

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Уфимский государственный нефтяной
технический университет»

Архитектурно-строительный институт
Кафедра Строительные конструкции

Металлические конструкции, включая сварку

Часть 1 Элементы и соединения

Ауд. 6-313 Порываев Илья Аркадьевич — к.т.н. доцент

Где мы находимся?



Мои задачи

Чтобы вы научились решать задачи
(профессиональные проблемы)

Развивали «надпрофессиональные» навыки:
ответственность; дисциплинированность;
исполнительность; взаимоуважение; работа
в команде; профессиональная этика

Развивали навыки работы с информацией

Полюбили металлические конструкции

Технология работы

Лекция - диалог

Записывать основные опорные точки

Основной источник информации –
учебная литература

Работать с литературой систематически –
до или сразу после лекции

Следите, пожалуйста, за временем

Основная и дополнительная литература

1. Металлические конструкции: учебник для студ. Учреждений высш. проф. Образования / [Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатъев и др.]; под ред. Ю.И. Кудишина. – 13-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 688 с.
2. Москалев Н.С., Пронозин Я.А., Парлашкевич В.С., Корсун Н.Д. Металлические конструкции, включая сварку: Учебник / под редакцией проф., к.т.н. В.С. Парлашкевич. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 352 с.
3. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1. Элементы конструкций: Учеб. Для строит. Вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под ред. В. В. Горева. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2004. – 551 с.
4. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. – М.: Минстрой России. 2017. – 142с.
5. Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций: Учеб. Пособие для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 431 с.
6. Бирюлев В.В. Металлические конструкции (вопросы и ответы)
7. Металлические конструкции. В 3т . Т. 1. Общая часть (Справочник проектировщика) / Под ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова) – М.: изд-во АСВ, 1998. – 576 с.

Лекция 1 Введение

1. Краткая история развития металлических конструкций (МК)
2. Номенклатура и область применения МК
3. Особенности МК и основные требования
4. Требуемые свойства металлов и методы их оценки
5. Стали и алюминиевые сплавы

Металлическая конструкция

Конструкционный материал

Конструктивная форма

Технология изготовления и способы
монтажа

Потребность

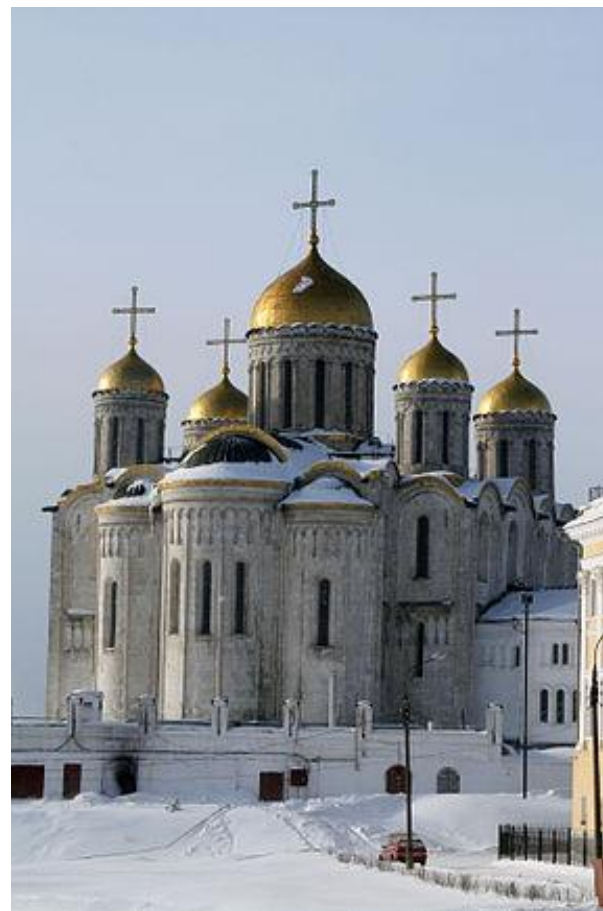
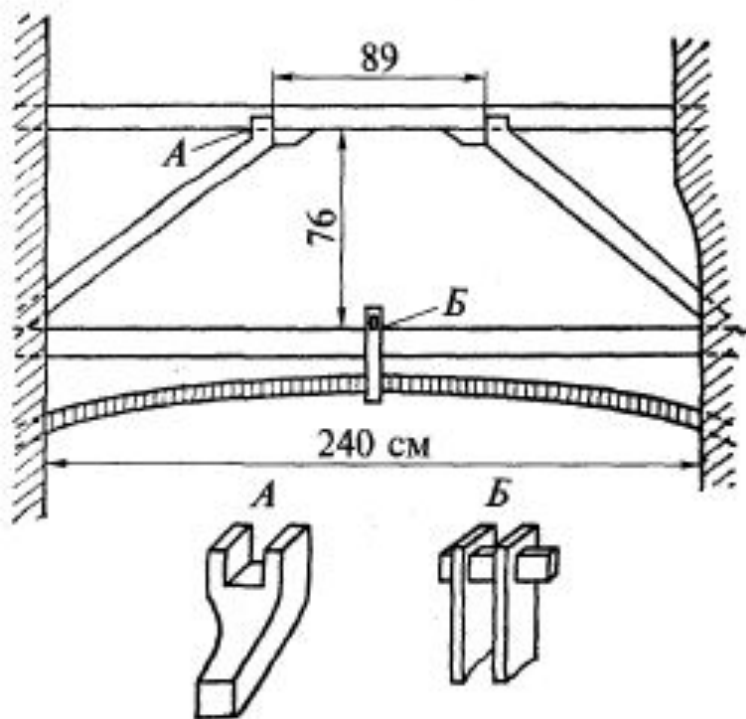
Развитие
металлургии,
металлообработки
, строительной
науки и техники

