

ИФО | 01.03.04 | ПМ | 6-й семестр

Строительные конструкции

Лекция №4



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; dpekin@mail.ru

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.

Лекция №4 – Строительные материалы

- Древесина
- Камень, кирпич, блоки
- **Железо, чугун, сталь**
- Бетон
- Железобетон
- Грунтовое основание

При строительстве также могут использоваться песок, щебень, стекло, пластики, металлы и множество других материалов

Железо, чугун, сталь

- **Железо** – пластичный металл серебристо-белого цвета с невысокой твердостью. Температура плавления – 1539°C , плотность $7,83 \text{ г/см}^3$. Имеет полиморфные модификации. С углеродом железо образует химическое соединение и твердые растворы
- **Чугун** – сплав железа с углеродом, содержащий от 2,14 до 6,67% углерода. На практике содержание углерода в чугунах находится в пределах 2,5-4,5%. В качестве примесей чугун содержит Si, Mn, S и P
- **Сталь** – сплав железа с углеродом, в котором углерода содержится не более 2,14%. На практике в сталях, как правило, не содержится углерода более 1,5%. Углерод существенно влияет на свойства стали даже при незначительном изменении его содержания. В качестве примесей сталь содержит Si, Mn, S, P, N, H, O

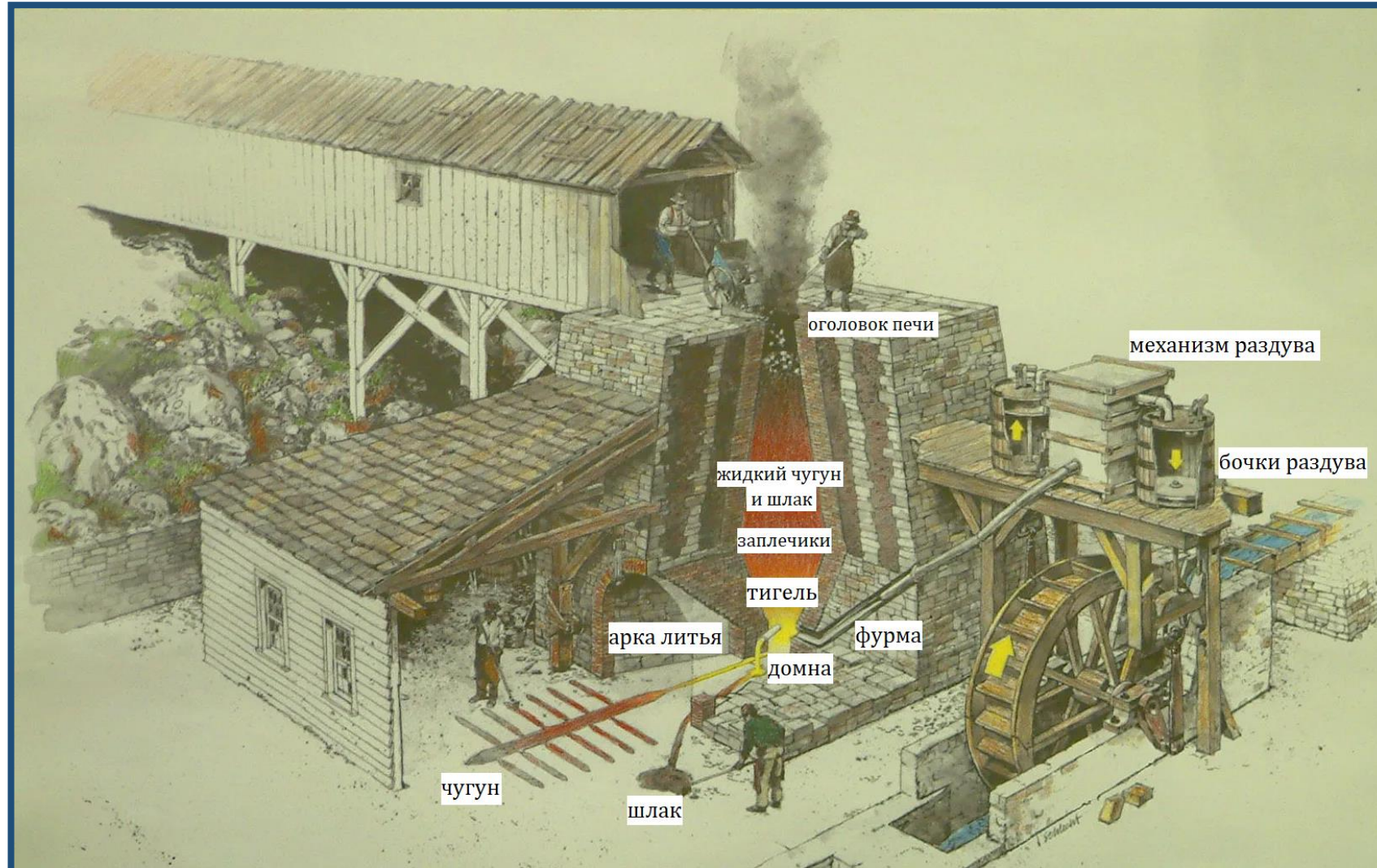
История развития – от железа к стали

- В период между XII и X веками до н. э. на Ближнем Востоке произошел резкий скачок в производстве инструментов и оружия – переход от использования бронзы к использованию железа. Вероятно, столь быстрый переход был вызван не столько прогрессом в производстве железа, сколько перебоями в доставке олова – одного из компонентов бронзы
- Исторический период после начала массовой обработки железа принято называть Железным веком (с IX века до н. э. до I века н. э.)
- Основным методом получения железа в те времена был сыродутный процесс, в котором перемежающиеся слои железной руды и древесного угля прокаливались в специальных горнах
- С появлением более совершенных печей для производства железа температура в них стала достаточной для образования чугуна

От железа к чугуну

- Первоначально чугун считали побочным продуктом, но потом обнаружили, что при повторном прожигании в домне в условиях сильного дутья чугун превращается в железо хорошего качества. При этом двух стадийный процесс производства железа оказался более выгодным и просуществовал без особых изменений многие века
- Следующим этапом в развитии металлургии стало появление доменных печей. За счёт увеличения размера, предварительного подогрева воздуха и механического дутья, в такой печи все железо из руды превращалось в чугун, который расплавлялся и периодически выпускался наружу. Производство стало непрерывным – печь работала круглосуточно и не остывала, за день она выдавала до полутора тонн чугуна

