступами для пазогребневого соединения на вертикальных гранях, с нешлифованной или шлифованной опорной поверхностью (постелью).

Камень с пазогребневым и пазовым соединениями может быть только рядовым.

**Камень с пазогребневой системой** – изделие с выступами на вертикальных гранях для пазогребневого соединения камней в кладке без использования кладочного раствора в вертикальных швах.

Камень изготавливают с номинальными размерами, приведенными в ГОСТ 530–2012. Всего установлено 14 типоразмеров керамического камня и 5 типоразмеров доборного камня. Внешний вид керамического камня приведен на рисунке 4.

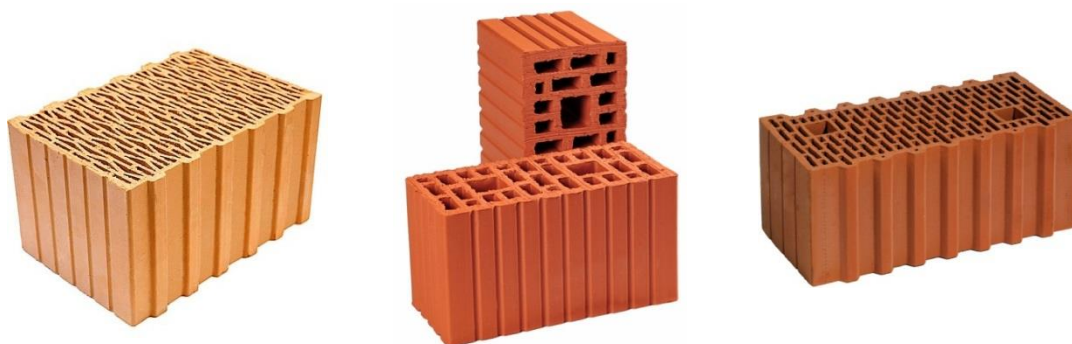


Рис. 4. Внешний вид керамического камня

### Технические требования к стеновым керамическим материалам

Стеновая керамика является конструкционным (конструкционно-теплоизоляционным) материалом, поэтому основным ее показателем качества является **прочность**, оцениваемая **маркой по прочности**, которая указывает на гарантированное среднеарифметическое значение предела прочности на сжатие образцов, изготовленных и испытанных в соответствии с ГОСТ, выраженное в кгс/см<sup>2</sup>.

По прочности стеновые керамические изделия подразделяют на следующие марки:

- Кирпич – М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300;
- Клинкерный кирпич – М300, М400, М500, М600, М800, М1000;
- Камни – М25, М35, М50, М75, М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300;

- Кирпич и камень с горизонтальными пустотами – М25, М35, М50, М75, М100.

Марку кирпича по прочности устанавливают по значениям пределов прочности на сжатие и изгиб, кирпича с горизонтальным расположением пустот и камня – по значению предела прочности на сжатие.

По показателю *средней плотности* изделия подразделяют на 7 классов: 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 2,0; 2,4 (табл. 1).

Таблица 1

**Классы стеновых керамических изделий по средней плотности**

| Класс средней плотности изделия | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| 0,7                             | До 700                               |
| 0,8                             | 710–800                              |
| 1,0                             | 810–1000                             |
| 1,2                             | 1010–1200                            |
| 1,4                             | 1210–1400                            |
| 2,0                             | 1410–2000                            |
| 2,4                             | 2010–2400                            |

По *теплотехническим характеристикам* изделия в зависимости от класса средней плотности подразделяют на 5 групп (табл. 2). Теплотехнические характеристики изделий оценивают по коэффициенту теплопроводности кладки в сухом состоянии (табл. 2).

Таблица 2

**Группы стеновых керамических изделий по теплотехническим характеристикам**

| Класс средней плотности изделия | Группы изделий по теплотехническим характеристикам | Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии, Вт/(м·°С) |
|---------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 0,7                             | Высокой эффективности                              | До 0,20                                                          |
| 0,8                             |                                                    |                                                                  |
| 1,0                             | Повышенной эффективности                           | Св. 0,20 до 0,24                                                 |
| 1,2                             | Эффективные                                        | Св. 0,24 до 0,36                                                 |
| 1,4                             | Условно-эффективные                                | Св. 0,36 до 0,46                                                 |

|     |                                 |          |
|-----|---------------------------------|----------|
| 2,0 | Малозэффективные (обыкновенные) | Св. 0,46 |
|-----|---------------------------------|----------|

По **морозостойкости** изделия подразделяют на марки F25, F35, F50, F75, F100, F200, F300. Кирпич и камень должны быть морозостойкими и в зависимости от марки по морозостойкости в насыщенном водой состоянии должны выдерживать без каких-либо видимых признаков повреждений или разрушений – растрескивание, шелушение, выкрашивание, отколы (кроме отколов от известковых включений) – не менее 25; 35; 50; 75; 100; 200 или 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Марка по морозостойкости клинкерного кирпича должна быть не ниже F75, лицевых изделий – не ниже F50. Допускается по согласованию с потребителем поставлять лицевые изделия марки по морозостойкости F35.

По ГОСТ 530–2012 **водопоглощение изделий** должно быть:

- не более 6,0 % – для клинкерного кирпича;
- не менее 6,0 % – для остальных изделий.

**Скорость начального водопоглощения опорной поверхностью** (постелью) изделий должна быть не менее 0,10 кг/(м<sup>2</sup>·мин) и не более 3,00 кг/(м<sup>2</sup>·мин) – у лицевых изделий, без ограничения максимального значения – у рядовых изделий.

**Предельные отклонения номинальных размеров** не должны превышать на одном изделии значений, указанных в таблице 3.

Таблица 3

**Предельные отклонения от номинальных размеров**

| Показатель                                     | Вид изделия                                   | Значение показателя, мм |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|
| Отклонение от номинальных размеров по длине    | Кирпич и камень без пазогребневого соединения | ± 4                     |
|                                                | Камень с пазогребневым соединением            | ± 10                    |
| Отклонение от номинальных размеров по ширине:  | Кирпич, камень шириной не более 120 мм        | ± 3                     |
|                                                | Камень шириной более 120 мм                   | ± 5                     |
| Отклонение от номинальных размеров по толщине: | Кирпич лицевой                                | ± 2                     |
|                                                | Кирпич рядовой                                | ± 3                     |
|                                                | Камень                                        | ± 4                     |

***Отклонение от перпендикулярности смежных граней*** не допускается более:

- 3 мм – для кирпича и камня длиной до 300 мм;
- 1,4 % длины любой грани – для камня длиной или шириной свыше 300 мм.

***Отклонение от плоскостности граней*** изделий не допускается более:

- 3 мм – для кирпича и камня;
- 1 мм – для шлифованного камня.

У стеновых керамических изделий возможны следующие ***дефекты внешнего вида***:

- *Трещина* – разрыв изделия без разрушения его на части, шириной раскрытия более 0,5 мм.
- *Сквозная трещина* – трещина, проходящая через всю толщину изделия, протяженностью более половины ширины изделия.
- *Посечка* – трещина шириной раскрытия не более 0,5 мм.
- *Отбитость* – механическое повреждение грани, ребра, угла изделия.
- *Откол* – дефект изделия, вызванный наличием карбонатных или других включений.
- *Шелушение* – разрушение изделия в виде отслоения от его поверхности тонких пластинок.
- *Выкрашивание* – осыпание фрагментов поверхности изделия.
- *Растрескивание* – появление или увеличение размера трещины после воздействия знакопеременных температур.
- *Половняк* – две части изделия, образовавшиеся при его раскалывании. Изделия, имеющие сквозные трещины, относят к половняку.
- *Контактное пятно* – участок поверхности изделия, отличный по цвету, возникающий в процессе сушки или обжига и не влияющий на характеристики изделия.
- *Высолы* – водорастворимые соли, выходящие на поверхности обожженного изделия при контакте с влагой.
- *Черная сердцевина* – участок внутри изделия, обусловленный образованием в процессе обжига изделия оксида железа (II).

***Дефекты внешнего вида изделий***, размеры и число которых превышают значения, указанные в таблице 4, не допускаются.

## Дефекты внешнего вида изделий

| Вид дефекта                                                                  | Значение        |                     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------|
|                                                                              | Лицевые изделия | Рядовые изделия     |
| Отбитости углов глубиной, отбитости ребер и граней длиной более 15мм, шт.    | Не допускаются  | 4                   |
| Отбитости углов глубиной, отбитости ребер и граней длиной не более 15мм, шт. | 2               | Не регламентируются |
| Отдельные посечки суммарной длиной, мм, не более                             |                 | Не регламентируются |
| – для кирпича                                                                | 40              |                     |
| – для камня                                                                  | 80              |                     |
| Трещины, шт.                                                                 | Не допускаются  | 4                   |

*Примечания.* 1. Отбитости глубиной менее 3 мм не являются браковочными признаками.  
 2. Трещины в межпустотных перегородках, отбитости и трещины в элементах пазогребневого соединения не являются дефектом.  
 3. Для лицевых изделий указаны дефекты лицевых граней.

На лицевых изделиях допускаются **единичные вспучивающиеся** (например, известковые) **включения** глубиной не более 3 мм, общей площадью не более 0,2% площади лицевых граней. На рядовых изделиях допускаются вспучивающиеся включения общей площадью не более 1,0% площади вертикальных граней изделия.

На лицевых и клинкерных изделиях не допускаются **высолы**.

У изделий допускаются **черная сердцевина** и **контактные пятна** на поверхности.

В партии не допускается **половняк** более 5% объема партии.

**Условное обозначение** керамических изделий должно состоять из:

1. Обозначения вида изделия: КР – кирпич, КРГ – кирпич с горизонтальными пустотами, КМ – камень, КМД – камень доборный;

2. Букв р – для рядовых изделий, л – для лицевых изделий, кл – для клинкерных изделий, пг – для камней с пазогребневой системой, ш – для шлифованных камней;

3. Обозначений: по – для полнотелого кирпича, пу – для пустотелого кирпича;

4. Номинальных размеров изделий, для камня с пазогребневой системой – рабочего размера;
5. Обозначения размера (формата) изделий;
6. Марки по прочности;
7. Класа средней плотности;
8. Марки по морозостойкости;
9. Обозначения стандарта.

***Пример условного обозначения:***

Кирпич рядовой (лицевой), полнотелый, размерами 250×120×65 мм, формата 1НФ, марки по прочности М200, класса средней плотности 2,0, марки по морозостойкости F50:

КР-р-по (КР-л-по) 250×120×65/1НФ/200/2,0/50/ГОСТ 530-2012.

## **1.7. Керамические облицовочные изделия**

К керамическим облицовочным изделиям относятся, в первую очередь, керамическая плитка. Лицевая поверхность керамических плиток может быть гладкой, шероховатой или рельефной, неглазурованной, частично или полностью покрытой одно- или многоцветной глазурью. Глазурь может быть глянцевой, матовой, прозрачной или глушенной.

**1. Фасадные керамические плитки** изготавливаются методом пластического и полусухого прессования. Согласно ГОСТ, водопоглощение по массе плиток для стен должно быть не более 9 %, цокольных – не более 5 %; морозостойкость не менее 40 циклов для стеновых плиток и 50 циклов для цокольных, предел прочности при изгибе не менее 16 МПа для стеновых плиток и 8 МПа для цокольных. Применяются для наружной облицовки стен, стеновых панелей, цоколей зданий, подземных переходов.

**2. Коврово-мозаичная керамика** представляет собой плитки размером 23 мм или 48 мм и толщиной 6–8 мм, собранные в ковры на крафт-бумаге размером 400×600 мм (рис. 5).



*Рис. 5. Плитки коврово-мозаичные*

**3. Крупноразмерные облицовочные керамические плиты** выпускаются квадратной или прямоугольной формы с размерами  $(500 \div 1200) \times (500 \div 1000) \times (9 \div 10)$  мм. Согласно ГОСТ, водопоглощение по массе таких плиток должно быть не более 1%, морозостойкость 50 циклов и более. Применяются для облицовки фасадов и цоколей зданий, подземных переходов (рис. 6).



*Рис. 6. Применение крупноразмерных облицовочных керамических плит для фасадов зданий*

**4. Керамические плитки для внутренней облицовки стен** по форме подразделяются на: квадратные, прямоугольные, фасонные угловые, карнизные, плинтусные, для отделки внешних и внутренних углов (рис. 7).

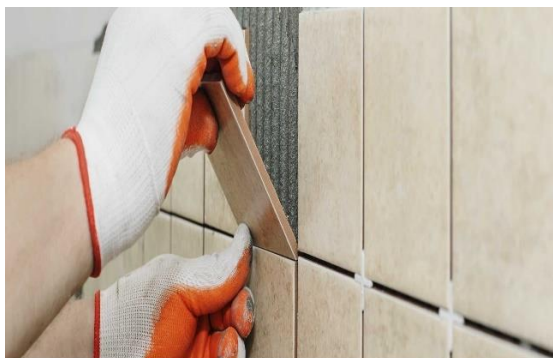


*Рис. 7. Керамические плитки для внутренней облицовки стен*

Поверхность плиток может быть глянцевой, матовой, полуполированной, «под камень», «под мозаику», структурированной. Размер плиток согласно ГОСТ  $(50\div 200)\times(100\div 200)\times(5\div 8)$  мм, по факту выпускают плитки для внутренней облицовки стен размером до  $750\times 250$  мм. Водопоглощение плиток по массе должно быть не более 16%, предел прочности при изгибе не менее 15 МПа, термостойкость глазури не менее  $125^{\circ}\text{C}$ .

**5. Керамические плитки для полов** производятся из тугоплавких и огнеупорных глин путем обжига до спекания. Плитки для полов имеют низкое водопоглощение (менее 4%), высокую прочность – при изгибе не менее 25 МПа, высокую износостойкость. Могут быть квадратными, прямоугольными с размерами по ГОСТ  $(150\div 500)\times(150\div 500)\times(10\div 13)$  мм, многогранными и фигурными (рис. 8).



*Рис. 8. Керамические плитки для полов*

**6. Плитки из керамогранита** формируются из глинистого сырья под высоким давлением ( $40\ldots 50$  МПа) и подвергаются обжигу практически до полного спекания.

### *Особенности керамогранита:*

- Низкое водопоглощение;
- Высокая прочность, в т.ч. к ударным воздействиям;
- Высокая износостойкость;
- Термическая и химическая стойкость;
- Долговечность;
- Морозостойкость;
- Богатый выбор цветов и фактур.

Типы поверхности керамогранита: глазурованная, матовая, полированная, полуполированная, структурированная («под дерево» – «керамический паркет», «под ткань», «под натуральную кожу», с рельефным рисунком, рустика).

Выпускают плиты квадратные и прямоугольные с типовыми размерами  $(150\div 600)\times(150\div 600)$  мм, толщиной  $8\div 20$  мм (рис. 9).



*Рис. 9. Керамогранит*

Керамогранит применяют для облицовки фасадов, в конструкции вентилируемого фасада, облицовки стен и полов в жилых и общественных зданиях, помещениях с повышенной проходимостью.

## **1.8. Керамическая черепица**

Керамическая черепица – одно из древнейших кровельных покрытий, известных человечеству (рис. 10).



Рис. 10. Керамическая черепица

## 1.9. Керамические огнеупорные материалы и изделия

К огнеупорным материалам предъявляются требования по прочности, огнеупорности, теплостойкости, химической стойкости.

По температуре плавления их разделяют:

- на огнеупорные –  $1580...1770^{\circ}\text{C}$ ;
- высокоогнеупорные –  $1770...2000^{\circ}\text{C}$ ;
- высшей огнеупорности – свыше  $2000^{\circ}\text{C}$ .

Наибольшее распространение в строительстве получили кремнеземистые и алюмосиликатные огнеупоры.

К **кремнеземистым** огнеупорам относят динасовые, динасохромитовые и кварцевые изделия.

**Динас** изготавливают из кварцитов или песчаников с введением в состав шихты до 2,5% минерализаторов (извести, железной окалины и др.), органического связующего, воды. Отформованный сырец сушат и обжигают. Применяют для футеровки мартеновских и стекловаренных печей и др. Огнеупорность не ниже  $1690...1710^{\circ}\text{C}$ , прочность на сжатие  $17,5...30$  МПа.