Краткая история развития МК

Первый период (с XII до начала XVII в)

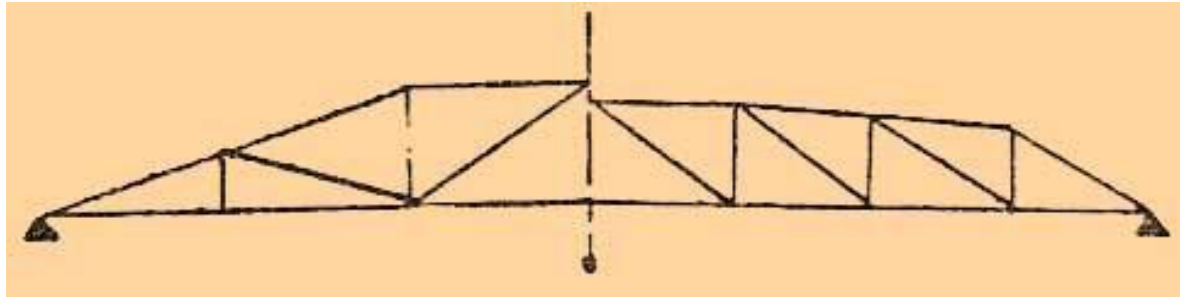
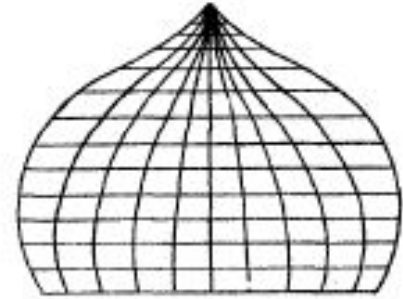
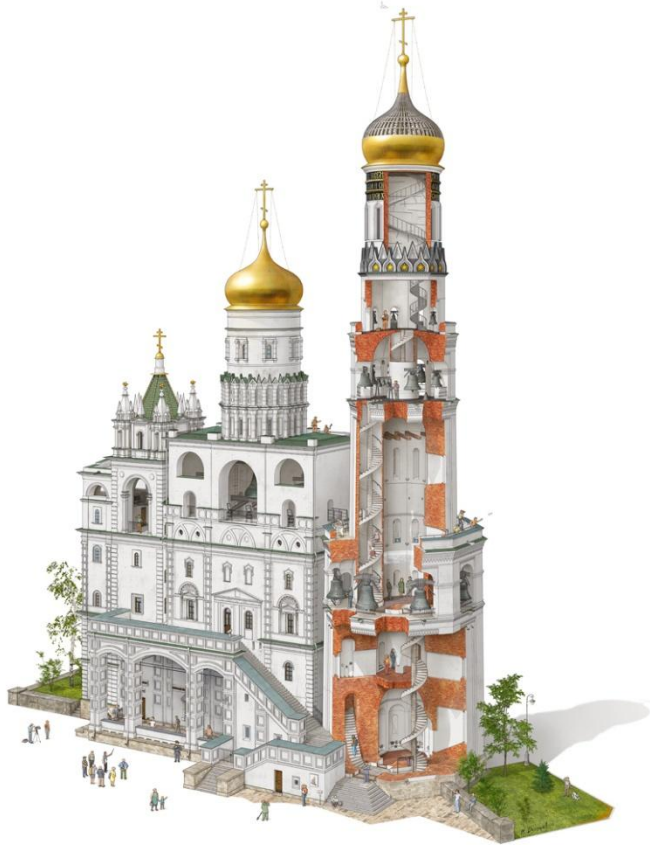
Уникальные сооружения (дворцы, церкви)