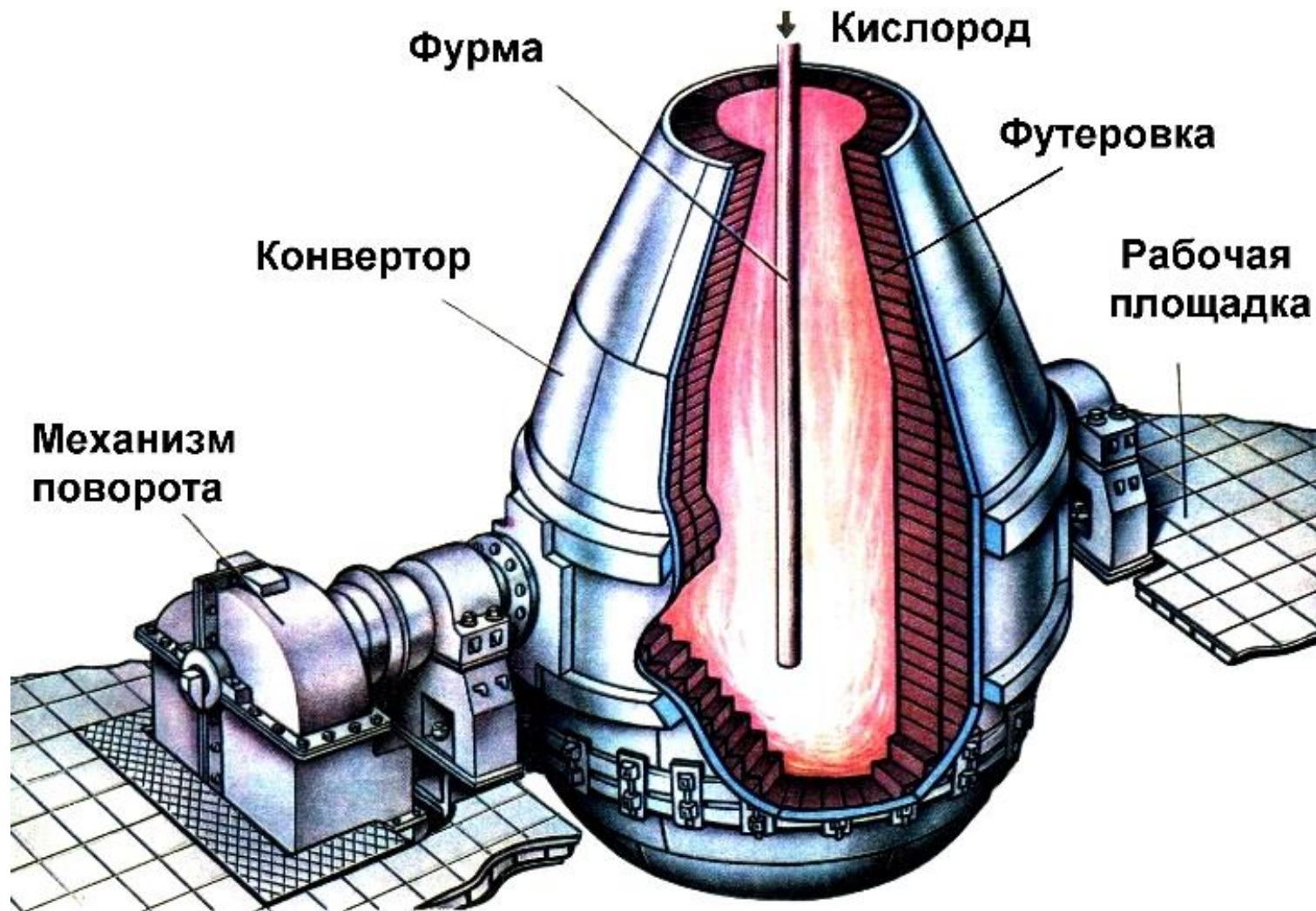
Устройство первых доменных печей



От чугуна к стали

- С XVI века в металлургии возникла новая технология – передельный процесс, при котором железо еще в процессе получения перегонялось в чугун за счет высокой температуры плавления и повышения содержания углерода, а уже затем, жидкий чугун, освобождаясь от лишнего углерода при отжиге в домнах, превращался в сталь
- В 1856 году Генри Бессемер изобрел конвертер – устройство, в котором сквозь жидкий чугун, получаемый в доменных печах, продувался воздух. В конвертере происходит выгорание углерода, растворенного в железе, что позволило получать сталь в существенно больших количествах, чем раньше
- В 1865 году Пьер Мартен предложил альтернативный способ производства стали в специальной печи, нагреваемой продуктами сгорания топлива, в которой также происходило дожигание углерода