**Кварцевые** огнеупоры изготавливают из обогащенного кварцевого песка путем его плавки в печах с последующим прессованием в виде брусьев.

**Алюмосиликатные (глиноземистые)** огнеупоры изготавливают из измельченных кварцевых пород и шамота (наполнитель), а в качестве связки используют глину. После формования сырец сушат и обжигают. Огнеупорность – не ниже  $1710^{\circ}\text{C}$ .

**Шамотные** изделия формуют из керамических массы, изготовленных из огнеупорного шамота и огнеупорной глины с

последующим обжигом. Огнеупорность – до 1730°C, прочность на сжатие 13...23 МПа. Применяют для футеровки цементных печей, керамических печей и др.

*Шамот* – обожженная до некоторой степени спекания огнеупорная (каолиновая) глина.

**Высокоглиноземистые** огнеупоры изготавливают из сырья в виде бокситов, корунда обжигом до спекания или методом литья из расплава. Огнеупорность – до 2000°C.

Для получения технической керамики высшей огнеупорности применяют чистые оксиды (BeO, MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO<sub>2</sub> и др.). Температура плавления керамики чистых оксидов – 2000...2500°C.

## 2. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТЕКЛА

### 2.1. Общие сведения

Изделия из стекла начали изготавливать еще в 3500–4000 лет до н.э. в Египте и Месопотамии. Первый стекольный завод в России был открыт в 1638 г. около Воскресенска. Основоположником научных основ стекловарения в России является М.В. Ломоносов, который организовал в 1752 г. производство разноцветных стекол.

**Стеклом** называют аморфное тело, получаемое путем переохлаждения расплава независимо от его химического состава и температурной области затвердевания и обладающее в результате постепенного увеличения вязкости механическими свойствами твердых тел, причем процесс перехода из жидкого состояния в стеклообразное должен быть обратимым (определение в соответствии с ГОСТ 32539–2013 «Стекло и изделия из него. Термины и определения»).

Признаками стеклообразного состояния является отсутствие четко выраженной точки плавления, гомогенность и изотропность.

В строительстве используют преимущественно **силикатное стекло** – неорганическое стекло, основным стеклообразующим компонентом которого является оксид кремния.

Под **строительным стеклом** подразумевают материалы и изделия из силикатного стекла, применяемые в строительстве для остекления световых проемов, устройства светопрозрачных перегородок, ограждений, отделки зданий и др.

### 2.2. Состав строительного стекла

Стекло не является веществом с определенным химическим составом, который может быть выражен химической формулой, поэтому состав стекла условно выражают суммой оксидов (табл. 5).

Таблица 5

**Химический состав строительного стекла**

| Оксид     | Содержание, % |
|-----------|---------------|
| $SiO_2$   | 64...73,4     |
| $Na_2O$   | 10...15,5     |
| $K_2O$    | 0...5         |
| $CaO$     | 2,5...26,5    |
| $MgO$     | 0...4,5       |
| $Al_2O_3$ | 0...7,2       |
| $Fe_2O_3$ | 0...0,4       |
| $SO_3$    | 0...0,5       |
| $B_2O_3$  | 0...5         |

Каждый оксид в процессе варки стекла играет свою определенную роль в формировании свойств стекла. Так, например, оксид натрия ускоряет процесс варки, понижая температуру плавления, но уменьшает химическую стойкость стекла. Оксид калия придает блеск и улучшает светопропускание. Оксид кальция повышает химическую стойкость стекла. Оксид алюминия повышает прочность, термическую и химическую стойкость стекла. Оксид бора повышает скорость стекловарения. Для получения оптического стекла и хрусталя в шихту вводят оксид свинца, повышающий показатель светопреломления.

### 2.3. Сырье для производства строительного стекла

Сырьем для производства стекла служит многокомпонентная шихта, которая содержит стеклообразующий оксид ( $SiO_2$ ) и добавки. Основные сырьевые материалы для производства строительного стекла приведены в таблице 6.

**Сырьевые материалы для производства строительного стекла**

| Сырьевые материалы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Основные                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Вспомогательные                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>Минеральное сырье (кварцевый песок, сода, доломит, известняк, поташ, сульфат натрия) и отходы промышленности (доменные шлаки, кварцесодержащие материалы, стеклобой)</p> <p>Минеральное сырье имеет непостоянный состав и содержит примеси:<br/>Ухудшающие качество стекломассы (оксиды <i>Fe</i>, <i>Cr</i>, <i>Ti</i>, <i>Mn</i>, <i>V</i>);<br/>Соответствующие компонентам шихты (оксиды <i>Al</i>, <i>Ca</i>, <i>Mg</i>, <i>K</i>, <i>Na</i>).</p> | <p>1. Осветлители – способствуют удалению из стекломассы газовых пузырьков (сульфаты натрия, алюминия, калиевая селитра).</p> <p>2. Глушители – делают стекло непрозрачным (криолит, плавиковый шпат, двойной суперфосфат).</p> <p>3. Красители – придают стеклу заданный цвет:<br/><i>Cr</i> – зеленый, <i>Mn</i> – фиолетовый, <i>Co</i> – синий, <i>Fe</i> – коричневый.</p> |

## 2.4. Технологические процессы при производстве стекла

Технология производства строительного стекла состоит из следующих основных операций: обработка сырья, приготовление шихты, варка стекла, формование изделий и их отжиг, контроль качества готовой продукции.

**Обработка сырьевых материалов** включает дробление и помол материалов, поступающих на завод в виде кусков, сушку влажных материалов, просеивание всех материалов сквозь сита заданного размера.

**Приготовление шихты** включает усреднение состава, дозирование, смешивание компонентов. Шихта считается качественной, если отклонение от ее заданного состава не превышает 1 %.

**Варка стекла** производится в стеклоплавильных печах непрерывного или периодического действия. При нагревании шихты до температуры 1100...1150°C происходит образование силикатов вначале в твердом виде, затем – в расплаве. При дальнейшем повышении температуры образуется стекломасса, неоднородная по своему составу и насыщенная газовыми пузырьками («варочная пена»). Для получения однородной стекломассы и удаления из нее газовой фазы температуру повышают до 1500...1600°C, при которой снижается вязкость расплава. Процесс варки стекла заканчивается охлаждением (студкой) стекломассы до температуры, при

которой вязкость стекломассы позволит отформовать из нее стеклоизделия.

**Формование** стеклоизделий производится различными способами: вытягиванием, литьем, прокатом, прессованием и выдуванием. Листовое стекло изготавливается вытягиванием, прокатом, флоат-способом (способ плавающей ленты) – рис. 11. Вытягиванием получают листовое стекло толщиной 2...6 мм. Лента вытягивается из стекломассы вращающимися валками машины через лодочку – огнеупорный брус с продольной прорезью (рис. 11, а) или с поверхности стекломассы – безлодочный способ (рис. 11, б). Наиболее технологичным способом формования листового стекла является флоат-способ, при котором процесс формования ленты происходит на поверхности расплавленного олова в результате растекания стекломассы. При этом поверхности листового стекла получаются ровными и не требуют дальнейшей полировки. Стекло, полученное данным способом, называется флоат-стеклом.

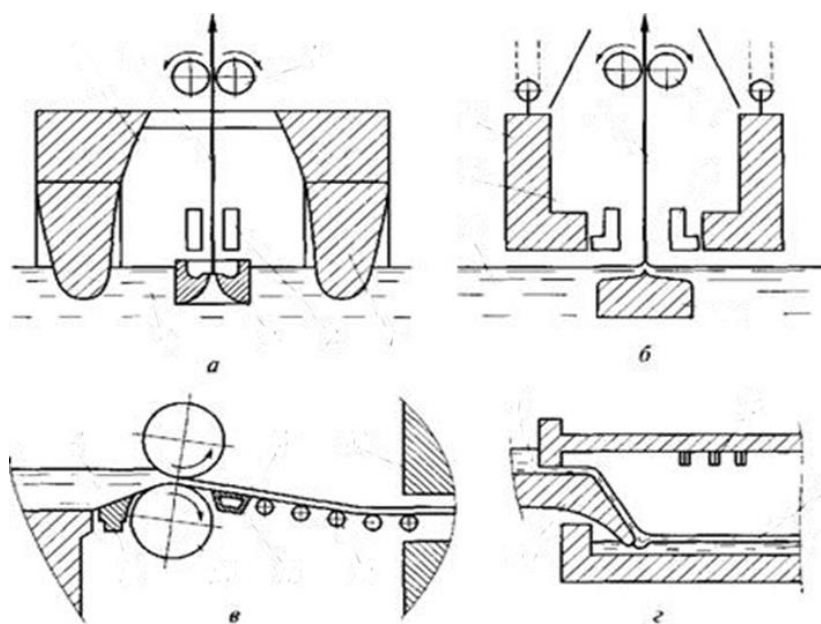


*Рис. 11. Способы формования листового стекла:  
а – способ вертикального вытягивания через лодочку,  
б – способ вертикального вытягивания (безлодочный),  
в – способ проката, г – флоат-способ*

**Отжиг** является обязательной операцией технологии производства стекла и служит для снятия больших внутренних напряжений, возникающих в изделиях при быстром их охлаждении для

закрепления формы, которые могут приводить к самопроизвольному разрушению стеклоизделий.

Операция **закалки** служит для получения закаленного стекла и предполагает доведение стекла до пластического состояния и резкое охлаждение поверхности. Такое стекло обладает повышенной в 4-6 раз прочностью на сжатие и в 5-8 раз на изгиб по сравнению с обычным стеклом.

**Заключительная обработка изделий** включает в себя технологические операции шлифования, полирования, декоративной обработки.

## 2.5. Свойства стекла

Средняя плотность силикатного строительного стекла составляет  $2500 \text{ кг/м}^3$ , стекла специального назначения имеют среднюю плотность  $2500 \dots 6000 \text{ кг/м}^3$  в зависимости от содержания добавок.

Силикатное стекло имеет практически нулевую пористость, как следствие – нулевое водопоглощение и неограниченную морозостойкость.

Предел прочности силикатного стекла на растяжение составляет до 30 МПа, на сжатие –  $700 \dots 900 \text{ МПа}$ , на изгиб – до 15 МПа. Модуль упругости стекол различного состава колеблется в пределах  $(4,5 \dots 9,8) \cdot 10^4 \text{ МПа}$ . У стекла отсутствуют пластические деформации. Хрупкость стекла является его основным недостатком. Оно плохо сопротивляется удару – предел прочности строительного стекла при ударном изгибе составляет 0,2 МПа.

Коэффициент теплопроводности стекол находится в интервале  $0,5 \dots 1,0 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$  в зависимости от состава стекла. Силикатное стекло имеет относительно малую термостойкость вследствие низкого значения коэффициента линейного температурного расширения –  $(9 \dots 15) \cdot 10^{-6} \text{ 1/°C}$ . Теплоемкость стекол при комнатной температуре составляет  $0,63 \dots 1,05 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$ .

Строительное стекло отличается высокой звукоизолирующей способностью – 1 см стекла по данному показателю соответствует кирпичной стене в полкирпича – 12 см.

Химическая стойкость стекла зависит от его состава. Силикатное стекло стойко к большинству агрессивных сред, за

исключением плавиковой и фосфорной кислот, концентрированных растворов щелочей.

Важнейшими свойствами строительных стекол являются их оптические свойства – показатели светопропускания (прозрачности), светопреломления, отражения, рассеивания. Силикатное стекло пропускает всю видимую часть спектра и практически не пропускает ультрафиолетовые лучи.

## **2.6. Листовые стекла**

### **Стекло листовое оконное (ГОСТ 111–2014. Стекло листовое бесцветное. Технические условия)**

**Листовое стекло** – изделие из стекла, изготовленное методами флоат, вертикального вытягивания или непрерывного проката без дополнительной обработки поверхностей, имеющее вид плоского прямоугольного листа (флоат-стекло, тянутое стекло, прокатное стекло).

Это основной вид стекла, используемый для остекления оконных и дверных проемов, витрин, внутренней отделки зданий.

Листовое стекло в соответствии с его оптическими искажениями и допускаемыми пороками подразделяют на **марки** М0, М1, М4, М7. Толщина листовых стекол 1...25 мм.

Стекло в зависимости **от категории размеров** подразделяют:

- на стекло твердых размеров (ТР) – изготовленное и поставленное по спецификации потребителя;
- стекло свободных размеров (СВР) – стекло, изготовленное и поставленное в заводском ассортименте размеров.

**Основные показатели качества** листового стекла, нормируемые ГОСТ:

- Предельные отклонения от номинальных размеров по длине и ширине, толщине;
- Разность длин диагоналей;
- Отклонение от плоскостности листа;
- Оптические искажения стекла;
- Количество и размеры допускаемых пороков на 1 лист стекла.

Пример условного обозначения листового стекла марки М1 твердых размеров длиной 1800 мм, шириной 1200 мм, толщиной 4 мм:

**М1–ТР–4×1800×1200 ГОСТ 111-2014.**

В строительстве применяют в основном стекло марки М4.

**Толщина** оконного стекла 3...5 мм, **светопропускание** не менее 88 %.

Усредненные свойства листовых стекол приведены в таблице 7.

Таблица 7

**Физико-механические характеристики листового стекла  
(прил. Б ГОСТ 111–2014 «Стекло листовое бесцветное.  
Технические условия»)**

| Наименование показателя                                                                 | Справочное значение         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Средняя плотность (при 18 °С)                                                           | 2500 кг/м <sup>3</sup>      |
| Предел прочности на сжатие                                                              | 700...900 МПа               |
| Предел прочности на растяжение                                                          | 30 МПа                      |
| Предел прочности на изгиб                                                               | 15 МПа                      |
| Коэффициент теплопроводности                                                            | 1,0 Вт/(м·°С)               |
| Модуль упругости (модуль Юнга)                                                          | 7·10 <sup>4</sup> МПа       |
| Коэффициент Пуассона                                                                    | 0,2                         |
| Температурный коэффициент линейного расширения (в интервале температур от 20 до 300 °С) | 9,0·10 <sup>-6</sup> 1/°С   |
| Теплопоглощающая способность                                                            | 720 Дж/(кг·°С)              |
| Температура размягчения                                                                 | 600 °С                      |
| Коэффициент теплопередачи                                                               | 5,8 Вт/(м <sup>2</sup> ·°С) |
| Коэффициент преломления света                                                           | 1,5                         |
| Коэффициент направленного отражения света                                               | 0,08                        |

Листовое оконное стекло (рис. 12) **применяют** для остекления светопрозрачных строительных конструкций – оконных и дверных проемов, витрин, изготовления стекол с покрытиями, зеркал, закаленных и многослойных стекол, стеклопакетов, облицовочных и других изделий.

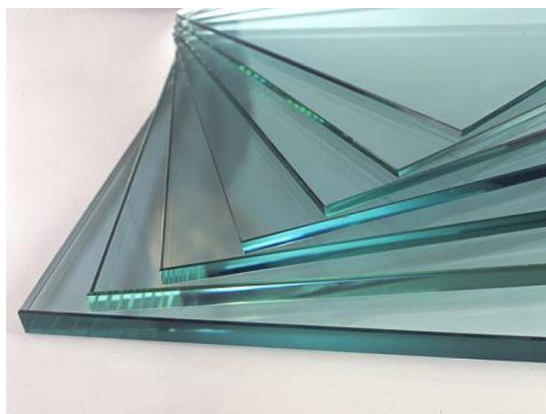


*Рис. 12. Стекло листовое оконное*

### **Витринное стекло**

Витринное стекло (рис. 13) выпускают толщиной 6...12 мм, максимальных размеров 3000×6000 мм. Оно является разновидностью листового стекла.



*Рис. 13. Пример использования витринного стекла*

Светопропускание витринных стекол составляет 79...87%. **Применяется** для остекления витрин, витражей, окон общественных, высотных зданий и др.

### **Стекло листовое узорчатое (ГОСТ 5533-2013. Стекло узорчатое. Технические условия)**

**Узорчатое стекло** (рис. 14) – прокатное стекло, имеющее рельефный повторяющийся узор на одной или обеих поверхностях. Узорчатое стекло может быть бесцветным и цветным, окрашенным

в массе или нанесением на его поверхность пленок оксидов различных металлов. К узорчатым стеклам относятся также стекла «метелица» и «мороз».