Затяжки и скрепы для каменной кладки



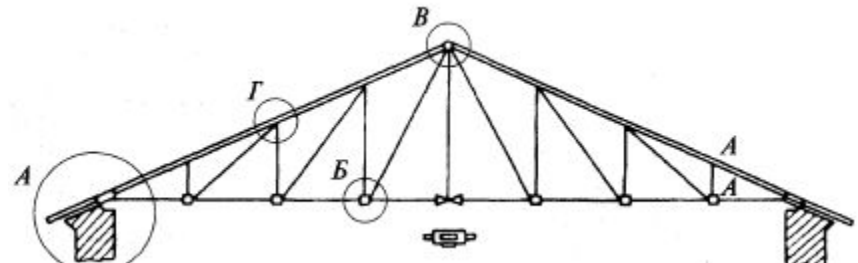
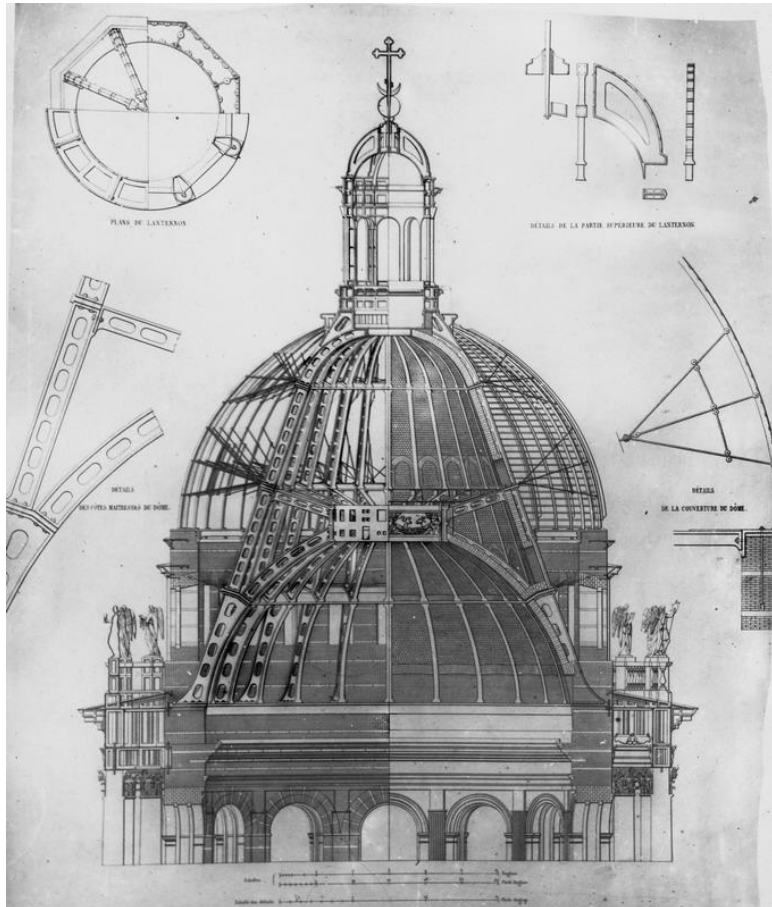
Второй период (с начала XVII до конца XVIII в.)

Наклонные металлические стропила,
пространственные купольные конструкции



Третий период (с начала XVIII до середины XIX в.)

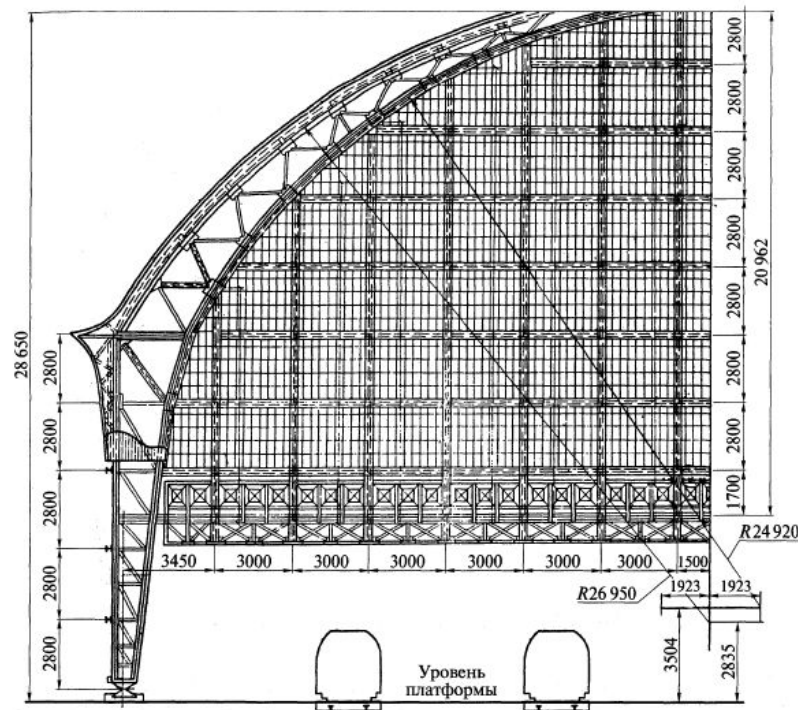
Освоен процесс литья чугунных изделий
Чугунные мосты и перекрытия зданий. Сочетание
сжатых чугунных элементов с растянутыми из
железа