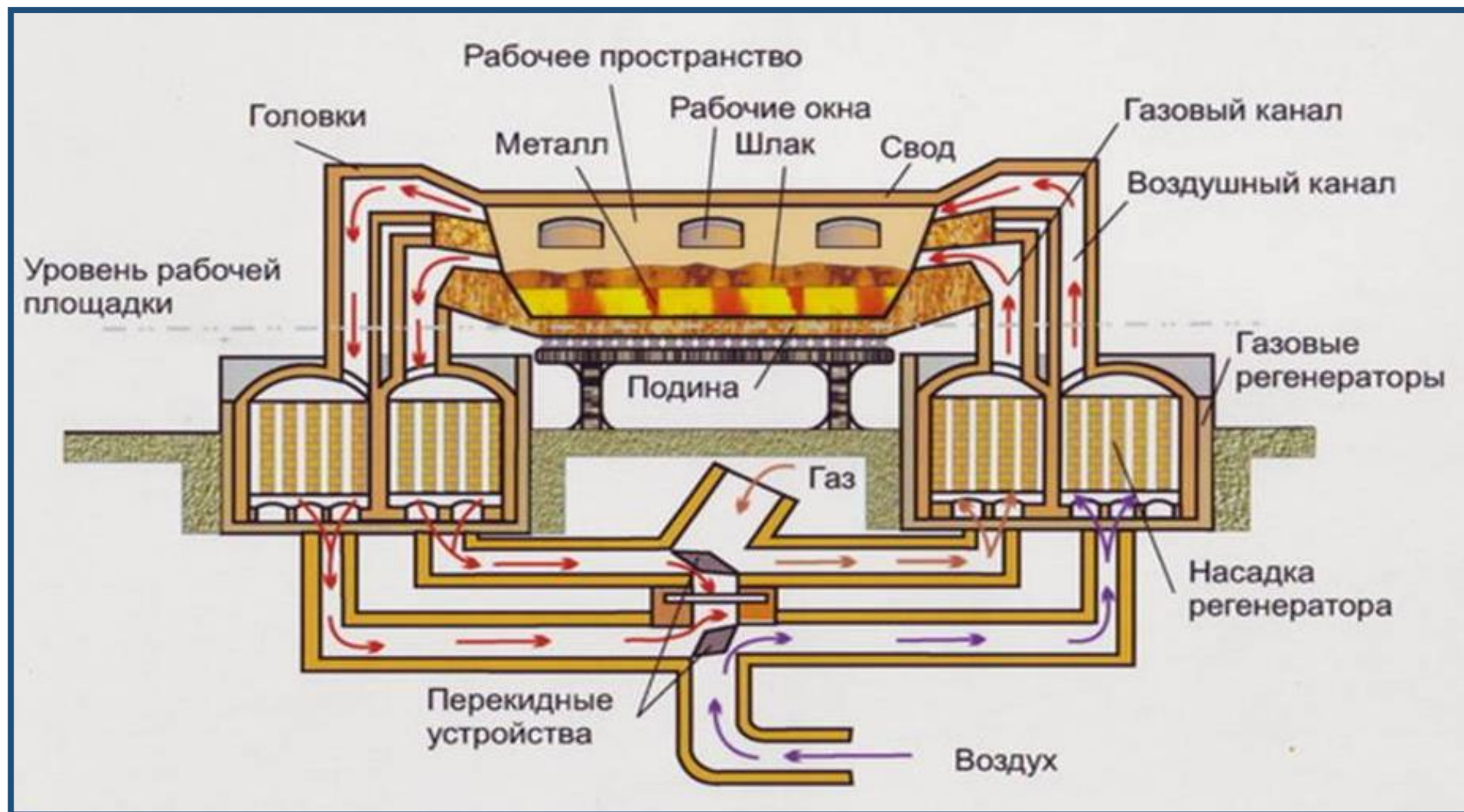
Конвертер Бессемера



Мартеновская печь

- По своему принципу действия и устройству относится к категории регенеративных пламенных печей. При непосредственной эксплуатации осуществляется процесс сжигания мазута и газообразного топлива. За счет регенерации избыточного тепла печных газов обеспечиваются номинальные показатели температуры, которые необходимы для получения стали в расплавленном виде
- Особенность мартеновской печи заключается в горизонтально направленной камере на основе огнеупорного кирпича. Нижняя часть печи ограничена подиной, сверху расположены своды
- Главный принцип работы мартеновской печи основан на уникальном эвтектическом свойстве сплавов (железа и углерода). Раскаленная смесь воздуха и горючего газа вдувается в печь с низким потолком, который отражает жар вниз, расплавляя и превращая сырье в сталь