*Рис. 14. Примеры листовых узорчатых стекол*

**Стекло «метелица»** – изделие из стекла, изготовленное методом флоат с дополнительной обработкой поверхности в процессе формирования, имеющее рельефный неповторяющийся узор.

**Стекло «мороз»** – базовое стекло, поверхность которого подвергнута специальной обработке, в результате которой на ней образуется неповторяющийся узор, напоминающий заиндевшее стекло.

Узорчатое стекло выпускается номинальной толщиной 3...19 мм, в строительстве обычно применяются стекло толщиной 4...6 мм.

Пример условного обозначения узорчатого бесцветного стекла твердых размеров толщиной 6 мм, длиной 1200 мм и шириной 800 мм:

**У–ТР–6×1200×800 ГОСТ 5533–2013.**

Листовые узорчатые стекла **применяются** для декоративного заполнения световых проемов и устройства внутренних ограждений в зданиях и сооружениях различного назначения.

**Цветное листовое стекло**  
**(ГОСТ 32997–2014. Стекло листовое, окрашенное в массе.**  
**Общие технические условия)**

Окрашенное в массе стекло изготавливается методами флоат или вертикального вытягивания. Стекло в зависимости от оптических искажений, пороков, предельного отклонения по толщине и разнотолщинности подразделяют на марки Т0, Т1, Т4 и Т7.

Пример условного обозначения стекла марки Т1 зеленого цвета твердых размеров толщиной 4 мм, длиной 1800 мм, шириной 1200 мм:

**Т1(зеленое)–ТР–4×1800×1200 ГОСТ 32997–2014**

Цветное листовое стекло (рис. 15) **применяют** для декоративного остекления окон, дверей, перегородок, изготовления витражей, изготовления декоративного триплекса.



*а)*



*б)*

*Рис. 15. Цветное листовое стекло:  
а – внешний вид; б – пример декоративного остекления фасада*

**Армированное стекло**  
**(ГОСТ 7481–2013. Стекло армированное.**  
**Технические условия)**

Данное стекло армировано сеткой диаметром 0,45...0,6 мм (размер ячейки сетки 12,5 и 25 мм). Отличается повышенной прочностью и огнестойкостью (рис. 16).

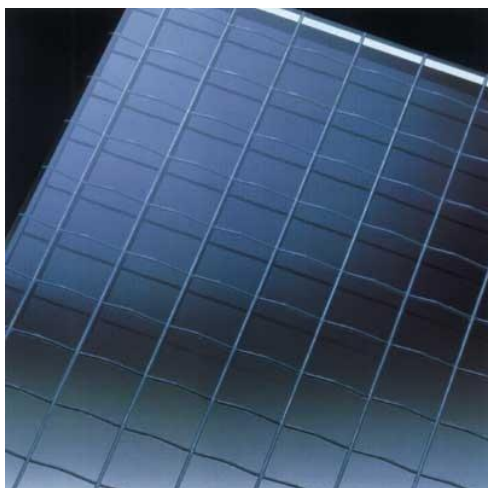


*Рис. 16. Армированное листовое стекло*

Армированное стекло может быть бесцветным или окрашенными в массу.

Армированное стекло в зависимости от состояния поверхностей подразделяют на:

- Армированное узорчатое стекло;
- Армированное полированное стекло.

Стекло в зависимости от назначения подразделяют на:

- Декоративное стекло;
- Безопасное стекло (классы защиты СМ1–СМ4);
- Огнестойкое стекло (с пределами огнестойкости Е15–Е60).

Армированное стекло выпускают номинальной толщиной 6...10 мм.

Светопропускание армированного листового стекла составляет 55 ... 75 %.

Пример условного обозначения армированного полированного бесцветного безопасного (класса защиты СМ1) огнестойкого (с пределом огнестойкости Е30) стекла твердых размеров толщиной 6 мм, длиной 1200 мм и шириной 800 мм:

**Ап–СМ1–Е30–ТР–6×1200×800 ГОСТ 7481–2013.**

**Применяется** для устройства световых проемов, фонарей верхнего света, ограждений, остекление противопожарных дверей и т.д.

## Закаленное стекло (ГОСТ 30698–2014. Стекло закаленное строительное. Технические условия)

**Закаленное стекло** (рис. 17) – это упрочненное стекло, полученное путем нагрева и последующего быстрого охлаждения базового стекла, имеющее безопасный (без образования крупных осколков) характер разрушения.



*Рис. 17. Закаленное стекло:*

*а – внешний вид; б – разбитое стекло с мелкими тупыми осколками*

При разрушении образует осколки площадью не более  $3 \text{ см}^2$  с тупыми краями – это так называемое **безопасное стекло**.

При изготовлении закаленных стекол используют листовое стекло марок М0, М1, узорчатое стекло, стекло, окрашенное в массу, стекло солнцезащитное или декоративное с мягким или твердым покрытием, стекло с низкоэмиссионным твердым или мягким покрытием.

Стекло должно быть механически прочным и выдерживать без разрушения удар стального шара массой  $(227 \pm 2) \text{ г}$ , падающего с высоты  $2...3 \text{ м}$  в зависимости от толщины стекла.

Стекло должно выдерживать без разрушения удар мягкого тела массой  $(45 \pm 1) \text{ кг}$  (в зависимости от максимальной высоты падения тела  $300...2000 \text{ мм}$ ), при которой не происходит разрушение стекла, устанавливается класс защиты стекла – СМ1 (минимальный)...СМ4 (максимальный)).

Закаленное стекло является термостойким и должно выдерживать перепад температур не менее  $200^\circ\text{C}$ .

Предел прочности листового закаленного стекла на растяжение при изгибе составляет 120 МПа, узорчатого – 90 МПа, на сжатие – 700...900 МПа.

Пример *условного обозначения* стекла закаленного, изготовленного из листового стекла марки М1 по ГОСТ 111 длиной 1400 мм, шириной 800 мм и толщиной 5 мм, класс защиты СМ 2:

**3М1 – 1400-800-5 – СМ 2 ГОСТ 30698-2014.**

**Применение:** устройство дверей, перегородок, ограждений, остекление структурных фасадов, витрин. Толщина стекла 3...25 мм.

### **Многослойное стекло – триплекс (ГОСТ 30826–2014. Стекло многослойное. Технические условия)**

**Многослойное стекло** представляет собой плоское изделие, состоящее из одного или нескольких листов неорганического стекла и пленочных или жидких полимерных и силикатных материалов, склеивающих и/или покрывающих стекла (рис. 18).

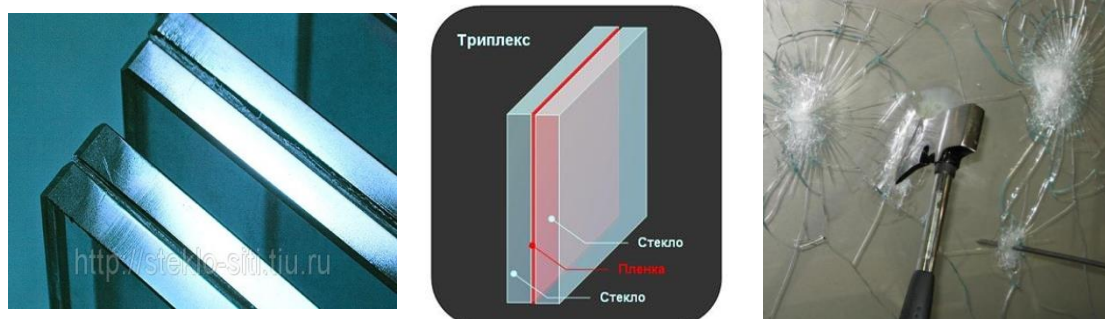


*Рис. 18. Многослойное стекло*

Для изготовления многослойных стекол используется листовое стекло, узорчатое, армированное, закаленное, энергосберегающее и др. Для изготовления многослойных стекол применяют также органическое стекло (в качестве внутренних слоев), поливинилбутиральную пленку и другие полимерные и силикатные материалы.

При изготовлении многослойного стекла склеивающие материалы должны быть полностью полимеризованы и выдерживать

испытание кипячением (в составе многослойного стекла) в течение 2 ч.

Многослойное стекло должно быть стойким к воздействию ультрафиолетового излучения в течение 100 ч.

Многослойное стекло должно быть влагостойким и выдерживать воздействие влаги при температуре 50 °С в течение 14 сут.

Оптические искажения многослойного стекла, видимые в проходящем свете, при наблюдении экрана «кирпичная стена» под углом более или равном 60° не допускаются.

Многослойное стекло **в зависимости от назначения** подразделяют на следующие виды:

- Безопасное при эксплуатации – стойкое к удару мягким телом (классы защиты СМ1–СМ4);
- Стойкое к удару твердыми предметами (классы защиты: от пробивания Р1А–Р5А, от проникновения Р6В–Р8В);
- Пулестойкое (классы защиты С1; Бр 1–Бр 6);
- Взрывостойкое (классы взрывостойкости *ER1–ER4*);
- Огнестойкое (пределы огнестойкости 15...180 мин);
- Шумозащитное (изоляция воздушного шума не менее 35 дБ);
- Морозостойкое (сохраняет свои функции при эксплуатации при температуре стекла ниже минус 30°С);
- Многослойное со специальными свойствами (например, с защитой от радиопомех, биологической или информационной защитой, повышенной несущей способностью и др.).

**Условное обозначение** многослойного стекла должно состоять из обозначения его вида, длины, ширины, толщины и обозначения стандарта.

Пример условного обозначения многослойного стекла, стойкого к удару твердыми предметами, класса защиты Р1А, длиной 1500 мм, шириной 800 мм, толщиной 13 мм:

Стекло многослойное: Р1А-1500×800×13-ГОСТ 30826-2014

Многослойное стекло отличается повышенными эксплуатационными характеристиками и **применяется** для безопасного остекления светопрозрачных строительных конструкций (фасадного, структурного остекления, элементов горизонтального остекления, оконных и дверных блоков, витрин, полов и т.д.), а также для защиты людей и ценностей.

**Теплоотражающее стекло**  
**(ГОСТ 30733-2014. Стекло с низкоэмиссионным твердым**  
**покрытием. Технические условия; ГОСТ 31364-2014.**  
**Стекло с низкоэмиссионным мягким покрытием.**  
**Технические условия)**

Данный тип стекла получают путем нанесения на поверхность базового стекла тонких ( $0,3 \dots 1,0$  мкм) пленок металлов и их оксидов – низкоэмиссионное покрытие.

**Низкоэмиссионное покрытие** – покрытие, снижающее коэффициент эмиссии стекла, что позволяет сократить потери тепла через остекление за счет снижения теплового излучения.

Низкоэмиссионное покрытие может быть твердым (стойкость которого к внешним воздействиям соответствует стойкости стекла) и мягким (стойкость которого к внешним воздействиям ниже стойкости стекла).

При изготовлении стекла с низкоэмиссионным мягким покрытием в качестве исходных используют следующие виды стекол: листовое, закаленное, многослойное (рис.19).

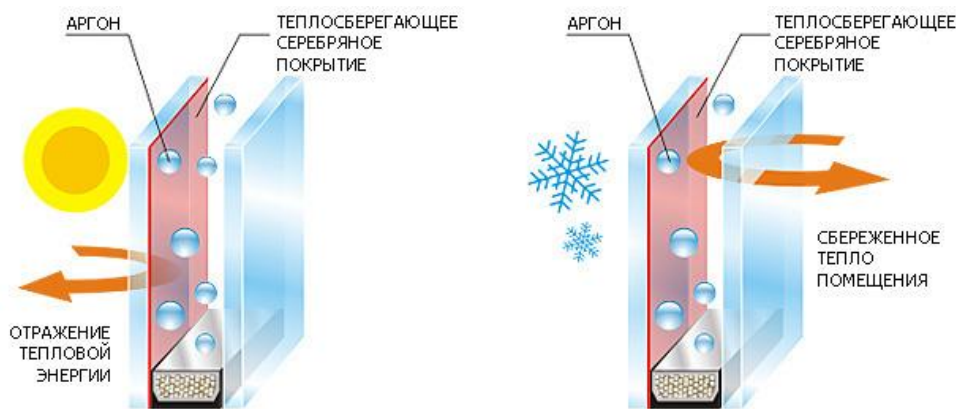


*Рис. 19. Принцип работы теплоотражающего стекла*

Светопропускание таких стекол строительного назначения (толщиной  $4 \dots 6$  мм) составляет  $83 \dots 85$  %, пропускание тепла  $40 \dots 60$  %. Принцип действия теплоотражающего стекла основан на том, что большая часть инфракрасных лучей не поглощается, а отражается покрытием (рис. 12.9), при этом само стекло почти не нагревается. Стекла с низкоэмиссионным покрытием повышают теплозащиту зимой вследствие уменьшения излучения из помещения и препятствуют перегреву помещения летом, отражая

тепловые лучи наружу. Толщина стекол с мягким покрытием 3...10 мм, с твердым 3...25 мм, стекла могут иметь различную окраску.

Пример условного обозначения стекла свободных размеров с низкоэмиссионным мягким покрытием длиной 2500 мм, шириной 1800 мм и толщиной 4 мм:

**И–СВР–2500×1800×4 ГОСТ 31364–2014.**

Пример условного обозначения стекла твердых размеров с низкоэмиссионным твердым покрытием длиной 2200 мм, шириной 1000 мм и толщиной 4 мм:

**К–ТР–2200×1000×4 ГОСТ 30733–2014.**

**Применяются** для остекления световых проемов.

### **Увиолевое стекло**

**Увиолевое стекло** – стекло, обладающее повышенным пропусканием ультрафиолетового излучения (пропускает 45...75 % УФ лучей). В составе увиолевого стекла должно быть минимизировано содержание оксидов, поглощающих в ультрафиолетовой части спектра –  $Fe_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  и  $TiO_2$ . По внешнему виду и оптическим показателям увиолевое стекло не отличается от листового оконного стекла.

Увиолевое стекло **применяется** для остекления школ, детских домов, лечебных учреждений, парников, для колб люминесцентных и бактерицидных ламп и т.д.

### **Теплопоглощающее стекло**

**Теплопоглощающее стекло** – стекло, характеризующееся достаточно высоким пропусканием в видимой области спектра и высоким поглощением в ближней инфракрасной области спектра. Светопропускание такого стекла не менее 50%, пропускание солнечной энергии – не более 60%. Ввиду высокой поглощающей способности теплопоглощающие стекла нагреваются значительно выше, чем обычные стекла.

Теплопоглощающее стекло окрашено в массе оксидами металлов и имеет широкую цветовую гамму (голубое, зеленое, серое, янтарное, бронзовое). Такое стекло повышает комфорт внутри

помещений, уменьшает расход электроэнергии системами кондиционирования. Теплопоступления внутрь помещений через оконные проемы при использовании теплопоглощающего стекла снижаются в 1,3 раза, а температура – на 3...5°C в сравнении с обычным остеклением.

### Самоочищающиеся стекла

Самоочищающееся стекло – стекло, с которого под действием дождевой воды и ультрафиолетового излучения удаляются осаждающиеся на нем загрязнения.

Получают путем нанесения на поверхность базового стекла самоочищающегося фотокаталитического покрытия (как правило,  $\text{TiO}_2$ ).

Принцип работы самоочищающегося стекла показан на рисунке 20. Под действием ультрафиолетового излучения в присутствии фотокатализатора происходит активное разложение органических загрязнений. Вода, попадая на стекло, смывает вещества, полученные в результате распада и неорганические загрязнения. На данном виде стекла покрытие является гидрофильным – на нем дождевая вода не оставляет разводов от попадающих капель.