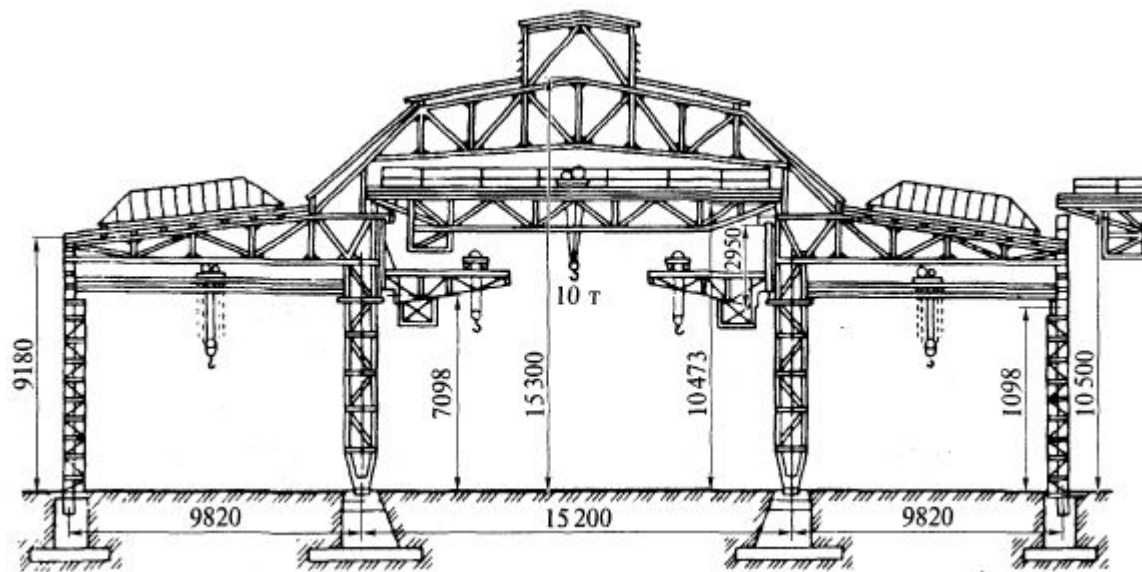
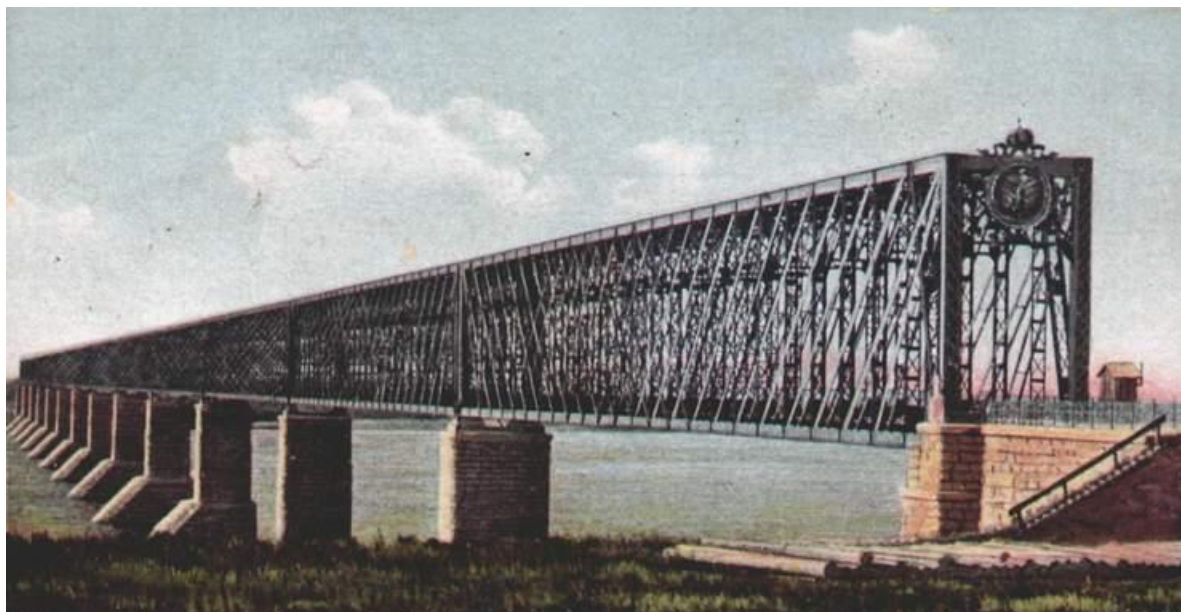
Четвертый период (30-ые годы XIX до 20-х XX в.)