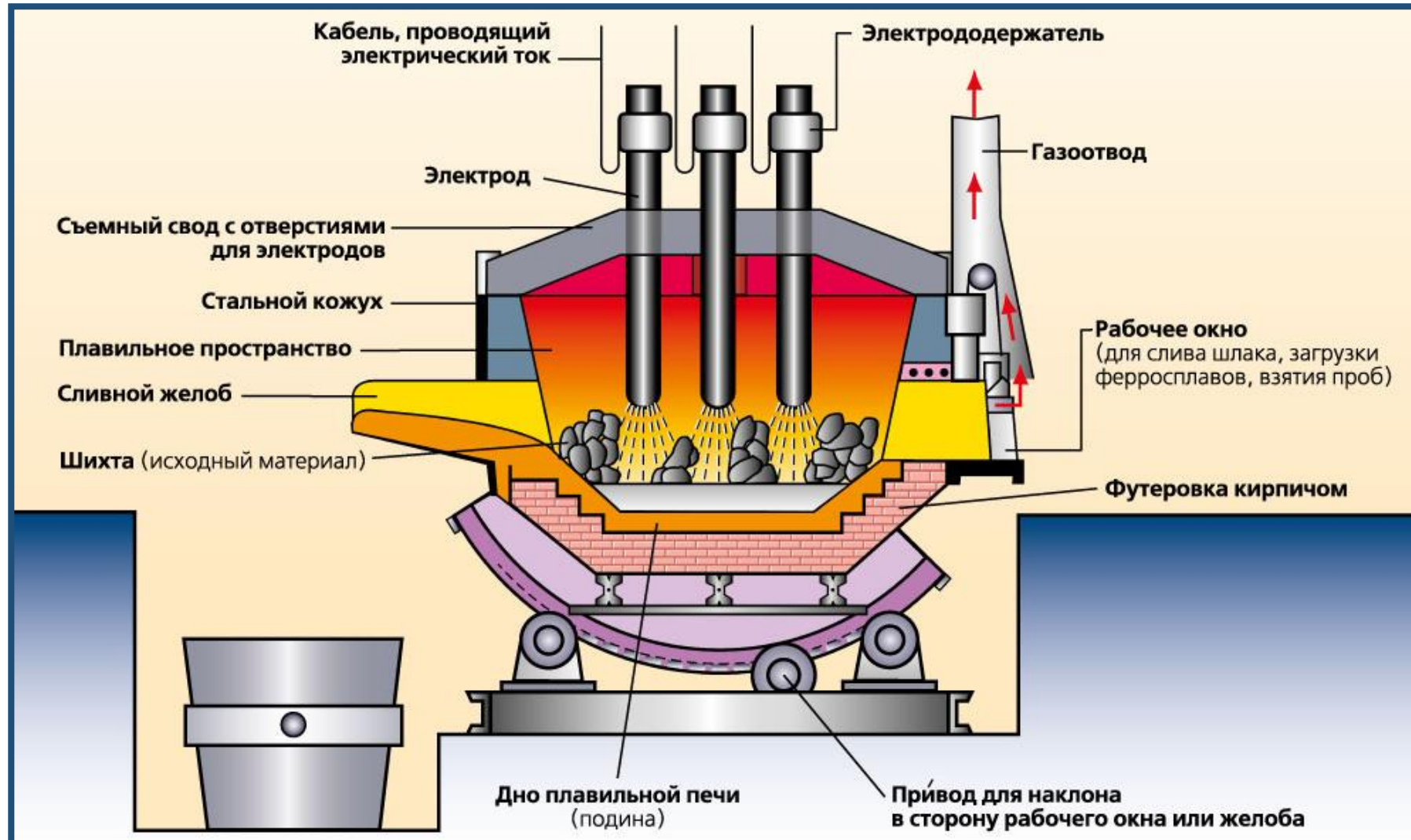
Схема Мартеновской печи



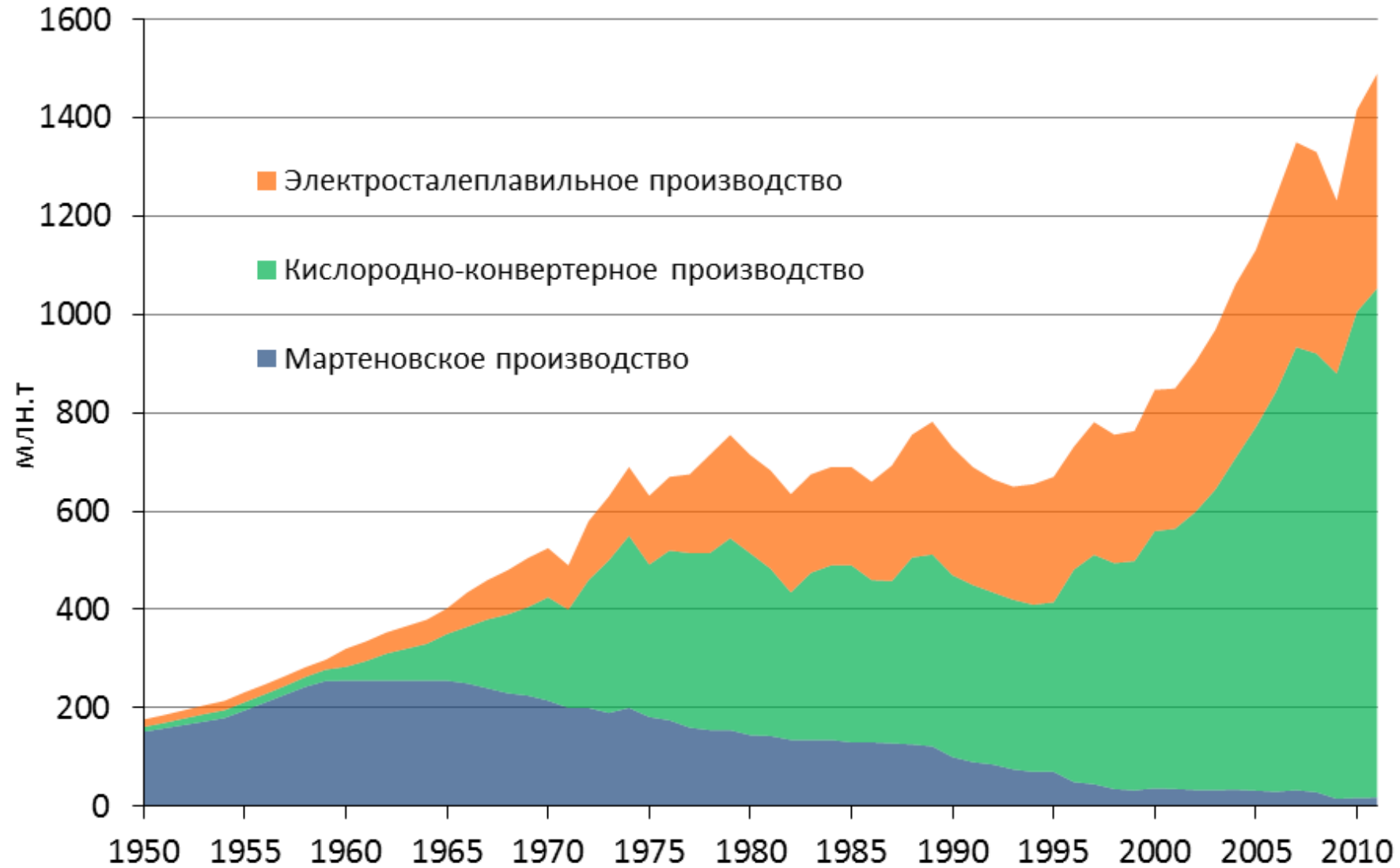
Современное производство стали

- Появление в начале XX века электростанций большой мощности позволило внедрить технологии электрометаллургии для производства стали. Процесс электрической плавки, при котором железная руда, смешенная с незначительным количеством углерода, подвергается воздействию электрической дуги, где происходит электрическое восстановление железа на катоде и выгорание примесей на аноде, нашел широкое применение. Таким способом удается получить чугун высокого качества, сократить расход кислорода и снизить уровень выбросов углекислого газа
- Передельные электрометаллургические процессы дают возможность плавить чугун в вакууме, в среде защитного газа, в присутствии химически активных легирующих элементов, что позволяет получать легированные стали высокого качества и специальные стали (жаропрочные, радиационно-стойкие)

Схема электрической печи



Развитие сталелитейного производства



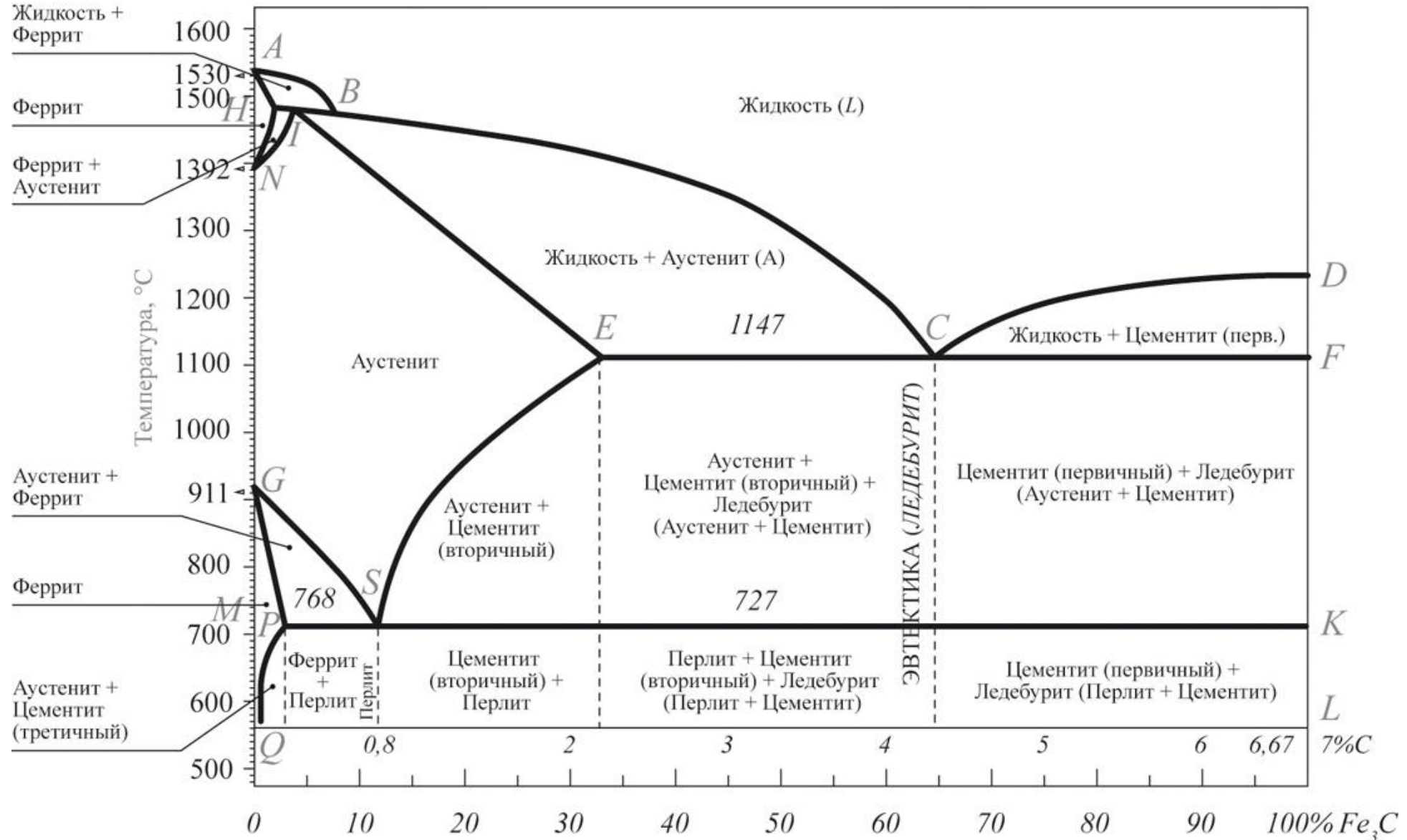
Сплавы железа с углеродом

- **Феррит** – твердый раствор углерода в α -железе. Содержание углерода в феррите очень невелико – максимальное 0,02% при температуре 727°C. Благодаря столь малому содержанию углерода свойства феррита совпадают со свойствами железа (низкая твердость и высокая пластичность). Твердый раствор углерода в высокотемпературной модификации часто называют δ -ферритом или высокотемпературным ферритом
- **Аустенит** – твердый раствор углерода в γ -железе. Максимальное содержание углерода в аустените составляет 2,14% (при температуре 1147°C)
- **Цементит** – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа) Fe_3C . В нем содержится 6,67 % углерода (по массе). Имеет сложную ромбическую кристаллическую решетку. Характеризуется очень высокой твердостью, крайне низкой пластичностью и хрупкостью