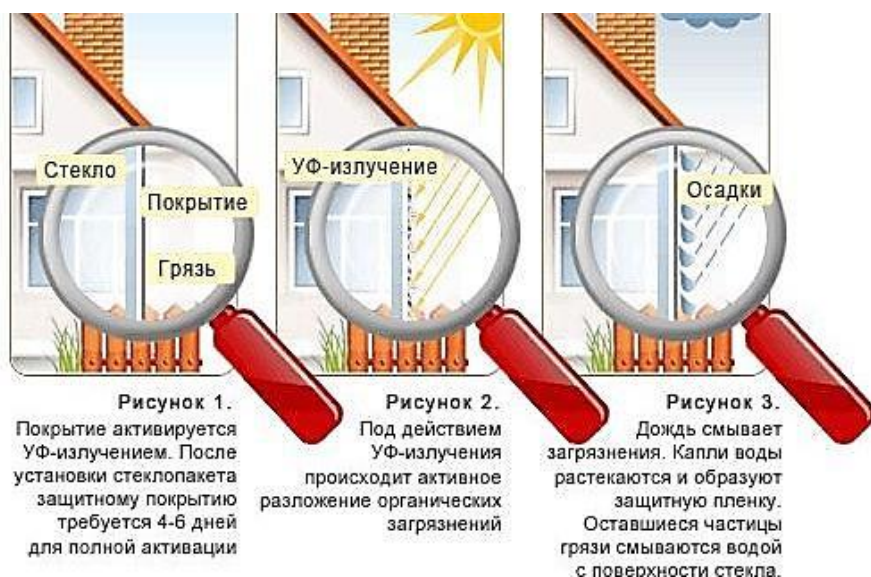


*Рис. 20. Принцип работы самоочищающегося стекла*

**Применение** такого стекла целесообразно для остекления любых сооружений, прежде всего зданий, для которых очистка

остекления является затратным и трудоемким мероприятием – например, высотные здания.

### Электропроводящее стекло

Электропроводящее стекло применяется в строительстве для стеклопакетов, используемых как источники тепла (например, для обогрева мансардных окон зимой). Электропроводящие прозрачные покрытия (например, тонкие (0,5 мкм) пленки солей металлического серебра) наносят на поверхность стекла с целью обогрева стекла и предотвращения запотевания.

### Смарт-стекло (smartwindow)

Для этого вида листовых стекол также используются названия «умное стекло», «стекло с изменяющимися свойствами», «электрохромное стекло» (рис. 21).



Рис. 21. Схема работы смарт-стекла

Смарт-стекло представляет собой многослойное стекло, изменяющее свои оптические свойства (опалесценция (матовость), коэффициент светопропускания, коэффициент поглощения тепла и др.) при изменении внешних условий, например, освещенности, температуры или при подаче электрического тока.

Смарт-стеклами, изменяющими свои свойства под действием электрического тока, можно управлять при помощи соответствующих датчиков.

Термин «смарт-стекло» является собирательным – к нему относят фотохромные стекла, самоочищающиеся стекла, автоматически открывающиеся / закрывающиеся окна, проекционное стекло, звуковое стекло, сенсорное стекло, электрообогреваемое

стекло и др. Пример использования смарт-стекла в интерьере представлен на рисунке 22.



*Рис. 22. Пример использования смарт-стекла в интерьере*

Смарт-стекло позволяет уменьшить потери тепла, сократить расходы на кондиционирование и освещение, служит альтернативой жалюзи и механическим затеняющим экранам, шторам. К основным недостаткам смарт-стекла относят высокую стоимость, необходимость использования электрического тока, малая скорость переключения между состояниями, меньший по сравнению с обычным стеклом коэффициент светопропускания.

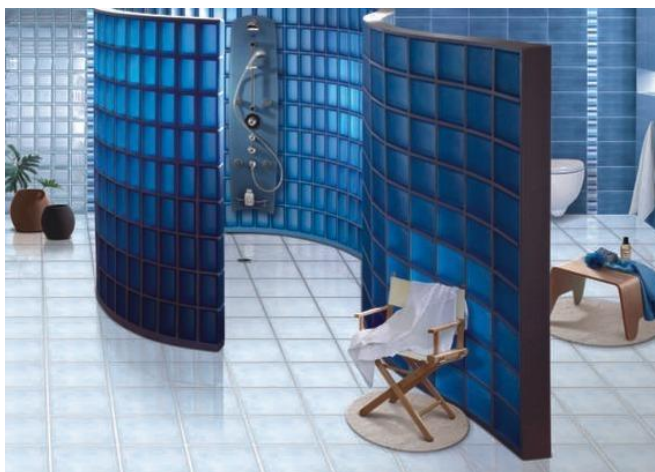
## **2.7. Материалы и изделия из стекла**

### **Стеклоблоки**

Стеклоблок представляет собой герметичную, полую стеклянную коробку с гладкими наружными и ребристыми внутренними поверхностями (рис. 23). Ребра и призмы на внутренней поверхности препятствуют прямой видимости через блок. Стеклоблоки могут быть неокрашенными и цветными, с различным рисунком. Характеризуются высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, светопропусканием 30...55%, пределом прочности на сжатие до 1,5 МПа.



а)



б)

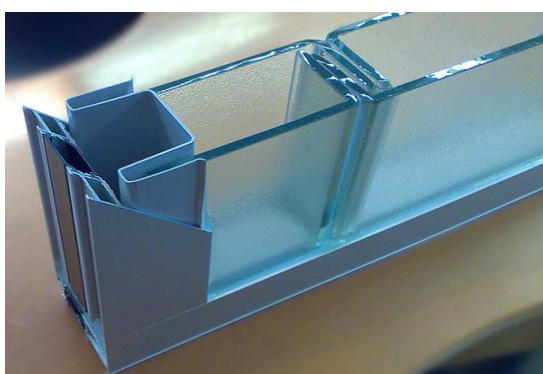
*Рис. 23. Стеклоблоки:*

*а – внешний вид; б – пример использования в интерьере*

**Применяются** для устройства наружных и внутренних ограждений, устройства перегородок.

**Стеклопрофилит (стекло строительное профильное)  
(ГОСТ 21992-83. Стекло строительное профильное.  
Технические условия)**

Стеклопрофилит представляет собой погонажные длинномерные светопрозрачные изделия (рис. 24).



а)



б)

*Рис. 24. Стекло строительное профильное:*

*а – конструкция перегородки; б – пример использования в интерьере*

Профильное стекло изготавливается открытого (швеллерное, ребристое и т.д.) и замкнутого (коробчатое, овальное, треугольное

и т.д.) сечений, неармированное и армированное, бесцветное и цветное. Светопропускание стеклопрофилита составляет 73...82 %, коэффициент теплопроводности 0,76 Вт/(м·°С).

Стеклопрофилит **применяется** для устройства светопрозрачных ограждений и самонесущих стен, внутренних перегородок и прозрачных плоских кровель.

### Стеклопакеты

**Стеклопакет** – изделие, состоящие из двух или более листов стекла, соединенных между собой по контуру с помощью дистанционных рамок и герметиков, образующих герметически замкнутые камеры, заполненные осушенным воздухом или другим газом (рис. 25).



*Рис. 25. Конструкция стеклопакета*

Однокамерный стеклопакет – стеклопакет, состоящий из двух листов базового стекла, образующих одну замкнутую камеру.

Двухкамерный стеклопакет – стеклопакет, состоящий из трех листов базового стекла, образующих две замкнутые камеры.

Стеклопакеты обладают повышенной тепло- и звукоизоляцией. Целесообразно использовать двухкамерные стеклопакеты как более эффективное решение.

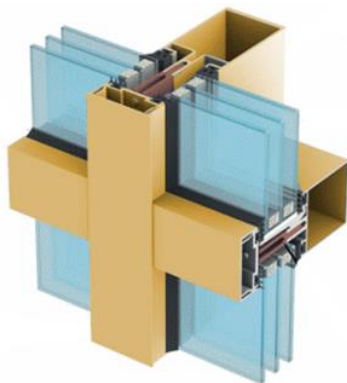
В конструкции стеклопакета используются оконные листовые стекла, стекла со специальными свойствами – с низкоэмиссионным покрытием, самоочищающиеся, теплоотражающие, электропроводящие и др. В конструкции стеклопакетов для фасадного остекления используется закаленное и многослойное стекло (рис. 26).



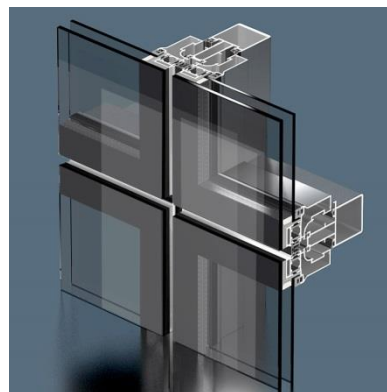
а)



б)



в)



г)

Рис. 26. Примеры использования стеклопакетов:  
а – оконный блок с пластиковым профилем; б – оконный блок с деревянной рамой; в – фасадное рамное остекление; г – фасадное безрамное (структурное остекление).

Стеклопакеты **применяют** для остекления окон, дверей, витрин, фасадов и т.д. Поскольку использование стеклопакетов и пластиковых окон существенно изменяют микроклимат помещения, препятствуя естественной вентиляции, при установке таких окон целесообразно предусматривать системы приточной вентиляции, вентиляционные отдушины в стенах либо использовать окна с клапанами приточной вентиляции.

## 2.8. Облицовочные изделия из стекла

### Стемалит

**Стемалит** (стекло закаленное эмалированное) – изделие из плоского стекла, внутренняя поверхность которого окрашена эмалевой краской, подвергнутой термообработке (рис. 27). Толщина изделий 5...25 мм, размеры от 400×900 мм до 1500×1100 мм.



а)



б)

Рис. 27. Стемалит:

а – вид изделий; б – пример использования для облицовки фасада

Стемалит применяют для облицовки стен зданий, в интерьерах.

### Облицовочная плитка

Стеклопанельная облицовочная плитка представляет собой изделия из неокрашенного или цветного глушеного стекла размерами от 50×50 мм до 150×150 мм, толщиной 4...9 мм (рис. 28).



Рис. 28. Стеклопанельная облицовочная плитка

Лицевая поверхность стеклянных облицовочных плиток может быть гладкая или с узорами, тыльная сторона – рифленой или шероховатой.

**Применяется** для внутренней облицовки стен. Из стекла зачастую изготавливают декоративные элементы, используемые для декора стен, облицованных керамической плиткой.

### **Стеклянная мозаика**

**(ГОСТ 17057-89. Плитки стеклянные облицовочные коврово-мозаичные и ковры из них. Технические условия)**

Стеклянная мозаика представляет собой стеклянные коврово-мозаичные облицовочные плитки размерами  $21 \times 21 \times 5$  мм и  $46 \times 46 \times 5$  мм, наклеенные на стеклосетку и таким образом собранные в ковры (рис. 29).



а)



б)

*Рис. 29. Стеклянная мозаика:*

*а – вид ковра; б – пример использования для внутренней облицовки*

**Применяется** для наружной и внутренней облицовки.

### **Смальта**

Смальта представляет собой кусочки глушеного стекла неправильной формы размером до 20 мм. Применяется для отделки фасадов, изготовления мозаичных панно (рис. 30).



а)



б)

*Рис. 30. Смальта:  
а – внешний вид; б – пример отделки фасада смальтой*

## 3. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

### 3.1. Области применения металлических конструкций

По объему применения металлические несущие строительные конструкции занимают второе место после железобетонных. Основные области применения металлических конструкций:

- Промышленные здания;
- Большепролетные покрытия зданий;
- Мосты, эстакады;
- Листовые конструкции;
- Башни и мачты;
- Каркасы многоэтажных зданий;
- Крановые и другие подвижные конструкции и др.

Для строительных конструкций используется в основном малоуглеродистая ( $C < 0,22\%$ ) сталь и алюминиевые сплавы. В опорных частях конструкций при действии больших сжимающих нагрузок применяются отливки из литой углеродистой стали и серого чугуна.

### 3.2. Основные понятия

**Металлами** называют простые вещества, отличающиеся характерными металлическими свойствами – высокая теплопроводность и электропроводность, металлический блеск, ковкость, пластичность и др.

Основные металлы, применяемые в строительстве:

- Железо → сталь, чугун → конструкции из стали и чугуна;
- Алюминий → алюминиевые конструкции;
- Медь → кровли, трубы, облицовочные панели;
- Цинк → защитные покрытия, облицовочные панели.

В чистом виде металлы применяются редко ввиду низкой прочности, твердости и высокой пластичности. В основном они используются в виде сплавов с другими металлами и неметаллами. Это обусловлено их более высокой прочностью, наличием специфических свойств или их сочетаний, не встречающихся у чистых металлов. Кроме того, свойства сплавов можно изменять при

помощи пластической деформации, термической или термомеханической обработки значительно сильнее, чем свойства чистых металлов.

**Сплав** – вещество, состоящее из двух или более компонентов, один из которых обязательно должен быть металл.

**Фаза** – однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностью раздела, при переходе через которую структура и свойства резко меняются.

**Система** – совокупность фаз в сплаве, находящихся в состоянии стабильного равновесия.

**Черные металлы** – железо и его сплавы. Сырьем служат руды железа, представленные минералами класса оксидов – магнетитом ( $\text{FeFe}_2\text{O}_4$ ), гематитом ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), хромитом ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) и др.

**Цветные металлы** – Ве, Mg, Al, Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn и т.д. Сырьем служат руды цветных металлов.

**Сталь** – сплав железа с углеродом с содержанием  $\text{C} \leq 2,14\%$ .

**Чугун** – сплав железа с углеродом с содержанием  $2,14\% < \text{C} \leq 6,67\%$ .

Все металлы, затвердевающие в нормальных условиях, представляют собой кристаллические вещества, т.е. укладка атомов в них характеризуется определенным порядком – периодичностью как по различным направлениям, так и по различным плоскостям. Этот порядок определяется понятием **кристаллическая решетка**. Всего для кристаллических тел существует 14 видов решеток (рис. 31).

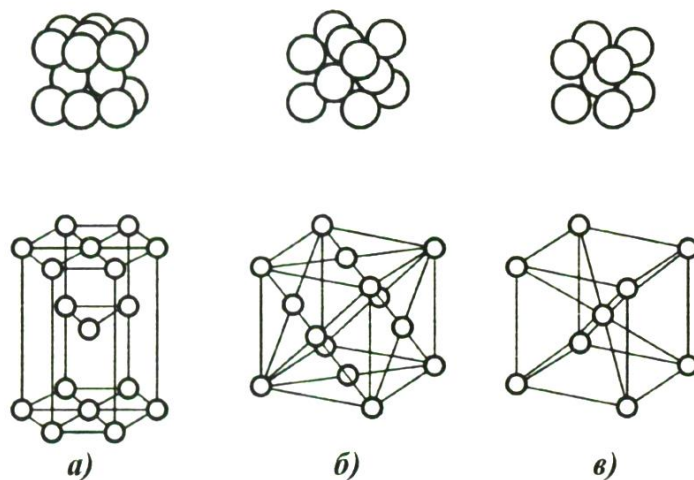


Рис. 31. Основные типы кристаллических решеток:  
а – гексагональная плотноупакованная (ГПУ); б – гранецентрированная кубическая (ГЦК); в – объемно-центрированная кубическая (ОЦК)

Способность некоторых металлов существовать в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий называется **аллотропией** или **полиморфизмом**. Используя явление полиморфизма, можно упрочнять и разупрочнять сплавы при помощи термической обработки.

**Твердые растворы** – это кристаллические фазы переменного состава, которые образованы на основе кристаллической решетки компонента растворителя.

При этом атомы растворенного вещества занимают определенные места в решетке растворителя. Если содержание растворенного вещества невелико, то твердый раствор по свойствам мало отличается от металла-растворителя. Атомное строение твердого раствора такое же, как металла-растворителя. Различие заключается в изменении периода кристаллической решетки. После завершения кристаллизации твердые растворы состоят из однородных зерен.

**Твердые растворы замещения** – образуются путем замены атомов растворителя в его кристаллической решетке атомами растворенного компонента (рис. 32, а). Образуются только в системе металл-металл. Почти все металлы в жидком состоянии растворяются друг в друге в любых соотношениях.