Новые технологии в металлургии и металлообработке: заклепочные соединения, профильный металл и прокатный лист, сталь вытесняет чугун, развитие мостостроения (инж. С.В. Кербедз, проф. Н.А. Белелюбский, Л.Д. Проскуряков)

Конструкции гражданских и промышленных зданий:
Ф.С. Ясинский, В.Г. Шухов, И.П. Прокофьев



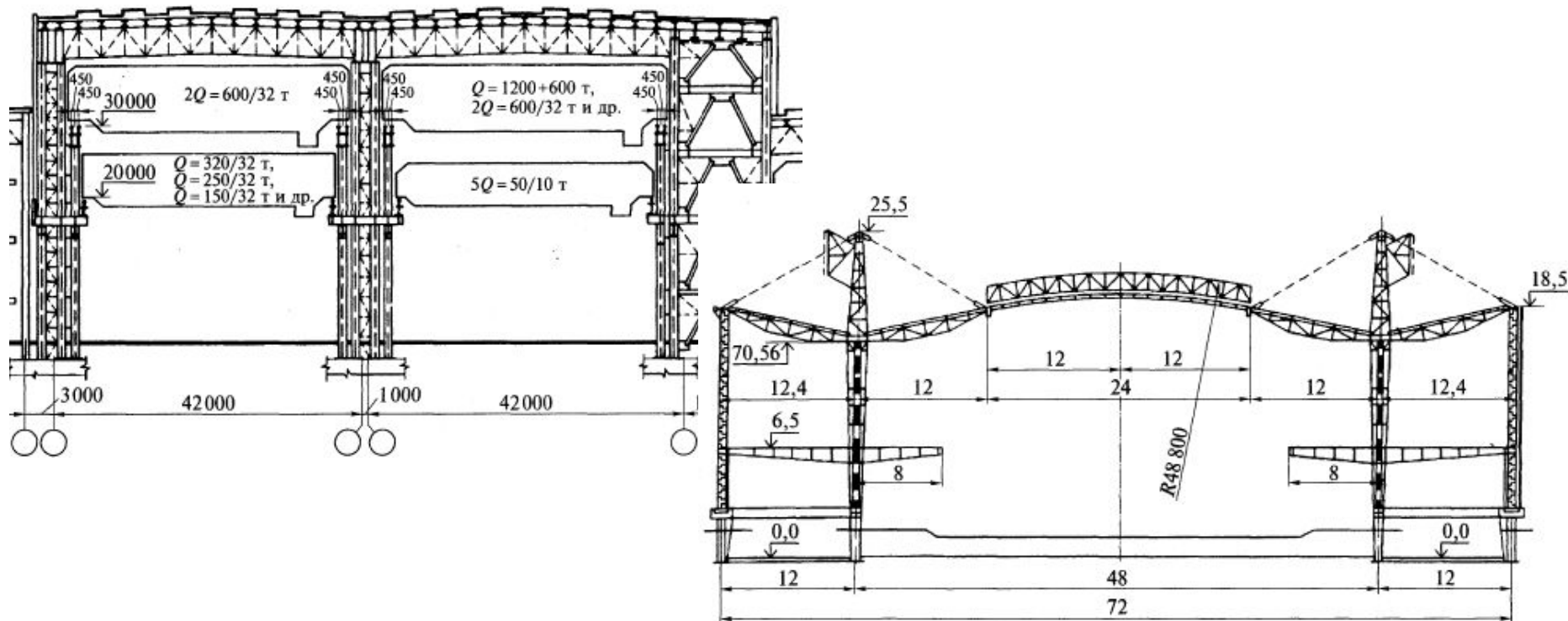
Четвертый период (30-ые годы XIX до 20-х XX в.)



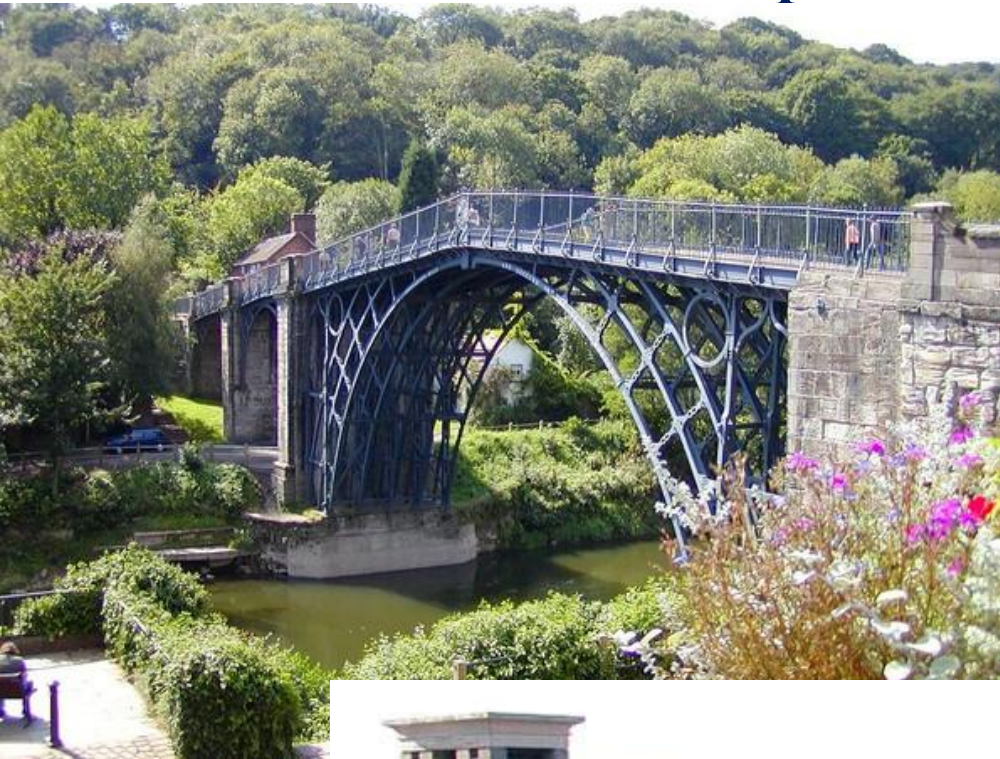
Пятый период (с 20-х XX до начала XXI в.)