Сплавы железа с углеродом

- **Перлит** – механическая смесь феррита с цементитом. Содержит 0,8% углерода, образуется из аустенита при температуре 727°C. Имеет пластинчатое строение, т. е. его зерна состоят из чередующихся пластинок феррита и цементита. Перлит является эвтектоидом
- **Эвтектоид** – механическая смесь двух фаз, образующаяся из твердого раствора (а не из жидкого сплава, как эвтектика)
- **Ледебурит** представляет собой эвтектическую смесь аустенита с цементитом. Содержит 4,3% углерода, образуется из жидкого сплава при температуре 1147°C. При температуре 727°C аустенит, входящий в состав ледебурита превращается в перлит и ниже этой температуры ледебурит представляет собой механическую смесь перлита с цементитом

Диаграмма состояния «железо-цементит»



Железоуглеродистые сплавы

В зависимости от содержания углерода делятся на:

- техническое железо (до 0,02% C)
- сталь (от 0,02 до 2,14% C)
- чугун (от 2,14 до 6,67% C)

Сталь называется:

- доэвтектоидной при содержании до 0,8% C
- эвтектоидной при содержании 0,8% C
- заэвтектоидной при содержании свыше 0,8% C

Чугун называется:

- доэвтектическим при содержании от 2,14 до 4,3% C
- эвтектическим при содержании 4,3% C
- заэвтектическим при содержании от 4,3 до 6,67% C

Микроструктуры сталей (схемы и фото)

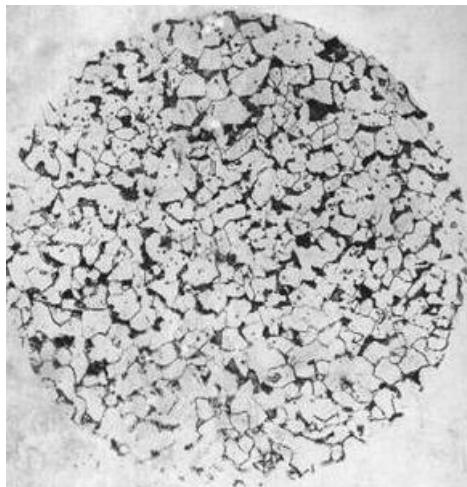
С различным содержанием углерода:

1 – сталь Ст3 (0,17% C)

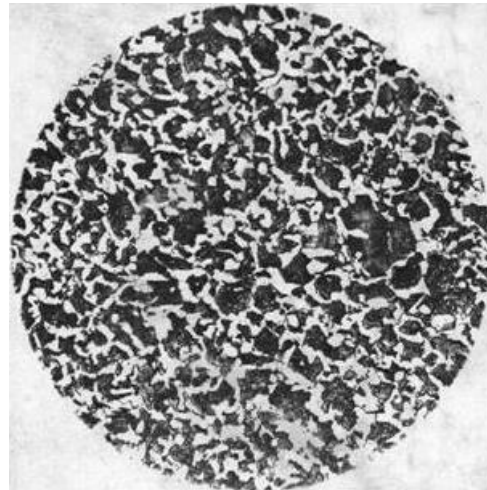
2 – сталь 35 (0,35% C)

3 – сталь У8 (0,8% C)

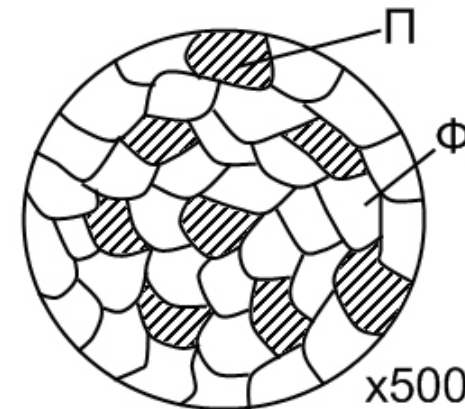
4 – сталь У10 (1% C)



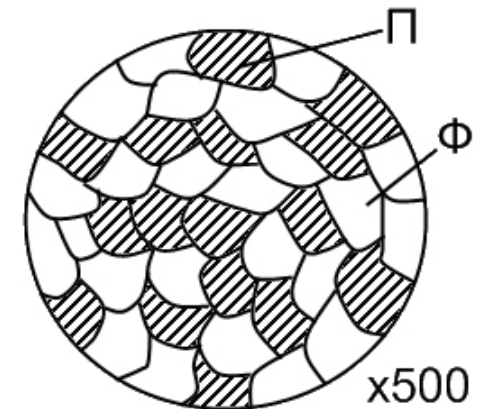
Ст3 (0,17% C)



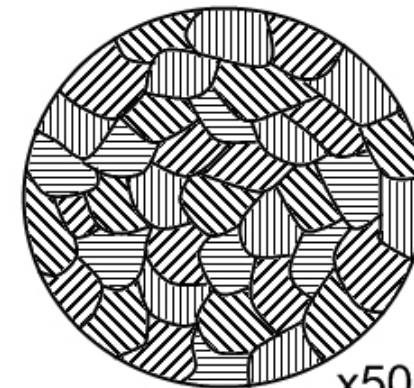
Сталь 50 (0,5% C)



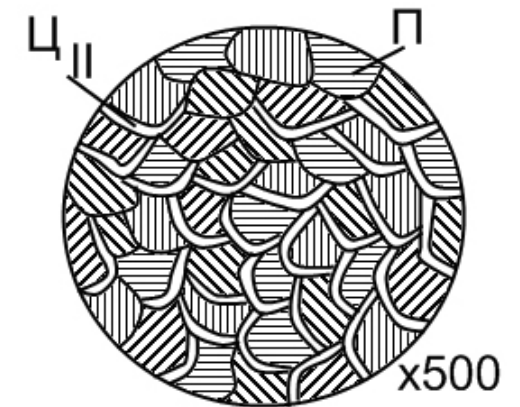
1
перлит + феррит



2
перлит + феррит



3
перлит



4

Влияние углерода на свойства стали

- В стали имеются две фазы – феррит и цементит (частично в виде перлита). Количество цементита возрастает прямо пропорционально содержанию углерода. Как уже говорилось, феррит характеризуется высокой пластичностью и низкой твердостью, а цементит, напротив, очень низкой пластичностью и высокой твердостью. Поэтому с повышением содержания углерода до 1,2% снижаются пластичность и вязкость стали и повышаются твердость и прочность
- Повышение содержания углерода влияет и на технологические свойства стали. Ковкость, свариваемость и обрабатываемость резанием ухудшаются, но литейные свойства улучшаются

Влияние примесей на свойства стали

- **Марганец и кремний** вводят в любую сталь для раскисления, т. е. для удаления вредных примесей оксида железа FeO. Марганец также устраняет вредные сернистые соединения железа. При этом содержание марганца обычно не превышает 0,8%, а кремния – 0,4%. Марганец повышает прочность, а кремний упругость стали
- **Фосфор** растворяется в феррите, сильно искажает кристаллическую решетку, снижая при этом пластичность и вязкость, но повышая прочность. Вредное влияние фосфора заключается в том, что он сильно повышает температуру перехода стали в хрупкое состояние, т.е. вызывает ее хладноломкость. Вредность фосфора усугубляется тем, что он может распределяться в стали неравномерно. Поэтому содержания фосфора в стали ограничивается величиной 0,045%