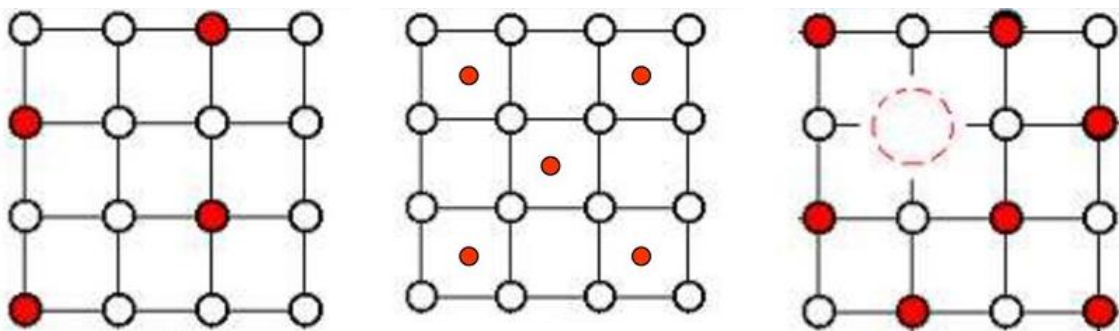


Рис. 32. Твердые растворы:  
а – замещения; б – внедрения; в – вычитания

**Твердые растворы внедрения** образуются путем размещения атомов растворенного компонента в свободных межатомных пространствах кристаллической решетки растворителя (рис. 32, б). Твердые растворы внедрения образуются в системе металл-неметалл, т.к. атомные радиусы неметаллов намного меньше атомных

радиусов металлов. Твердые растворы внедрения всегда имеют ограниченную растворимость.

В *твердых растворах вычитания* избыточные (относительно среднего состава соединения) атомы одного из компонентов занимают нормальные места в кристаллической решетке, тогда как места, которые должны были бы быть заняты другим компонентом, оказываются частично свободными (рис. 32, в).

### 3.3. Основы технологии производства чугуна и стали

Чугун получают в результате доменного процесса (рис. 33), в ходе которого происходит восстановление железа из его природных оксидов, содержащихся в рудах, коксом при высокой температуре.

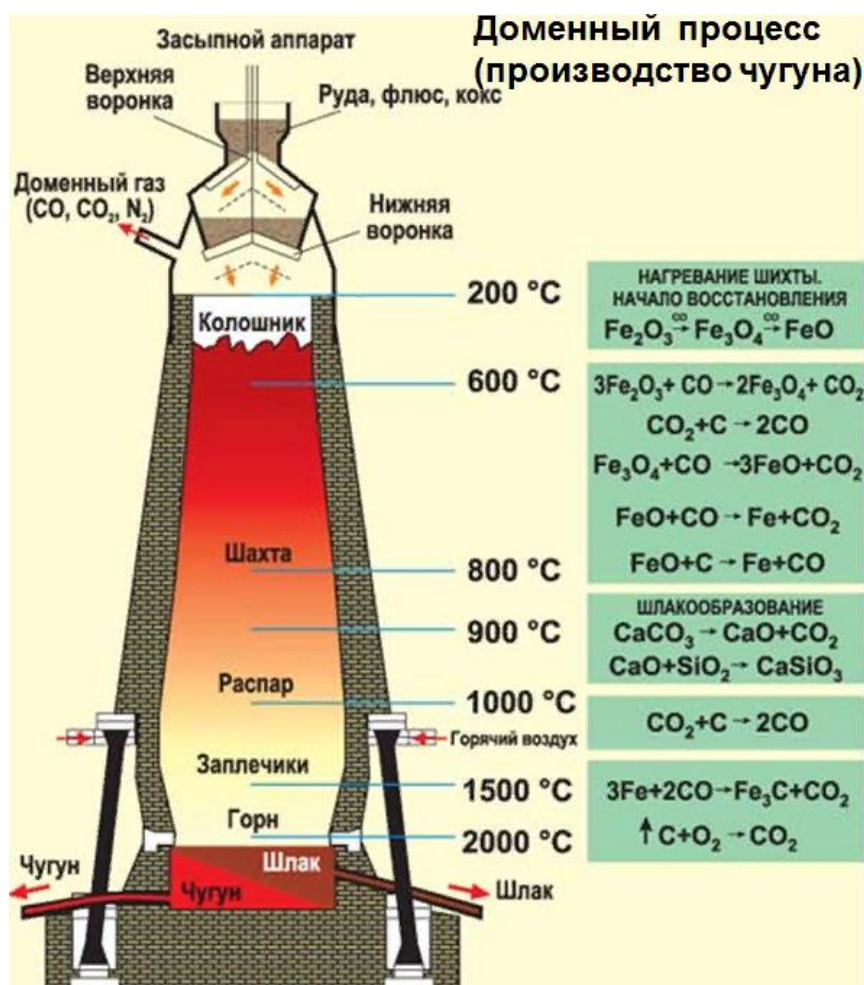


Рис. 33. Схема доменного процесса

Кокс, сгорая, образует углекислый газ. При прохождении через раскаленный кокс он превращается в оксид углерода, который восстанавливает железо в верхней части печи по обобщенной схеме:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ .

Опускаясь в нижнюю горячую часть печи, железо плавится в соприкосновении с коксом и, частично растворяя его, превращается в чугун.

Чугун: 93% железа, 5% углерода, примеси кремния, марганца, фосфора, серы и др.

В зависимости от назначения чугуны разделяют на **литейный** (серый чугун) и **передельный** (белый чугун).

В **белом чугуне** углерод находится в связанном состоянии в виде  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Такой чугун имеет высокую твердость и хрупкость.

В **сером чугуне** углерод содержится в свободном состоянии в виде графита. В зависимости от формы графитовых включений (пластинчатая, хлопьевидная, волокнистая или шаровидная) такой чугун имеет разные физико-механические характеристики.

Переработка передельного чугуна осуществляется с целью освобождения его от некоторой части углерода методом окисления.

**Сталь** получают удалением из чугуна части углерода и примесей одним из трех способов:

1. Конверторный способ (рис.34);
2. Мартеновский способ;
3. Электроплавление (рис. 35).

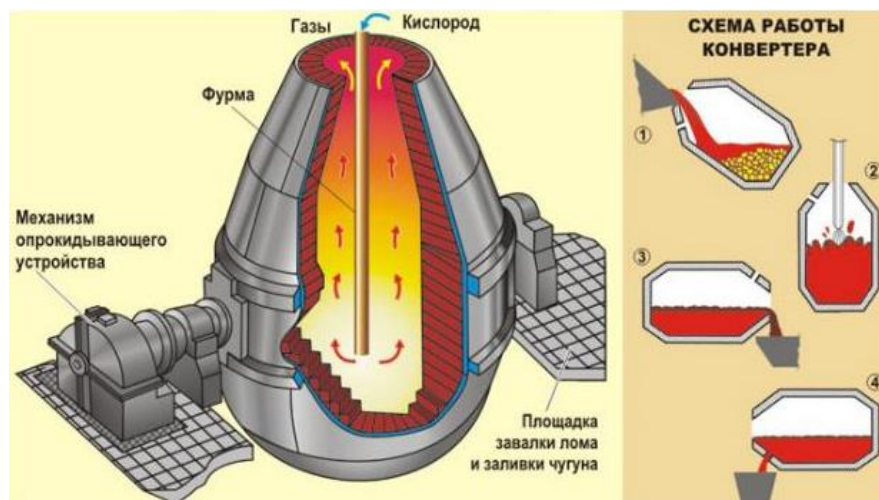


Рис. 34. Конверторный способ выплавки стали

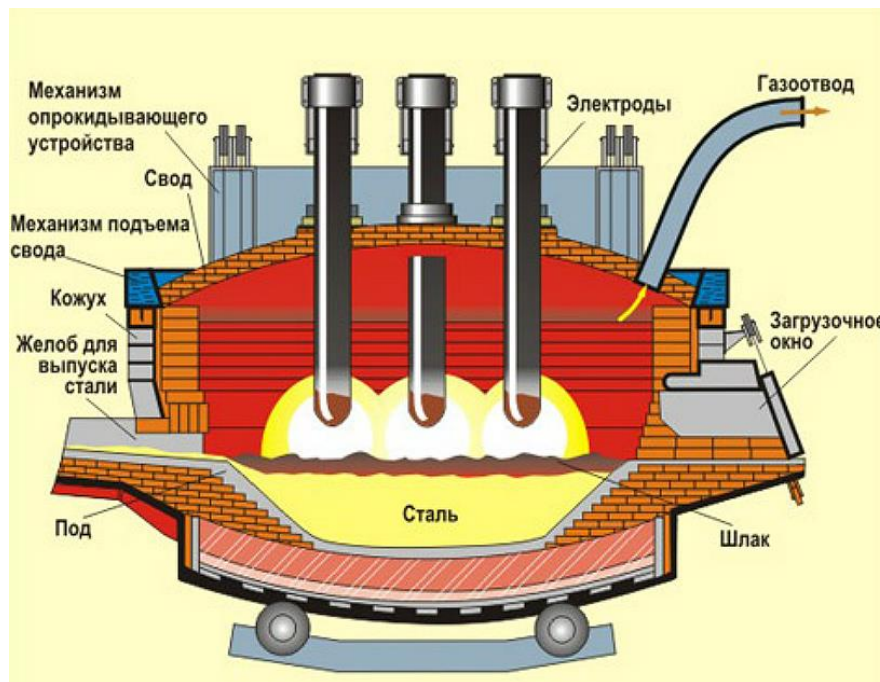


Рис. 35. Электродуговая печь

### 3.4. Свойства стали

#### Положительные свойства стали:

- Высокая прочность;
- Пластичность;
- Хорошая свариваемость;
- Выносливость;
- Способность упрочняться и улучшать свойства при термо-механических и химических воздействиях;
- Однородность механических свойств.

#### Недостатки стали:

- Низкая коррозионная стойкость и необходимость устройства антикоррозионной защиты стальных конструкций;
- Снижение пластических свойств при низких температурах;
- Низкая огнестойкость.

**Прочность** – определяется испытанием стандартных образцов круглого или прямоугольного сечения с записью диаграммы зависимости между  $\sigma$  и  $\epsilon$ :

$$\sigma = \frac{F}{A}; \quad \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%.$$

*Основные прочностные характеристики:*

$\sigma_u$  — временное сопротивление, наибольшее условное напряжение в процессе разрушения образца;

$\sigma_y$  — предел текучести, напряжение, при котором деформации образца растут без изменения нагрузки и образуется площадка текучести;

$\sigma_{0,2}$  — условный предел текучести, при котором остаточное относительное удлинение достигает 0,2 %.

На рисунке 36 представлена диаграмма « $\sigma - \epsilon$ » для малоуглеродистой стали.

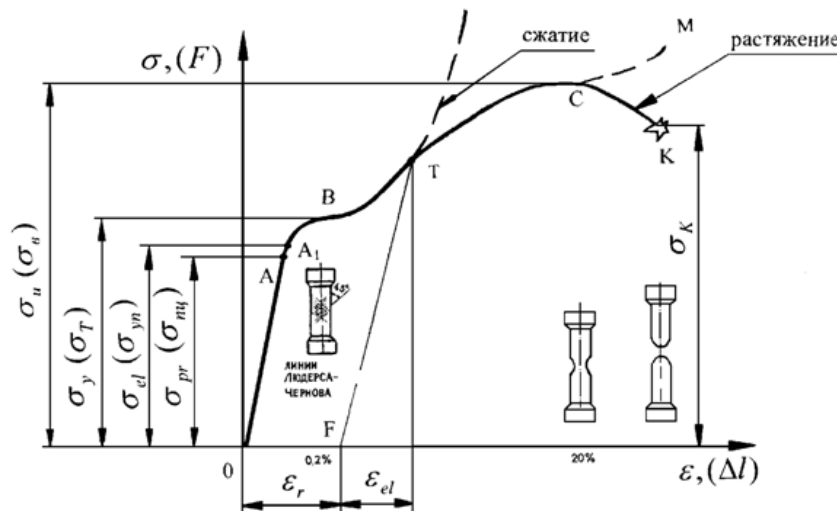


Рис. 36. Диаграмма « $\sigma - \epsilon$ » для малоуглеродистой стали

Мерой пластичности служит **относительное остаточное удлинение при разрыве « $\delta$ »:**

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100\%.$$

Упругие свойства определяются **модулем упругости  $E$** .

Склонность металлов к **хрупкому разрушению** оценивается по результатам испытаний **на ударную вязкость** на маятниковых копрах. Ударная вязкость определяется затраченной на разрушение образца работой, отнесенной к площади поперечного сечения (Дж/см<sup>2</sup>) (рис. 37).

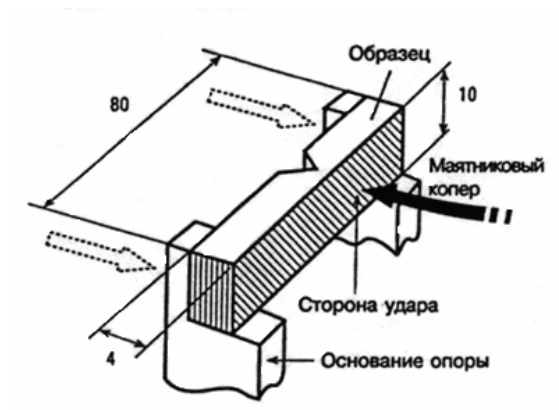


Рис. 37. Схема испытания на ударную вязкость

Вязкое и хрупкое разрушение различаются между собой по величине пластической зоны у вершины трещины.

При **хрупком разрушении** величина пластической зоны в устье трещины мала. При **вязком разрушении** величина пластической зоны, идущей впереди распространяющейся трещины, велика, а сама трещина затупляется у своей вершины. Вязкое разрушение обусловлено малой скоростью распространения трещины. Скорость распространения хрупкой трещины велика и для стали составляет до 2500 м/с. Поэтому нередко хрупкое разрушение называют «внезапным» или «катастрофическим».

Транскристаллитное разрушение может быть как вязким, так и хрупким, межкристаллитное – только хрупким.

Все концентраторы напряжений способствуют хрупкому разрушению.

**Свариваемость** – важнейшее требование, предъявляемое к металлам строительных конструкций. Оценивается по химическому составу (углеродному эквиваленту):

$$C_3 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}.$$

При  $C_3 \leq 0,4\%$  – сварка не вызывает затруднений.

При  $0,4\% \leq C_3 \leq 0,55\%$  – сварка возможна при принятии специальных мер по предотвращению появления трещин.

При  $C_3 \geq 0,55\%$  – резко возрастает опасность появления трещин.

**Долговечность** – определяется в первую очередь коррозионной стойкостью металла. Одним из показателей коррозионной стойкости служит скорость коррозии по толщине металла, мм/год.

**Технологические свойства** – важны для выполнения операций гибки, резки, строжки, сверления, обработки резанием.

**Твердость металлов** оценивается по разным шкалам – по Бринеллю (HB), по Роквеллу (HRA; HRB; HRC), по Виккерсу (HV).

### 3.5. Фазовый состав железоуглеродистых сплавов

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны – важнейшие металлические сплавы современной промышленности. Производство чугуна и стали по объему превосходит производство всех других металлов, вместе взятых, более чем в 10 раз. Основное представление о строении железоуглеродистых сплавов дает диаграмма состояния «железо-углерод». Начало изучению диаграммы принадлежит Д.К. Чернову, который в 1868 г. впервые указал на существование в стали критических точек и на зависимость их положения от содержания углерода.

Железо образует с углеродом химическое соединение – **цементит ( $\text{Fe}_3\text{C}$ )**. Каждое устойчивое химическое соединение можно рассматривать как компонент, а диаграмму – по частям. Т.к. на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода до 5%, то рассматривают часть диаграммы состояния от чистого железа до химического соединения цементита, содержащего 6,67% углерода.

#### Компоненты железоуглеродистых сплавов

**Железо** – металл светло-серебристого цвета, имеет температуру плавления  $1539^\circ\text{C}$ . В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях. При температуре ниже  $911^\circ\text{C}$  существует  $\text{Fe}_\alpha$ , имеет ОЦК-решетку с периодом 0,286 нм. В интервале температур  $911\text{--}1392^\circ\text{C}$  устойчивым является  $\text{Fe}_\gamma$  с ГЦК-решеткой с периодом 0,364 нм. Выше  $1392^\circ\text{C}$  железо имеет ОЦК-решетку и называется  $\text{Fe}_\delta$ , или высокотемпературное.