Появление сварных соединений, низколегированные стали, алюминиевые сплавы, комплексное развитие всех направлений, увеличение объемов использования металлических конструкций до 20 раз. Типизация и унификация, уникальные сооружения, использование ЭВМ

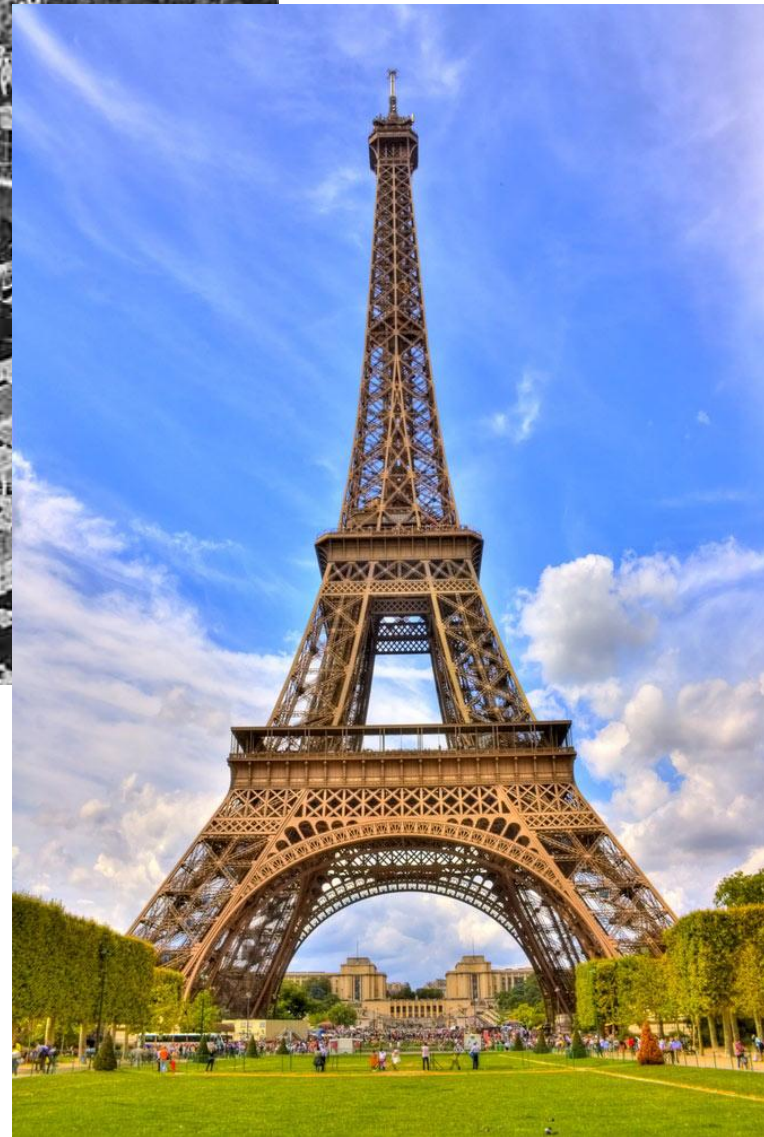
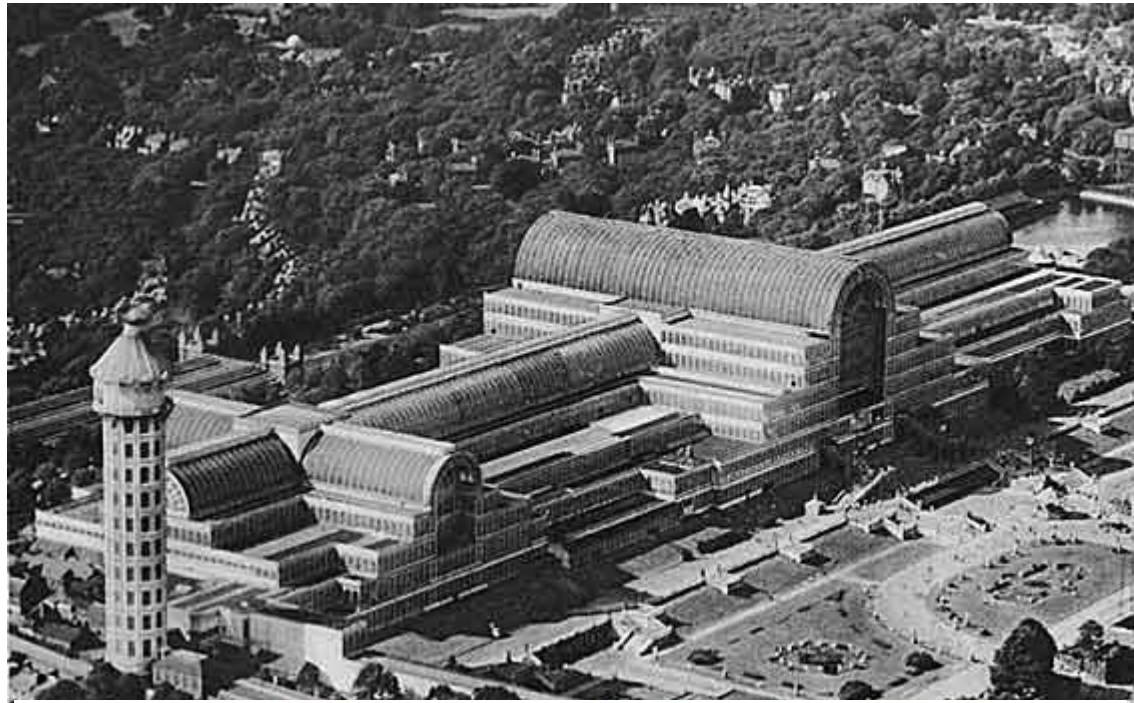
Профессор Н.С. Стрелецкий, Е.О. Патон, Н.П. Мельников