Влияние примесей на свойства стали

- **Сера** также является вредной примесью. Она нерастворима в железе и образует с ним сульфид железа FeS, который образует с железом легкоплавкую эвтектику. Эвтектика располагается по границам зерен и делает сталь хрупкой при высоких температурах. Это явление называется красноломкостью. Количество серы в стали ограничивается 0,05%
- **Водород, азот и кислород** содержатся в стали в небольших количествах и являются вредными примесями, ухудшающими свойства стали

Классификация сталей

- **По химическому составу** стали могут быть углеродистыми, содержащими железо, углерод и примеси и легированными, содержащими дополнительно легирующие элементы, введенные в сталь с целью изменения ее свойств
- **По содержанию углерода** стали делятся на низкоуглеродистые (до 0,25% C), среднеуглеродистые (0,25-0,7% C) и высокоуглеродистые (более 0,7% C)
- **По назначению** различают стали конструкционные, идущие на изготовление деталей машин, конструкций и сооружений, инструментальные, идущие на изготовление различного инструмента, а также стали специального назначения с особыми свойствами: нержавеющие, жаростойкие, жаропрочные, износостойкие, с особыми электрическими и магнитными свойствами и др.
- **По показателям качества** стали классифицируются на обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные. Качество стали характеризуется совокупностью свойств, определяемых процессом производства, химическим составом, содержанием газов и вредных примесей (чем меньше серы и фосфора, тем качество выше)

Группы сталей обыкновенного качества:

- **А** – имеют гарантируемые механические свойства. Они используются в состоянии поставки без горячей обработки или сварки. Эти стали маркируются буквами **Ст** и цифрами, обозначающими порядковый номер марки. Выпускается семь марок сталей **группы А**: Ст0, Ст1, Ст2, Ст6. Чем выше номер марки, тем больше содержание углерода и, соответственно, выше прочность и ниже пластичность
- **Б** – имеют гарантируемый химический состав. Эти стали подвергаются горячей обработке. При этом их механические свойства не сохраняются, а химический состав важен для определения режима обработки. Маркируются они так же, как стали группы А, но перед буквами **Ст** ставится буква **Б**. Чем выше номер марки, тем больше содержание в стали С, Si, Mn
- **В** – имеют гарантируемые механические свойства и химический состав. Эти стали используются для сварки, так как для выбора режима сварки надо знать химический состав, а механические свойства частей изделий, не подвергшихся тепловому воздействию, остаются без изменений. В марках сталей этой группы на первое место ставится буква **В**. При этом механические свойства и химический состав соответствуют свойствам аналогичных марок из групп **А** и **Б** (ВСтЗпс, ВСтЗсп, ...)

Классификация проката для стальных конструкций:

По видам:

- Листовой (тонколистовой, толстолистовой)
- Широкополосный универсальный
- Фасонный (уголки, двутавры, швеллеры)
- Гнутые профили

По классам прочности стали (цифры – предел текучести в МПа):

- С235, С245, С255,
- С345, С345К, С355, С355, С355-1, С355-К, С355П, С375, С390, С390-1
- С440, С550, С590

По состоянию кромки: обрезаемая, катанная, закругленная, ...

По состоянию поставки: термическая обработка, контролируемая прокатка

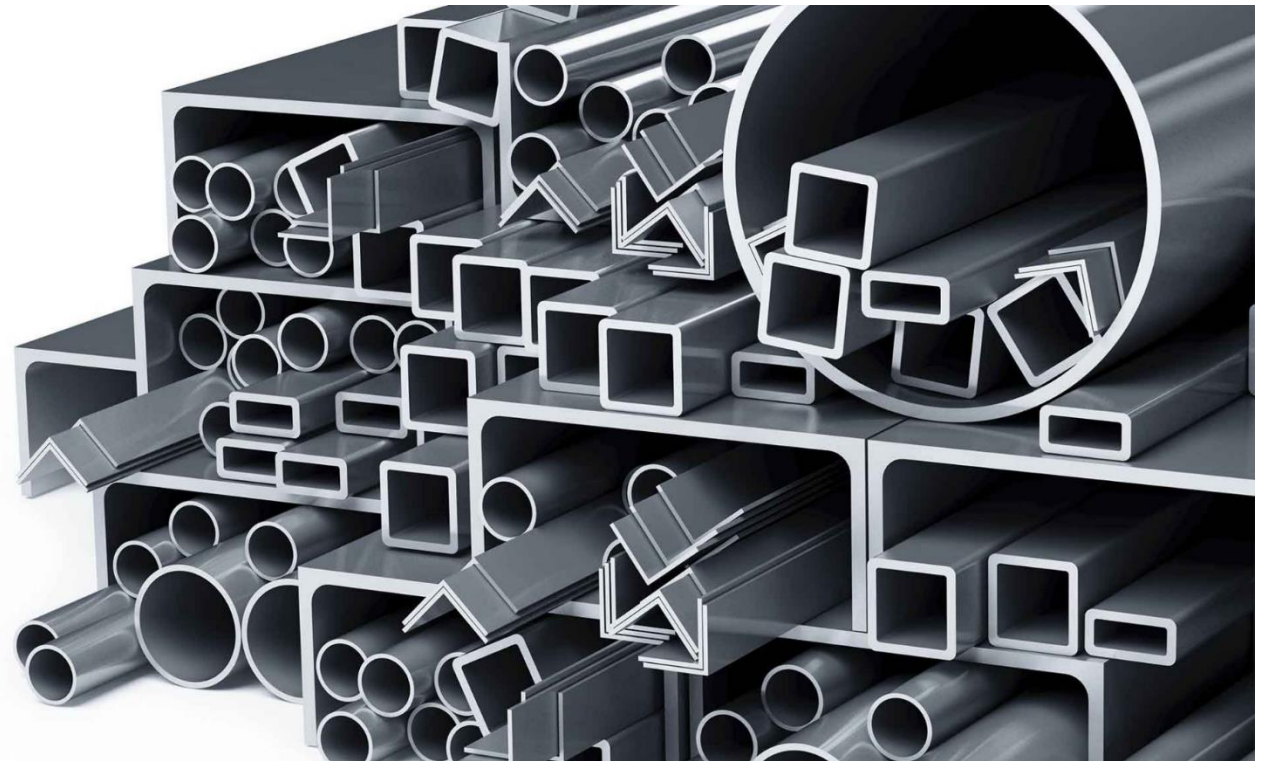
Классификация проката для стальных конструкций:

По форме, размерам и их предельным отклонениям продукция должна соответствовать требованиям:

- Прокат **листовой** – ГОСТ 8568, ГОСТ 19903
- Прокат широкополосный универсальный – ГОСТ 82
- Прокат **фасонный**:
- Уголки равнополочные – ГОСТ 8509
- Уголки неравнополочные – ГОСТ 8510
- Двутавры – ГОСТ 8239, ГОСТ 19425, ГОСТ 26020, ГОСТ Р 57837-2017
- Швеллеры – ГОСТ 8240, ГОСТ 19425
- Профили гнутые – ГОСТ 7511, ГОСТ 8278, ГОСТ 8281, ГОСТ 8282, ГОСТ 8283, ГОСТ 9234, ГОСТ 10551, ГОСТ 13229, ГОСТ 14635, ГОСТ 19771, ГОСТ 19772, ГОСТ 25577