Железо технической чистоты имеет невысокую твердость (80 HB), невысокую прочность ( $\sigma_{\text{в}}=300$  МПа,  $\sigma_{\text{т}}=120$  МПа),

высокие характеристики пластичности ( $\delta=50\%$ ,  $\psi=70\%$ ,  $KCU=2,5$  МДж/м<sup>2</sup>). Характеризуется высоким модулем упругости, наличие которого проявляется и в сплавах на его основе.

Железо со многими элементами образует растворы: с металлами – растворы замещения, с углеродом, азотом и водородом – растворы внедрения.

**Углерод** относится к неметаллам. Обладает полиморфным превращением и существует в форме графита с гексагональной кристаллической решеткой (температура плавления 3500 °С) или в форме алмаза со сложной кубической решеткой (температура плавления 5000 °С).

### **Фазы железоуглеродистых сплавов**

В сплавах железа с углеродом углерод находится в твердых растворах (феррит, аустенит), в виде химического соединения – цементита ( $Fe_3C$ ), а также в свободном состоянии в виде графита (в серых чугунах).

В системе  $Fe - C$  **5 фаз:**

1. Расплав;
2. Феррит (Ф);
3. Аустенит (А);
4. Цементит (Ц);
5. Графит (Гр)

и **2 механические смеси:**

1. Перлит ( $П=Ф+ЦII$ );
2. Ледебурит ( $Л=А+ЦII$ ).

**Феррит** – твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -Fe. Имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную 0,006% при комнатной температуре, максимальную – 0,02% при температуре 727 °С. Углерод располагается, в основном, в дефектах кристаллической решетки (вакансиях, дислокациях). Чистый феррит пластичен, имеет небольшую прочность и твердость, магнитен,  $\sigma_B=250$  МПа,  $\sigma_{0,2}=120$  МПа,  $\delta=40\%$ ,  $\psi=70\%$ , HB 80–100,  $KCU=2,5$  МДж/м<sup>2</sup>.

**Аустенит** – твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -Fe. Имеет гранецентрированную кубическую решетку (ГЦК), межатомные расстояния в которой больше чем в ОЦК решетке, поэтому растворимость углерода в  $\gamma$ -Fe значительно выше и достигает 2,14%.

Углерод занимает место в центре ГЦК-ячейки. Аустенит устойчив в железоуглеродистых сплавах при  $t > 727^\circ\text{C}$ . Легирование его Mn, Cr, Si, Mo и В повышает устойчивость аустенита при охлаждении вплоть до комнатных температур и определяет возможность получения закалочных структур. Прочность и твердость аустенита в 2,5–3 раза выше феррита при той же пластичности и пределе текучести.

**Цементит** – карбид железа ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), содержащий 6,67% С. Является метастабильной фазой, претерпевающей изменения при легировании и термической обработке. При определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита (важно для структурообразования чугунов). Твердость цементита в 3–4 раза больше, чем у аустенита и в 9–10 раз – феррита, при этом цементит имеет практически нулевую пластичность.

Различают:

- Цементит первичный (ЦИ) – выделяется из расплава;
- Цементит вторичный (ЦИІ) – выделяется из аустенита;
- Цементит третичный (ЦИІІ) – выделяется из феррита.

Физические и химические свойства этих фаз одинаковы.

**Графит** – стабильная фаза. Имеет слоистое строение, малую прочность и электропроводность, мягок и хрупок.

Эвтектоид – **перлит** (0,8% С) и эвтектику – **ледебурит** (4,3% С) рассматривают как самостоятельные структурные составляющие, оказывающие заметное влияние на свойства сплавов.

**Перлит** – эвтектоидная мельчайшая смесь, содержащая 0,8% углерода. Структура перлита состоит из пластинок феррита и цементита, а на микрошлифе имеет вид перламутра. С увеличением содержания углерода в стали снижается количество феррита и возрастает содержание перлита. Перлит чаще всего имеет пластинчатое строение и является прочной структурной составляющей:  $\sigma_{\text{в}}=800\text{--}900\text{ МПа}$ ,  $\sigma_{0,2}=450\text{ МПа}$ ,  $\delta\leq 16\%$ , 180–220 НВ.

На рисунке 38 представлена диаграмма фазового равновесия «железо – углерод».

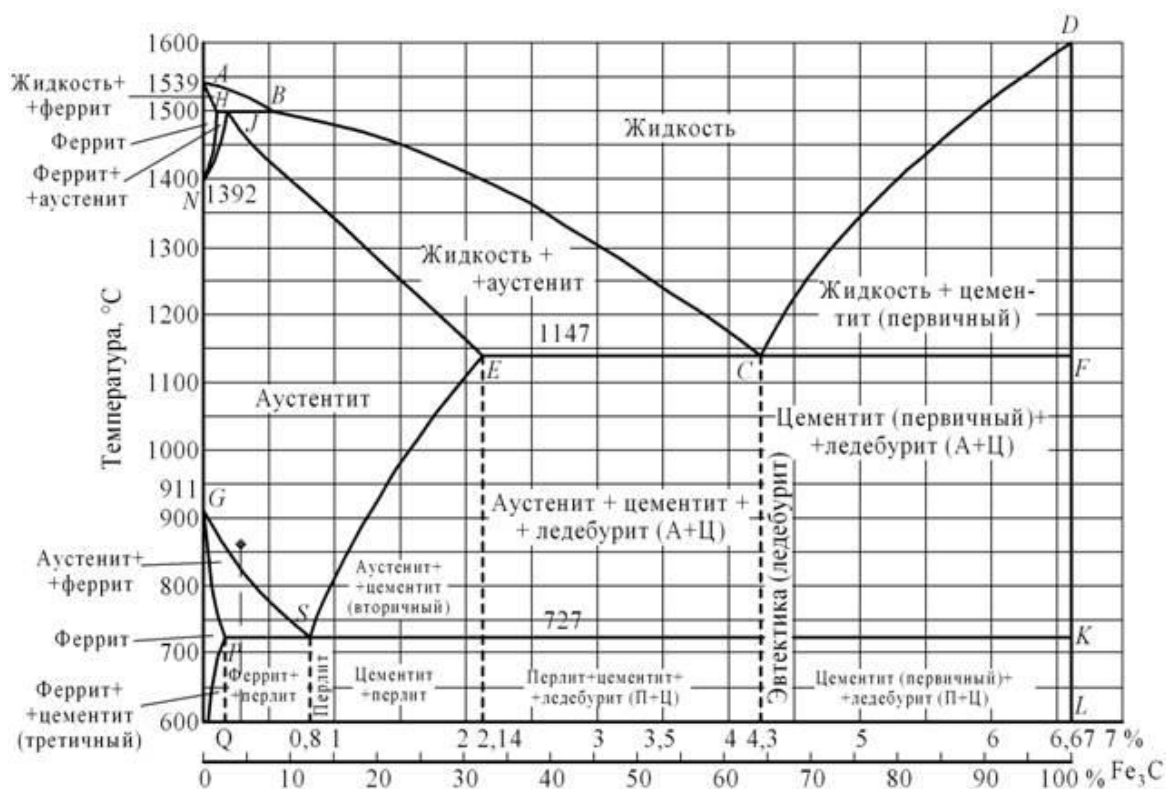


Рис. 38. Диаграмма фазового равновесия «железо – углерод»:  
*A* – температура плавления чистого железа (1539°C);  
*D* – температура плавления чистого цементита (1500°C);  
 Линия *ABCD* – линия ликвидуса. Линия *АНЕССF* – линия солидуса.  
 Выше линии солидуса существует жидкий сплав – жидкий раствор углерода в железе

По содержанию углерода железоуглеродистые сплавы разделяют на стали (содержащие до 2,14 % углерода) и чугуны (с содержанием углерода свыше 2,14%) (рис. 39). Принятая граница между сталями и чугунами соответствует наибольшей растворимости углерода в аустените.

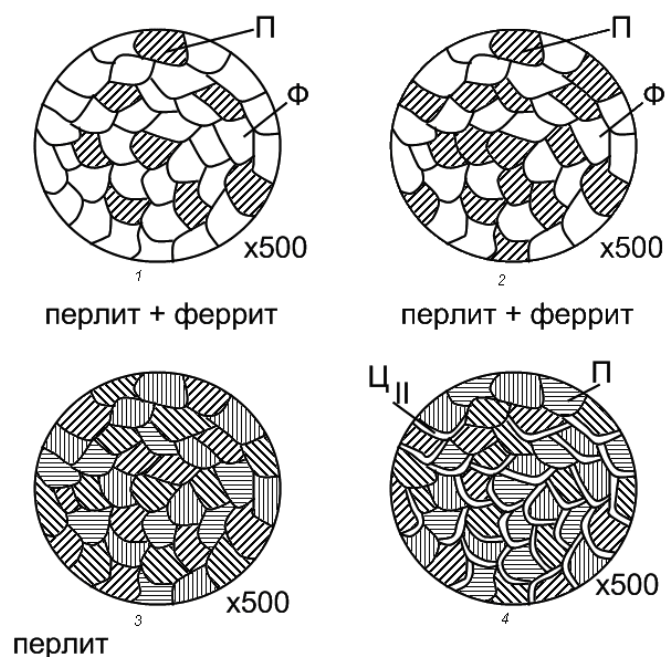


Рис. 39. Микроструктура стали (схема)

В таблице 8 представлена классификация железоуглеродистых сплавов в зависимости от содержания углерода.

Таблица 8

**Классификация железоуглеродистых сплавов в зависимости от содержания углерода**

|                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| Техническое железо     | $C \leq 0,02\%$        |
| Доэвтектоидные стали   | $C = 0,02 \dots 0,8\%$ |
| Эвтектоидные стали     | $C = 0,8\%$            |
| Заэвтектоидные стали   | $C = 0,8 \dots 2,14\%$ |
| Доэвтектические чугуны | $C = 2,14 \dots 4,3\%$ |
| Эвтектика – ледебурит  | $C = 4,3\%$            |
| Заэвтектические чугуны | $C = 4,3 \dots 6,67\%$ |

На рисунке 40 приведено влияние содержания углерода на свойства сталей.

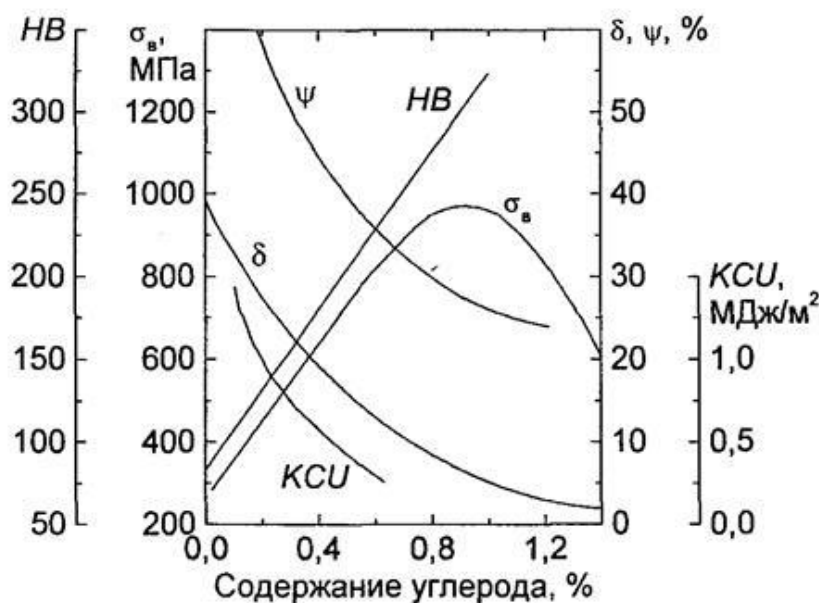


Рис. 40. Влияние содержания углерода на свойства сталей

### Влияние постоянных примесей на свойства стали

**Азот** — в несвязанном состоянии способствует старению стали и делает ее хрупкой, поэтому его должно быть не более 0,009%. В химически связанном состоянии с алюминием, ванадием, титаном и др. является легирующим элементом, способствующим получению мелкозернистой структуры и улучшению механических свойств.

**Фосфор** — вредная примесь — повышает хрупкость стали, особенно при пониженных температурах (хладноломкость). Но при наличии алюминия может служить легирующим элементом, повышая коррозионную стойкость сталей (атмосферостойкие стали).

**Сера** — делает сталь красноломкой (склонной к образованию трещин при температурах 800–1000°C). Важно для сварных конструкций. Содержание серы и фосфора в стали ограничивается и должно составлять не более 0,03–0,05% в зависимости от марки стали.

**Кислород** действует подобно сере, но в большей степени, и повышает хрупкость стали.

**Водород** снижает сопротивление стали хрупкому разрушению, снижает временное сопротивление и ухудшает пластические свойства.

### 3.6. Модифицирование стали

Основные способы модифицирования структуры и свойств стали:

1. Легирование;
2. Термическая обработка;
3. Термомеханическая обработка (ТМО);
4. Химико-термическая обработка (ХТО).

#### Легирование

**Кремний (С)** 0,5...1,2 % – раскисляет сталь, т.е. связывает избыточный кислород, повышает ее прочность, снижает пластичность, ухудшает при повышенном содержании свариваемость и коррозионную стойкость;

**Марганец (Г)** 0,8...1,8 % – повышает прочность, является хорошим раскислителем, соединяясь с серой снижает вредное влияние. При содержании марганца свыше 1,5% сталь становится хрупкой;

**Медь (Д)** – несколько повышает прочность стали и увеличивает ее стойкость против коррозии. Избыточное содержание меди (свыше 0,7 %) способствует старению стали и повышает ее хрупкость;

**Хром (Х)** 0,8...1,1 % и **Никель (Н)** 0,5...4,5% – повышают прочность стали без снижения пластичности и улучшают ее коррозионную стойкость;

**Ванадий (Ф)** 0,1...0,3 % и **Молибден (М)** 0,15...0,4 % – увеличивают прочность почти без снижения пластичности и предотвращают разупрочнение термообработанной стали при сварке;

**Алюминий (Ю)** – хорошо раскисляет сталь, нейтрализует вредное влияние фосфора, повышает ударную вязкость.

#### *Примеры маркировки легированной стали:*

1. **13Х11Н2В2МФ** означает, что в стали:

- В среднем 0,13% углерода;
- 11% хрома;
- 2% никеля;
- 2% вольфрама;
- До 1% молибдена и ванадия.

2. Сталь конструкционная низколегированная **08Г2С** означает, что в стали:

- В среднем 0,08% углерода;
- В среднем 2% марганца;
- До 1% кремния.

### Термическая обработка

**Отжиг** – вид термической обработки, в результате которой металлы и сплавы приобретают структуру, близкую к равновесной.

Отжиг применяется для разупрочнения металла для обеспечения хорошей обрабатываемости, исправления дефектов структуры, образующихся при горячей пластической деформации, литье и сварке, устранения остаточных напряжений, возникающих в процессе получения заготовок.

**1. Гомогенизации** подвергают слитки легированной стали и многих алюминиевых сплавов при 1100–1200°C в течение 20–50 ч (для алюминиевых слитков при температуре 420–520°C в течение 20–30 ч) для выравнивания химического состава.

**2. Рекристаллизационный отжиг** применяют для снятия наклепа (повышение прочности и твердости при одновременном уменьшении пластичности) деформированного металла путем нагрева его выше температуры порога рекристаллизации ( $0,4...0,57 T_{пл}$ ), выдержки при этой температуре и охлаждении. Цель – понижение прочности и восстановление пластичности деформированного металла.

**3. Отжиг для снятия остаточных напряжений** осуществляют при 550...650°C в течение нескольких часов. Он предотвращает коробление сварных деталей после резания, правки и т.д.

**4. Нормализация** предусматривает нагрев сортового проката из до- и заэвтектоидной конструкционной стали до температуры на 40...50°C выше температуры образования аустенита, непродолжительную выдержку и охлаждение на воздухе. Она вызывает полную фазовую перекристаллизацию стали, снимает внутренние напряжения, повышает пластичность и ударную вязкость.

**Закалка** – вид термической обработки, в результате которой в сплавах образуется неравновесная система.

Производят нагрев стали на 30...50°C выше точки образования аустенита, выдерживают до полной аустенизации стали, затем

охлаждают ее со скоростью, обеспечивающей переход аустенита в закалочные структуры.