Мировой опыт



Мировой опыт



Мировой опыт



Современный этап

- Совершенствование конструктивных форм
- Разработка новых сталей (высокопрочные, огнестойкие, коррозионностойкие)
- Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК)
- Здания комплексной поставки
- Уникальные здания и сооружения
- Сталежелезобетон
- Технологии информационного моделирования
- Новые методы и способы сварки, контроля качества сварных соединений
- Аддитивные технологии

Номенклатура и область применения МК

1. Промышленные здания



2. Большепролетные покрытия зданий



3. Мосты, эстакады



4. Листовые конструкции



5. Башни, мачты



6. Каркасы многоэтажных зданий



7. Крановые и другие подвижные конструкции



8. Прочие конструкции



Основные особенности МК и предъявляемые к ним требования

Что объединяет МК?

*Исходный
материал для
всех конструкций
– прокатный
металл (лист,
уголок, швеллер и
т.д.)*

*Единый
технологический
процесс изготовления:
холодная обработка
(резка, гибка,
образование
отверстий); сборочно-
сварочные операции*

Достоинства МК

Надежность

Близкое совпадение
действительной работы с
расчетными гипотезами,
однородность структуры
материала

Легкость

$$C = \rho / R$$

Сталь обычной прочности $3,2 \cdot 10^{-4}$; бетон В20
 $21,4 \cdot 10^{-4}$

Достоинства МК

Непроницаемость

Высокая плотность,
сварные соединения

Индустриальность

Изготавливаются на
заводах, высокая степень
механизации и типизации
операций при монтаже

Достоинства МК

Ремонтопригодность

Возможность
многократного
использования

Недостатки МК

Коррозия

Низкая огнестойкость
(200⁰ С - снижение модуля
упругости;
600⁰ С – пластическое
состояние)