Механические характеристики стального проката:

- Плотность – 7850 кг/м^3
- Модуль упругости – $206\,000 \text{ МПа}$
- Коэффициент Пуассона – $0,3$
- Модуль сдвига принимается равным – $79\,000 \text{ МПа}$
- Коэффициент линейного расширения – $1,2 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$



Преимущества и недостатки стальных конструкций:

Преимущества:

- Высокая прочность
- Низкий собственный вес конструкций
- Экономичны при транспортировании и монтаже
- Повторно используемый материал

Недостатки:

- Высокая стоимость
- Низкая огнестойкость
- Низкая коррозионная стойкость
- Необходимость ежегодного контроля и восстановления антикоррозийной защиты
- Высокая теплопроводность

Примеры стальных конструкций:

- Каркасы общественных зданий



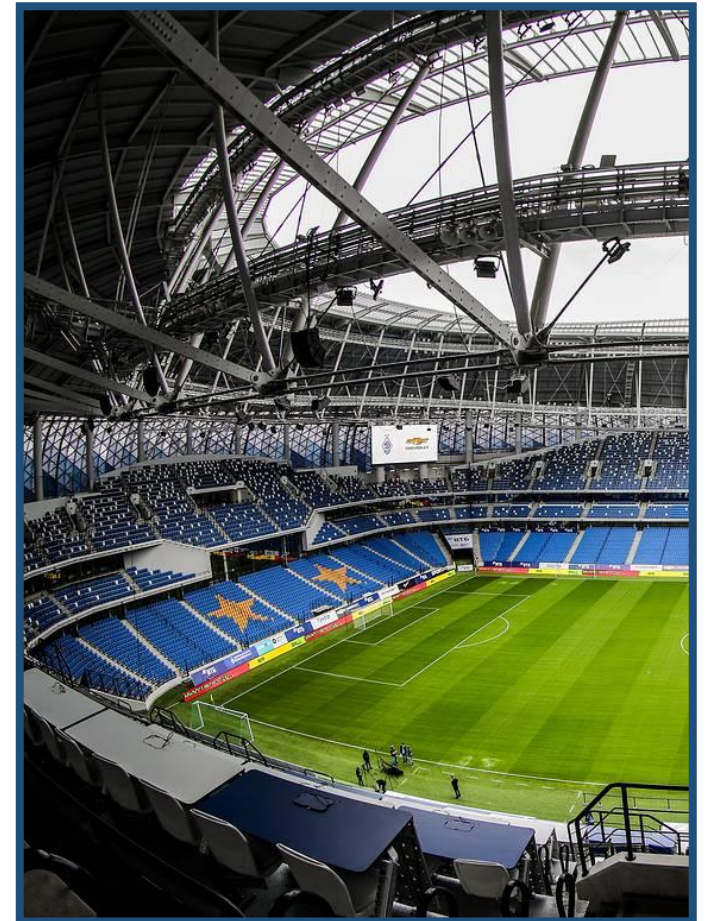
Примеры стальных конструкций:

- Каркасы и покрытия промышленных и складских зданий



Примеры стальных конструкций:

- Каркасы и покрытия спортивных сооружений



Примеры стальных конструкций:

- Производственные и энергетические объекты



Примеры стальных конструкций:

- Сооружения башенного типа



Классификация стального проката для железобетона:

Для армирования железобетонных конструкций следует применять арматуру следующих видов:

- горячекатаную гладкую и периодического профиля с постоянной и переменной высотой выступов (кольцевой и серповидный, трехсторонний или четырехсторонний профиль соответственно) диаметром 6-40 мм
- горячекатаную упрочненную периодического профиля диаметром 6-40 мм
- холоднодеформированную периодического профиля диаметром 3-16 мм
- арматурные канаты диаметром 6,2-18 мм

Основным показателем качества арматуры, определяющим ее свойства, является класс арматуры по прочности на растяжение (в МПа):

- А – для горячекатаной и термомеханически упрочненной арматуры
- В, В_р – для холоднодеформированной арматуры
- К - для арматурных канатов



Классификация арматуры по условиям применения:

Ненапрягаемая для обычных железобетонных конструкций:

- А400, А500, А600, В500, В_р500 в качестве рабочей арматуры
- А240 (из сталей СтЗсп и СтЗпс) и А400, А500, В500, В_р500 для поперечного и косвенного армирования

Напрягаемая для предварительно напряженных железобетонных конструкций:

- Горячекатаная и термомеханически упрочненная классов А600, А800, А1000
- Холоднодеформированную классов В_р1200...В_р1600
- Канатную 7-ми проволочную (К7, К7Т, К7О) классов К1400...К1900

По **свариваемости** (один из способов соединения) арматура подразделяется на свариваемую любым способом (ручная дуговая, ванная, контактно-точечная сварка) и не свариваемую никаким способом (В_р1200...В_р1600, К1400...К1900)

Прочностные характеристики стальной арматуры:

- Предел пропорциональности
- Предел упругости
- Физический σ_y или условный предел $\sigma_{0,2}$ текучести
- Временное сопротивление разрыву – σ_u ,

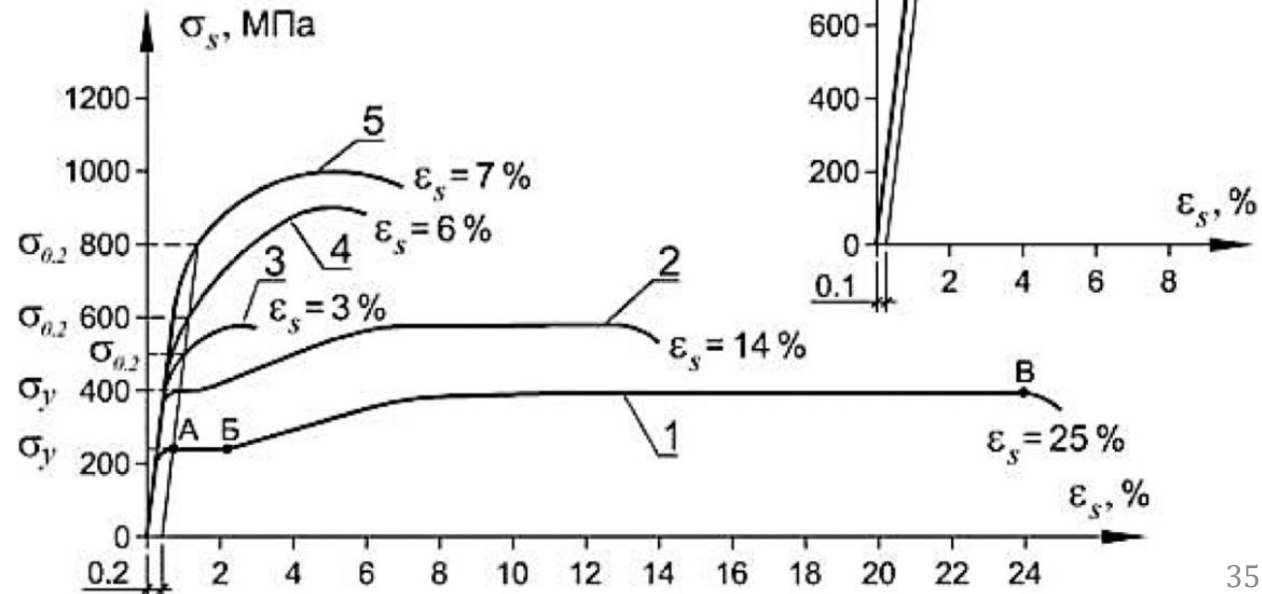
устанавливают по диаграмме « $\sigma - \epsilon$ », получаемой при испытании образцов арматуры на растяжение