В большинстве случаев целью закалки является получение максимальной твердости. Это обеспечивается формированием неравновесной структуры **мартенсита**, при последующем отпуске которого можно понизить твердость и повысить пластичность стали. При равной твердости структуры, полученные при отпуске мартенсита, имеют лучшие механические свойства, чем структуры, полученные непосредственно в результате распада аустенита.

Скорость охлаждения стали 400...1400°C/с, что регулируется выбором закалочной среды – вода, масло, керосин, 10 %-ный водный раствор NaCl; NaOH; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

**Перлитное превращение.** Продукты перлитного превращения имеют пластинчатое строение. Чем больше переохлаждение, тем тоньше ферритно-цементитная структура, т.е. меньше величина межпластинчатого расстояния ( $\Delta$ ), равного усредненной сумме толщин двух пластинок феррита и цементита, и выше твердость. При медленном охлаждении аустенит полностью превращается в перлит и получаются **равновесные структуры** стали (феррит+перлит, перлит, перлит+цементит) (табл. 9).

Таблица 9

**Характеристика продуктов перлитного превращения**

| Структура      | Перлит    | Сорбит     | Троостит   |
|----------------|-----------|------------|------------|
| $\Delta$ , мкм | 0,6...1,0 | 0,25...0,3 | 0,1...0,15 |
| НВ, МПа        | 180...250 | 250...350  | 350...450  |

При быстром охлаждении образуется мелкозернистая смесь цементита с ферритом – **сорбит**. При более быстром охлаждении стали образуется высокодисперсная смесь цементита с ферритом – **троостит** (рис. 41).

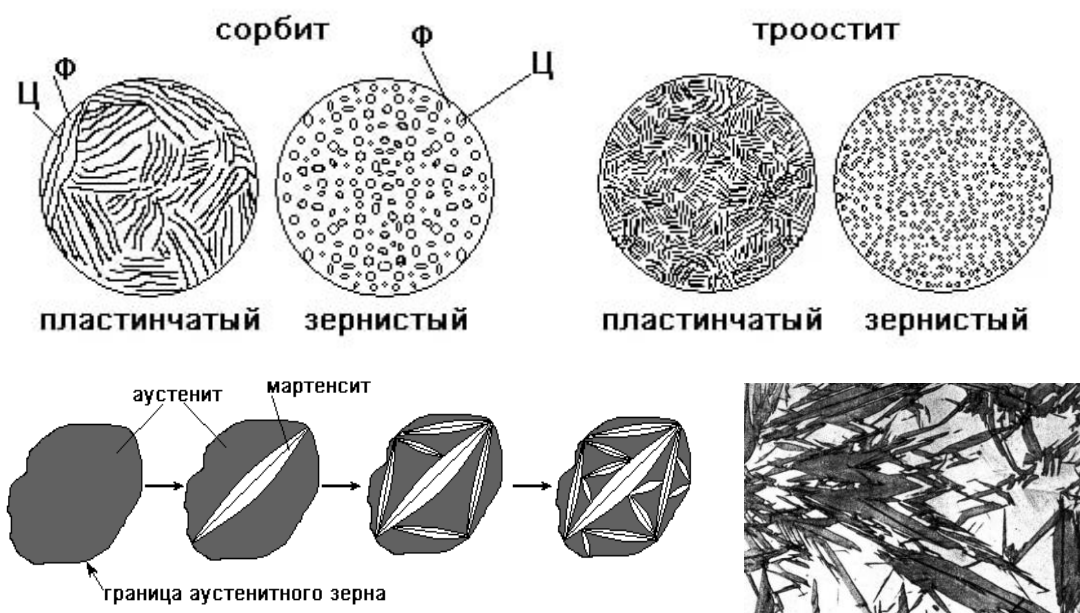


Рис. 41. Закалочные структуры стали

**Мартенситное превращение.** При резком охлаждении стали происходит перестройка кристаллической решетки  $\gamma$ -Fe в  $\alpha$ -Fe, однако атомы углерода не успевают выделиться из образовавшейся решетки. Получается пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -Fe с искаженной кристаллической решеткой – **мартенсит** – наиболее неустойчивая, наиболее твердая и хрупкая структура. Мартенситное превращение происходит только в том случае, если охлаждение аустенита происходит со скоростью выше критической – при которой весь аустенит переохлаждается до температуры образования мартенсита, а диффузионные процессы становятся невозможными. Поэтому мартенситное превращение не сопровождается диффузионным перераспределением атомов углерода и железа в решетке аустенита.

При последующем нагреве (отпуске) мартенситовая структура переходит в более устойчивые структуры – перлит, троостит и сорбит.

**Отпуск** – окончательная термическая обработка закаленных сталей, цель которого – повышение вязкости и пластичности, снижение твердости и закалочных напряжений. Температура нагрева при отпуске не должна превышать температуру первого фазового превращения.

**Низкий отпуск** – на отпущенный мартенсит ( $150...200^{\circ}\text{C}$ ) – для уменьшения остаточных закалочных напряжений.

**Средний отпуск** – на троостит (350...450°C) – когда необходимо получить сочетание высокой прочности, упругости и достаточной вязкости.

**Высокий отпуск** – на сорбит (450...650°C) – для повышения сопротивления стали динамическим нагрузкам.

### **Термомеханическая обработка (ТМО)**

Относится к числу наиболее эффективных способов повышения сопротивления высокопрочных сталей хрупкому разрушению. ТМО состоит в пластическом деформировании аустенита с последующим быстрым охлаждением и низким отпуском.

Пластическая деформация приводит к дроблению зерен аустенита и образованию блочной структуры с высокой плотностью. Быстрое охлаждение позволяет сохранить мелкоблочную аустенитную структуру до начала мартенситного превращения.

### **Химико-термическая обработка (ХТО)**

**ХТО** – процесс изменения химического состава, микроструктуры и свойств поверхностного слоя изделия. Проводят с целью повышения твердости, износостойкости, защиты от электрохимической и газовой коррозии. ХТО – основной способ поверхностного упрочнения деталей.

**Цементация** – вид ХТО, заключающийся в диффузионном насыщении поверхностного слоя атомами углерода при нагреве до температуры 900...950°C. Концентрация углерода на поверхности доводится до 0,8...1,0%. После цементации изделие подвергается закалке и низкому отпуску. Используют среды (карбюризатор), легко отдающие углерод – природный газ, керосин, бензол, древесный уголь с добавками карбоната бария/кальция.

**Азотирование** – ХТО, при которой поверхностные слои насыщаются азотом. При азотировании увеличиваются не только твердость и износостойкость, но и коррозионная стойкость. Изделия загружают в герметичные печи, куда поступает аммиак. Для азотирования используют стали, содержащие алюминий, молибден, хром, титан, т.к. нитриды этих элементов обладают высокой твердостью и термической устойчивостью. Температура 500...700°C.

**Цианирование** – химико-термическая обработка, при которой поверхность насыщается одновременно углеродом и азотом.

Осуществляется в ваннах с расплавленными цианистыми солями, например,  $\text{NaCN}$  с добавками солей  $\text{NaCl}$ ,  $\text{BaCl}$  и др. Цианированный слой обладает высокой твердостью и хорошо сопротивляется износу. Недостатком является токсичность цианистых солей. Высокотемпературное цианирование –  $800\ldots 950^\circ\text{C}$ , низкотемпературное –  $540\ldots 600^\circ\text{C}$ .

**Нитроцементация** – газовое цианирование, осуществляется в газовых смесях из цементирующего газа и диссоциированного аммиака. Состав газа и температура процесса определяют соотношение углерода и азота в цианированном слое. Глубина слоя зависит от температуры и продолжительности выдержки. Высокотемпературная нитроцементация –  $830\ldots 950^\circ\text{C}$ , низкотемпературная –  $530\ldots 570^\circ\text{C}$ .

**Диффузионная металлизация** – ХТО, при которой поверхность стальных изделий насыщается различными элементами – алюминием, хромом, кремнием, бором и т.д. Проводят в твердых, жидких и газообразных средах.

Процесс дорогостоящий, высокотемпературный ( $1000\ldots 1200^\circ\text{C}$ ) и длительный, т.к. диффузия металлов протекает очень медленно в силу образования растворов замещения.

Одно из основных свойств металлизированных поверхностей – жаростойкость, поэтому детали для рабочих температур  $1000\ldots 1200^\circ\text{C}$  изготавливают из углеродистых сталей с последующим алитированием, хромированием или силицированием.

### 3.7. Классификация сталей

**По прочностным свойствам:**

- Обычной прочности ( $\sigma_{\text{у}} < 29 \text{ кН/см}^2$ );
- Повышенной прочности ( $\sigma_{\text{у}} = 29\ldots 40 \text{ кН/см}^2$ );
- Высокой прочности ( $\sigma_{\text{у}} > 40 \text{ кН/см}^2$ ).

**По химическому составу:**

- Углеродистые;
- Легированные.

**По содержанию углерода:**

- низкоуглеродистые – не более  $0,25\% \text{ C}$ ;
- среднеуглеродистые –  $0,25\ldots 0,6\% \text{ C}$ ;
- высокоуглеродистые – свыше  $0,6\% \text{ C}$ .

Для строительных металлических конструкций применяют только малоуглеродистые стали ( $C < 0,22\%$ ).

**В зависимости от состава легированные стали подразделяются на:**

- никелевые;
- хромистые;
- хромоникелевые и т.п.

**По общему количеству легирующих элементов** стали подразделяют на:

- низколегированные – до 5% легирующих элементов;
- среднелегированные – 5...10% легирующих элементов;
- высоколегированные – более 10%.

**По структуре в равновесном состоянии:**

- доэвтектоидные (феррит + перлит);
- эвтектоидные (перлит);
- заэвтектоидные (перлит + цементит).

**По структуре после охлаждения на воздухе:**

- перлитные;
- мартенситные;
- аустенитные.

**По качеству** (в зависимости от содержания вредных примесей – кислорода, водорода, азота, серы, фосфора):

- обыкновенного качества – до 0,06% S и до 0,07% P;
- качественные – до 0,04% S и до 0,035% P;
- высококачественные – до 0,025% S и до 0,025% P;
- особовысококачественные – до 0,015% S и до 0,025% P.

**По назначению:**

- конструкционные;
- инструментальные;
- стали и сплавы с особыми свойствами – нержавеющие, жаропрочные, жаростойкие и т.д.

**В зависимости от вида поставки:**

- горячекатаные;
- термообработанные.

### **В зависимости от степени раскисления:**

- Кипящие (кп) – кипят при разливке вследствие загрязненности газами. Кипящие стали имеют высокие показатели по пределу текучести и прочности, хуже сопротивляются хрупкому разрушению и старению.

- Спокойные (сп) – не кипят при разливке. Раскислены добавками кремния (0,12...0,3 %) или алюминия (до 0,1%). Спокойные стали более однородны, лучше сопротивляются динамическим воздействиям и хрупкому разрушению, лучше свариваются. Применяются для изготовления ответственных конструкций, подвергающихся динамическим нагрузкам. На 12% дороже кипящих.

- Полуспокойные (пс) – являются промежуточными по качеству. Раскисляется кремнием в количестве 0,05...0,15% (редко – алюминием).

**Стали обычной прочности** – низкоуглеродистые стали различной степени раскисления, поставляемые в горячекатаном состоянии (С235–С285). Особенности свойств:

- Относительно небольшая прочность;
- Высокая пластичность: протяженность площадки текучести 2,5% и более, соотношение  $\sigma_{\text{т}}/\sigma_{\text{н}}=0,6...0,7$ .
- Хорошая свариваемость обеспечивается низким содержанием углерода (не более 0,22%) и кремния.
- Обладают средней коррозионной стойкостью.
- Склонность к хрупкому разрушению при низкой температуре.
- Невысокая стоимость.
- Хорошие технологические свойства.
- Потребление таких сталей составляет свыше 50% общего объема.

**Стали повышенной прочности** – стали С345–С390 получают либо введением легирующих добавок, в основном, марганца и кремния, реже – никеля и хрома, либо термоупрочнением низкоуглеродистой стали (С345Т). Особенности свойств:

- Пластичность снижена, протяженность площадки текучести уменьшена до 1–1,5%;
- Стали повышенной прочности несколько хуже свариваются;
- По коррозионной стойкости эти стали близки к низкоуглеродистым;

- Вследствие мелкозернистой структуры характеризуются более высоким сопротивлением хрупкому разрушению;
- Высокое значение ударной вязкости сохраняется и при температуре до  $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже;
- За счет более высоких прочностных свойств экономия металла составляет до 20–25%.

**Стали высокой прочности** – получают путем легирования и термической обработки (С440–С590). Особенности свойств:

- Могут не иметь площадки текучести, а относительное удлинение составляет 14% и ниже;
- Характеризуются большим сопротивлением хрупкому разрушению;
- Высокая ударная вязкость при температуре до  $-70^{\circ}\text{C}$ ;
- Низкая технологичность;
- Проблемы со сваркой. Разупрочнение шва может составлять 5–30%;
- Применение стали высокой прочности приводит к экономии металла до 25–30% и особенно целесообразно в большепролетных и тяжело нагруженных конструкциях.

### 3.8. Нормирование сталей

#### 1. ГОСТ 27772-2015 «Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия»

Стали подразделяют в зависимости от класса прочности.

Фасонный прокат: С235, С245, С255, С275, С285, С345, С345К, С375.

Листовой, универсальный прокат и гнутые профили: С235, С245, С255, С275, С285, С345, С345К, С375, С390, С390К, С440, С590, С590К.

*Примечание.* Буква С означает – сталь строительная, цифры условно обозначают предел текучести проката, буква К – вариант химического состава (коррозионно-стойкая).

#### 2. ГОСТ 19281-2014 «Прокат повышенной прочности. Общие технические условия»

Классы прочности: С265; С295; С315; С325; С345; С355; С375; С390; С440.

В таблице 10 приведены механические характеристики сталей различных классов.

Таблица 10

**Механические характеристики сталей различных классов**

| Сталь    | Механические характеристики     |                                 |                |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|
|          | $\sigma_y$ , кН/см <sup>2</sup> | $\sigma_u$ , кН/см <sup>2</sup> | $\delta_5$ , % |
| C235     | 22,5 – 23,5                     | 36                              | 25 – 26        |
| C245     | 23,5 – 24,5                     | 37                              | 24 – 25        |
| C255     | 23,5 – 25,5                     | 37 – 38                         | 24 – 26        |
| C275     | 26,5 – 27,5                     | 37 – 39                         | 23 – 24        |
| C285     | 26,5 – 28,5                     | 38 – 39                         | 23 – 24        |
| C345 (Т) | 30,5 – 34,5                     | 46 – 49                         | 21             |
| C345     | 26,5 – 34,5                     | 43 – 49                         | 20 – 21        |
| C390     | 39                              | 54                              | 20             |
| C440     | 41 – 44                         | 57 – 59                         | 20             |
| C590     | 59                              | 68,5                            | 14             |

**3. ГОСТ 380-2005 «Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки»**

Стали подразделяют на марки в зависимости от их химического состава: Ст0; Ст1кп; Ст1пс; Ст1сп; Ст2кп; Ст2пс; Ст2сп; Ст3кп; Ст3пс; Ст3сп; Ст3Гпс; Ст3Гсп; Ст4кп; Ст4пс; Ст4сп; Ст5пс; Ст5сп; Ст5Г(пс); Ст6пс; Ст6сп.

\*«Ст» – сталь

\*\*  $C(\%) = 0,07 \times \text{номер марки}$ .

Три группы стали:

А – поставляется с гарантированными механическими свойствами;

Б – поставляется с гарантированным химическим составом;

В – поставляется с гарантированными механическими свойствами и химическим составом.

**Пример маркировки:**

**ВСт3пс.**

### 3.9. Факторы, влияющие на свойства стали

**Старение** – ухудшение свойств стали с течением времени без заметного изменения микроструктуры. Старение снижает сопротивление динамическим воздействиям и хрупкому разрушению. Основные факторы старения – температурные колебания (термическое старение) и механические воздействия (деформационное старение). Нагрев стали до невысокой температуры 150 ... 200°C может резко усилить процесс старения. Деформационное старение протекает после пластической деформации. Наиболее подвержены старению стали, загрязненные и насыщенные газами, например, кипящая сталь.

**Наклеп** – повышение упругой работы материала в результате предшествующей пластической деформации. Если сталь подвергнуть растяжению до пластического состояния и затем разгрузить, то появится остаточная деформация. При повторном нагружении образца после некоторого «отдыха» материала сталь опять начинает работать упруго, повторяя прямую разгрузки, и дальше работа идет по нормальному пути диаграммы однократного растяжения. Аналогичная картина при разгрузке после того, как вся площадка текучести будет сработана. Предварительно растянутый образец, получая большую остаточную деформацию того же знака, разрушается почти в пределах упругой работы при небольших деформациях. Пластичность стали снижается, возникает опасность хрупкого разрушения.

**Температура.** При нагревании от 200 ... 250°C механические свойства стали не меняются. При 250 ... 300°C прочность стали несколько повышается, пластичность снижается. Нагревание до 400°C приводит к резкому снижению  $\sigma_y$ ,  $\sigma_u$ . При 600 ... 650°C наступает температурная пластичность и сталь утрачивает свою несущую способность.

При отрицательных температурах прочность стали возрастает,  $\sigma_y$  и  $\sigma_u$  сближаются, ударная вязкость падает и сталь становится хрупкой. Переход от вязкого разрушения к хрупкому происходит скачкообразно – порог хладноломкости (т.е. в узком диапазоне температур). Обычно за порог хладноломкости принимают температуру, при которой величина ударной вязкости становится ниже

30...40 Дж/см<sup>2</sup>. Порог хладноломкости для кипящих сталей – 0...-10°C, спокойных -20...-30°C, низколегированных -40°C и ниже.

**Концентрация напряжений.** Чем выше концентрации напряжений, тем меньше пластические деформации. Разрушение носит хрупкий характер. При статических нагрузках и нормальной температуре концентрация напряжений в большинстве случаев не влияет на несущую способность, однако она особенно опасна в конструкциях, эксплуатируемых при низких температурах. Крайне неблагоприятное влияние на прочность при наличии концентраторов оказывают динамические воздействия, а также резкое снижение температуры, носящее характер температурного удара.

**Работа стали при повторной нагрузке.** Многократное повторное нагружение может привести к разрушению при напряжениях меньше предела прочности и даже предела текучести. Это явление называется **усталостью металла**. Способность металла сопротивляться усталостному разрушению называется **выносливостью**, а напряжения, при которых происходит разрушение – **вибрационной прочностью**.

**Вибрационная прочность** зависит от числа циклов « $n$ », вида нагружения (коэфф. асимметрии  $\rho = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ ). Испытания обычно проводят при  $n = 2 \cdot 10^6$  циклов. Для низкоуглеродистой стали:  $\rho = -1$ ,  $\sigma_{\text{уст}} = 0,6\sigma_y$ , при  $\rho = 0$ ,  $\sigma_{\text{уст}} = \sigma_y$ . Для низколегированных сталей (С345-С390): при  $\rho = 0,25$ ,  $\sigma_{\text{уст}} = \sigma_y$ , при  $\rho = -1$ ,  $\sigma_{\text{уст}} = 0,5 \sigma_y$ . У высокопрочных сталей (С440–С540) предел выносливости практически не отличается от предела выносливости сталей повышенной прочности.

Большое влияние на усталостную прочность оказывает концентрация напряжений. Чем острее концентратор, тем ниже усталостная прочность. Для круглого отверстия усталостная прочность снижается в 1,4 раз, для острого концентратора – в 3,5 раза.

### 3.10. Первичные элементы стальных конструкций

Первичными элементами стальных конструкций являются (рис. 42):

- Сталь листовая горячекатаная толщиной 4...160 мм, тонкая горячекатаная и холоднокатаная толщиной до 4 мм;

- Сталь профильная горячекатаная (швеллеры, двутавры, уголки, тавры и т.д.);
- Трубы горячекатаные  $\varnothing 25 \dots 550$  мм и толщиной стенки 2,5...7,5 мм;
- Трубы электросварные: круглые  $\varnothing 8 \dots 1620$  мм с толщиной стенки 1...16 мм; квадратного и прямоугольного сечения с размерами сторон 60...180 мм и толщиной стенки 3...8 мм;
- Холодногнутые профили толщиной 1...8 мм;
- Профили различного назначения – оконные, дверные, фонарные переплеты, крановые рельсы, профилированный лист и т.д.



а)



б)



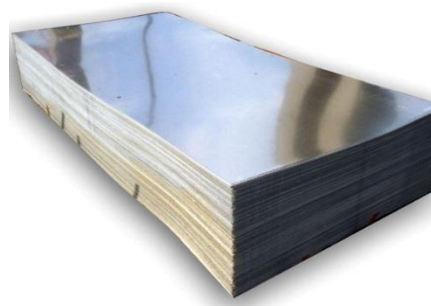
в)



г)



д)



е)

*Рис. 42. Первичные элементы стальных конструкций:  
а – двутавры; б – швеллеры; в – уголки; г – профили замкнутого сечения;  
д – профилированный лист; е – листовая сталь*

### **3.11. Арматурная сталь**

#### **(ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия)**

Арматурный прокат классифицируют:

##### **1. По назначению**

- для армирования сборных железобетонных конструкций и возведения монолитного железобетона в зависимости от предела текучести (условного предела текучести), МПа, по классам А240, А400, А500, А600;

- для армирования предварительно-напряженных железобетонных конструкций и возведения монолитного железобетона в зависимости от предела текучести (условного предела текучести), МПа, по классам Ап600, А800, А1000.

Диаметр проката – 4...40 мм, для классов А800 и А1000 – 10...40 мм.

**3. По конфигурации периодического профиля** – на формы 1ф, 2ф, 3ф и 4ф (рис. 43).

Прокат классов А400, А500, А600 и Ап600 изготавливают формой профиля 1ф, 2ф, 3ф и 4ф. Прокат классов А800 и А1000 изготавливают формой профиля 2ф.

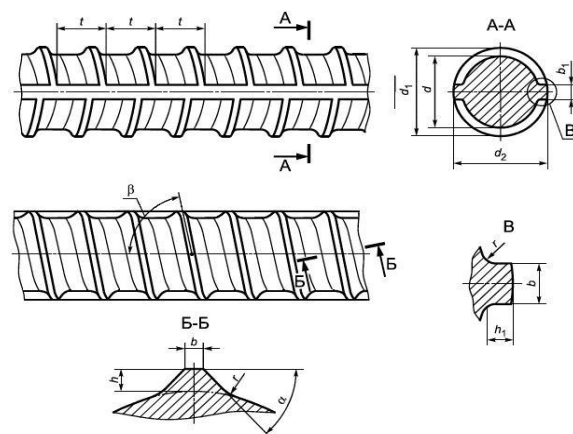
##### **3. По состоянию поставки:**

- в прутках мерной длины (МД);
- в прутках мерной длины с немерной (МД1);
- в прутках немерной длины (НД);
- в мотках.

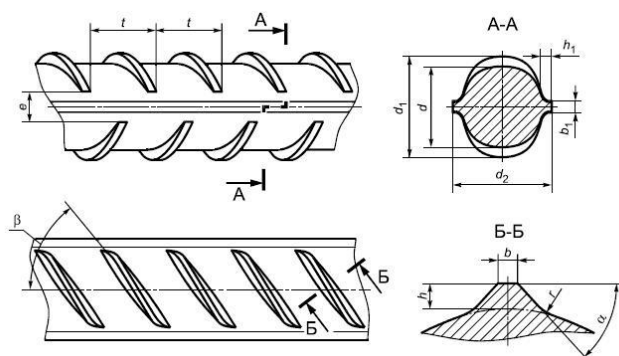
Прокат классов А240, А400, А500, А600 и Ап600 изготавливают в прутках и мотках. Прокат в мотках изготавливают диаметром до 22 мм, массой 0,5...5 т.

Прокат классов А800 и А1000 изготавливают в прутках.

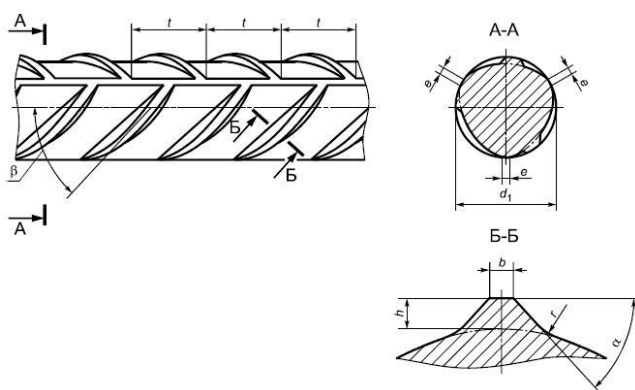
Прутки изготавливают длиной 6...18 м.



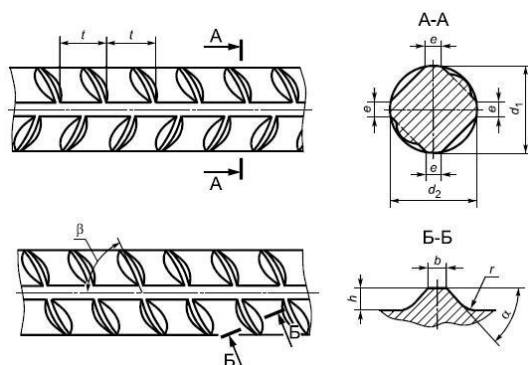
профиль 1φ



профиль 2φ



профиль 3φ



профиль 4φ

Рис. 43. Различные профили стержневой арматуры

#### **4. По набору технических требований:**

- со стандартным набором технических требований;
- с дополнительным набором технических требований:

**С** – свариваемый всеми способами сварки;

**Н** – повышенной пластичности;

**Е** – высокой пластичности (для сейсмически стойкого проката);

**К** – с требованиями к стойкости против коррозионного растрескивания;

**У** – с требованиями к выносливости при многократно повторяющихся циклических нагрузках;

**Р** – с требованиями по релаксации напряжений.

#### **5. По геометрическим параметрам:**

- гладкого профиля – класса А240;

• периодического профиля – классов А400, А500, А600, А600, А800 и А1000.

**6. По группам предельных отклонений массы 1 м длины проката периодического профиля – ОМ1 и ОМ2.**

**ГОСТ 6727-80 Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.**

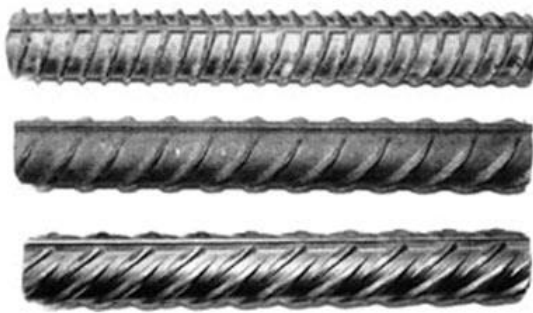
Арматура проволочная класса Вр-I (В500), диаметром 3, 4 и 5 мм.

**ГОСТ 7348-81. Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций. Технические условия.**

Высокопрочная проволока классов Вр 1200, Вр1300, Вр1400, Вр1500 (Вр-II) диаметром 3...8 мм.

**ГОСТ Р 53772-2010. Канаты стальные арматурные семипроволочные стабилизированные. Технические условия**

Канаты типа К7 (К1400), изготовленные из круглой гладкой проволоки, типа К7Т – из проволоки периодического профиля, К7О – из круглой гладкой проволоки пластически обжатые. Диаметр 7...18 мм (рис. 44).



*а*



*б*



*в*



*г*



*д*



*е*

*Рис. 44. Виды арматуры и арматурных изделий:  
а – стержневая арматура; б – проволочная арматура; в – канатная  
арматура; г, д – арматурные каркасы; е – арматурные сетки*

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие материалы применяют в качестве сырья для изготовления керамических материалов?
2. Изложите общую технологию изготовления керамических изделий.
3. Перечислите основные керамические изделия для наружной облицовки.
4. Перечислите виды санитарно-фаянсовой керамики.
5. Из каких сырьевых материалов изготавливают стекло?
6. Каковы основные технические свойства стекла?
7. Перечислите изделия, изготавливаемые из стекла и области применения.
8. Изложите классификацию металлов.
9. Изложите, какие виды строительных изделий изготавливают из чугуна методом литья.
10. Назовите способы производства стали.
11. Перечислите факторы, влияющие на свойство стали.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бурное развитие промышленного и гражданского строительства требует увеличения выпуска все новых и новых материалов и изделий, обладающих, повышенными физико-механическими свойствами, высокой твердостью и кислотостойкостью, водонепроницаемостью, сопротивляемостью истиранию и декоративно-облицовочными свойствами. Такими новыми материалами являются материалы и изделия, получаемые из минеральных расплавов.

Грамотный выбор качественно изготовленных материалов и изделий, правильное их использование в процессе строительства и дальнейшей эксплуатации – важное условие создания безопасных строительных объектов, обладающих всеми необходимыми техническими и социальными характеристиками.

Авторы данного пособия надеются, что оно будет полезно не только студентам вузов строительных специальностей и направлений подготовки всех форм обучения, но и инженерно-техническим работникам строительной отрасли.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атаев С.С. Технология строительного производства: учебник для ВУЗов / С.С. Атаев, Н.Н. Данилов, Б.В. Прыкин [и др.]. – Москва: Стройиздат, 1984. – 559 с.
2. Афанасьев А.А. Технология строительных процессов / А.А. Афанасьев, Н.Н. Данилов. – Москва: Высшая школа, 1997. – 464 с.
3. ГОСТ 111–2014 «Стекло листовое бесцветное. Технические условия».
4. ГОСТ 17057–89 «Плитки стеклянные облицовочные коврово-мозаичные и ковры из них. Технические условия».
5. ГОСТ 19281–2014 «Прокат повышенной прочности. Общие технические условия».
6. ГОСТ 21992-83 «Стекло строительное профильное. Технические условия».
7. ГОСТ 27772–2015 «Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия».
8. ГОСТ 30698–2014 «Стекло закаленное строительное. Технические условия».
9. ГОСТ 30733–2014 «Стекло с низкоэмиссионным твердым покрытием. Технические условия».
10. ГОСТ 30826–2014 «Стекло многослойное. Технические условия».
11. ГОСТ 31364–2014 «Стекло с низкоэмиссионным мягким покрытием. Технические условия».
12. ГОСТ 32539–2013 «Стекло и изделия из него. Термины и определения».
13. ГОСТ 32997–2014 «Стекло листовое, окрашенное в массу. Общие технические условия».
14. ГОСТ 34028–2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия.
15. ГОСТ 380–2005 «Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки».
16. ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия».
17. ГОСТ 5533–2013 «Стекло узорчатое. Технические условия».

18. ГОСТ 6727–80 «Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций. Технические условия».
19. ГОСТ 7348–81 «Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций. Технические условия».
20. ГОСТ Р 53772–2010 «Канаты стальные арматурные семипроволочные стабилизированные. Технические условия».
21. Попов К.Н. Строительные материалы [Текст]: учебник для вузов / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – Москва: Студент, 2012. – 440 с.
22. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В. Оценка качества строительных материалов [Текст]: учебное пособие – Москва: Студент, 2012. – 287 с.
23. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / И.А. Рыбьев. – 4-е изд. – Москва: Юрайт, 2012. – 701 с.
24. Строительные материалы. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебник для вузов / В.Г. Микульский [и др.]; под общ.ред. В. Г. Микульского, Г.П. Сахарова. – [5-е изд., доп. и перераб.]. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 519 с.

*Учебное издание*

**Пуляев Иван Сергеевич, Филимонова Юлия Сергеевна**

# **МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ**

*Учебное пособие*

*учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности  
08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»  
и направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»,  
всех форм обучения*

*Издается в авторской редакции*

*Разработано с помощью программного обеспечения  
Microsoft Office Word, Adobe Acrobat Pro*

Ответственный за выпуск *А.В. Куркова*

Компьютерная верстка: *Н.Р. Гуськова*

Подписано к использованию 31.08.2025.

Объем издания 3,66 Мб. Тираж 50. Заказ № 30/25

Издательство Московского Политеха

107023, Москва, Большая Семёновская, 38

[www.mospolytech.ru](http://www.mospolytech.ru); e-mail: [izdat.mospolytech@yandex.ru](mailto:izdat.mospolytech@yandex.ru)