1 – гладкая класса А240

2, 4, 5 – периодического профиля А400, А600, А800, соответственно

3, 6, 7 – холоднодеформируемая В_р500, В_р1200, В_р1400, соответственно

8 – канатная класса К1700



Деформационные характеристики стальной арматуры:

- Относительная деформация удлинения арматуры – ε_{s0} при достижении напряжениями расчетного сопротивления R_s
- Модуль упругости арматуры E_s
- Угол загиба в холодном состоянии, который должна выдерживать арматура без хрупкого разрушения
- Число перегибов (для проволоки), которые арматура также должна выдерживать разрушения
- Ползучесть стали (реологические свойства)
- Релаксация напряжений в стали зависит от многих факторов (от прочности и химического состава, технологии изготовления, температуры и уровня напряжений) и негативно сказывается на работе предварительно напряженных железобетонных конструкций

Механические характеристики стальной арматуры:

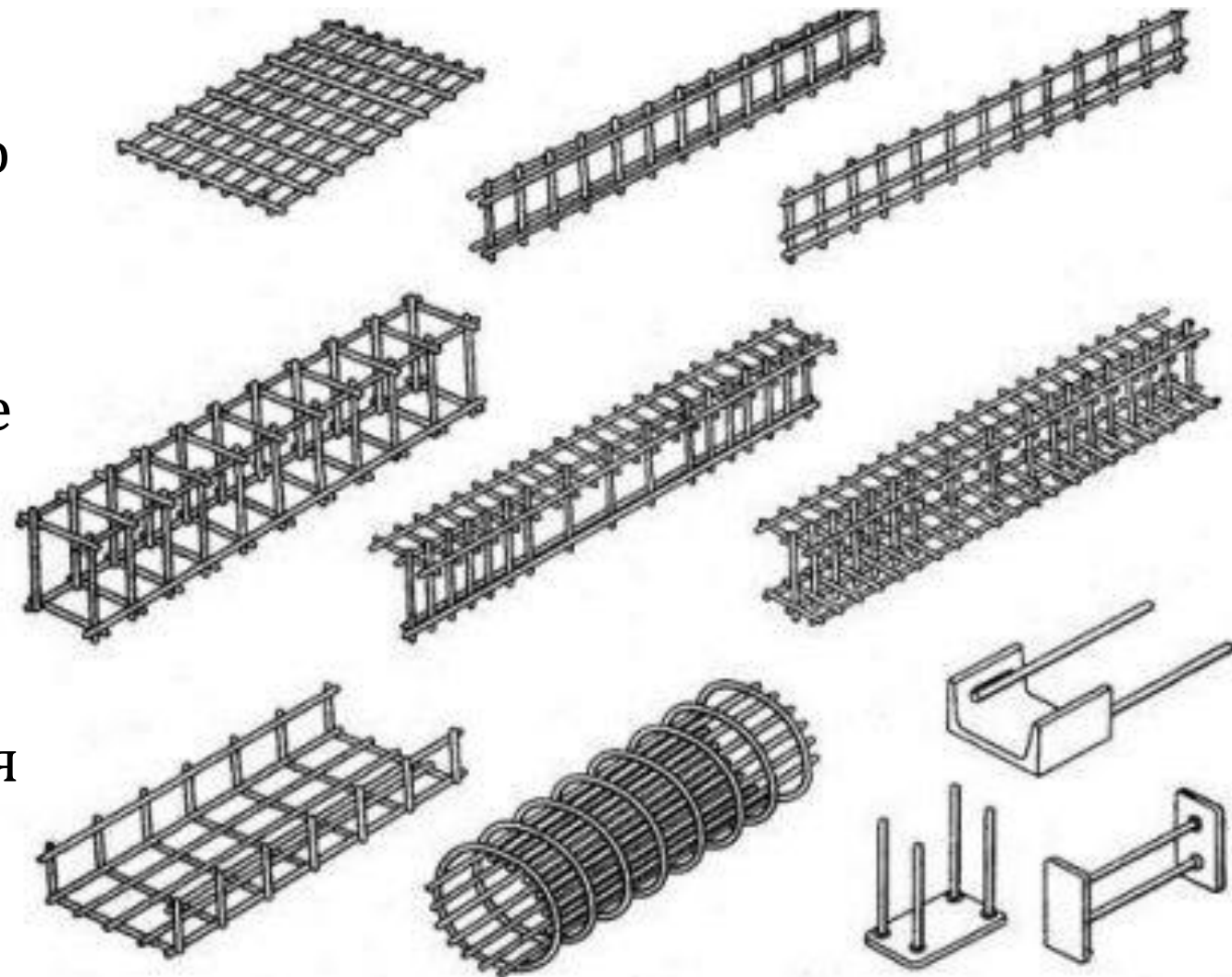
- Сопротивление растяжению R_s – 210...1670 МПа
- Сопротивление сжатию R_{sc} – 210...500(400) МПа
- Сопротивление срезу R_{sw} – 170...300 МПа (А240, А400, А500, В500)
- Модуль упругости E_s – 195 000 (для К...) и 200 000 (для А...) МПа
- Относительная деформация $\varepsilon_{s0} = \frac{R_s}{E_s}$ или $\varepsilon_{s0} = \frac{R_s}{E_s} + 0,002$ при физическом или условном пределе текучести соответственно
- Предельная относительная деформация $\varepsilon_{s2} = 0,025$
- Коэффициент линейного расширения – $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Классы арматуры по прочности на растяжение: А240, А400, А500, А600, А800, А1000, В500, В_p500, В_p1200...В_p1600, К1400...К1900

Арматурные изделия

Используют при необходимости ускорения строительного-монтажных работ по возведению железобетонных конструкций:

- Плоские сварные каркасы
- Пространственные арматурные каркасы
- Плоские сварные сетки
- Рулонные сварные сетки
- Закладные детали (комбинация арматуры и листового/фасонного проката)



Примеры арматурных изделий:



Литература:

- ГОСТ 27772-2015 Прокат для строительных стальных конструкций
- СП 16.13330.2017 Стальные конструкции
- ГОСТ 34028-2016 Прокат арматурный для железобетонных конструкций
- СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции

ИФО | 01.03.04 | ПМ | 6-й семестр

Строительные конструкции

Лекция №4



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; dpekin@mail.ru

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.