Основные требования при проектировании

Условия эксплуатации

Экономия металла

Транспортабельность

Технологичность

Скоростной монтаж

Долговечность

Эстетичность

**Экономия стали,
повышенная
производительн
ость труда при
изготовлении,
снижение
трудоемкости и
сроков монтажа**

Требуемые свойства металлов и методы их оценки

Основные свойства металлов для СК

Физико-механические свойства

Прочность

Упругость

Пластичность

Хрупкость

Ползучесть

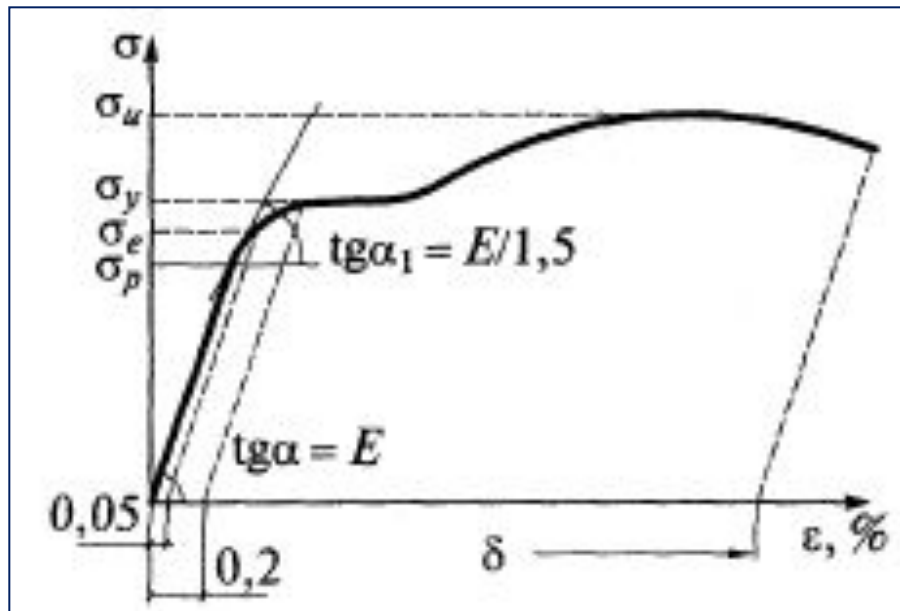
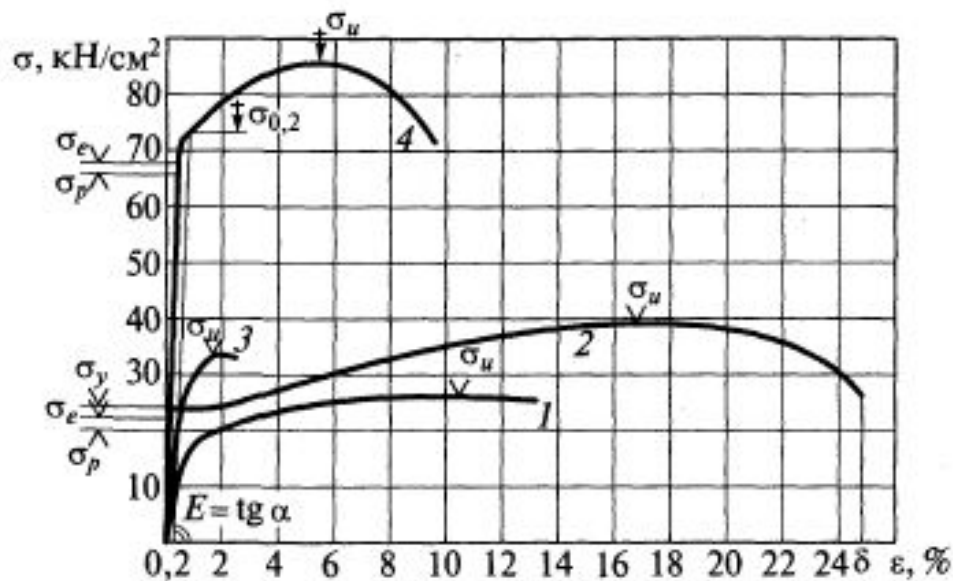
Твердость

**Химический
состав**

Испытание стандартных образцов на растяжение



Прочность при
статическом
нагружении, упругие и
пластические свойства



$$\sigma = F/A$$

$$\varepsilon = \left(\frac{\Delta l}{l_0} \right) \cdot 100\%$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\sigma_p$$

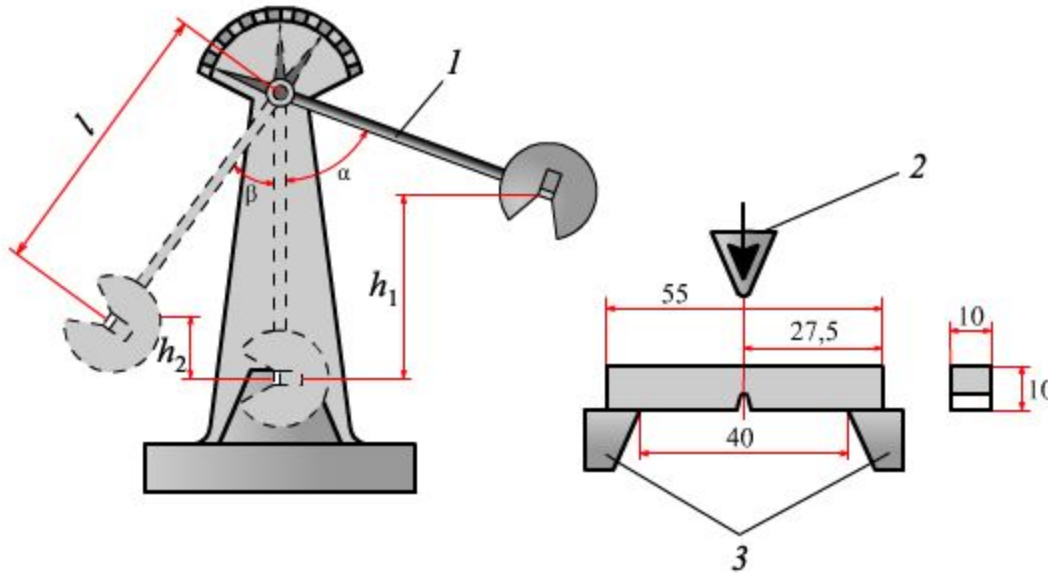
$$\sigma_e$$

$$\sigma_y (\sigma_{0,2})$$

$$\sigma_u$$

$$\delta_{\text{равн}}$$

Испытание на ударную вязкость



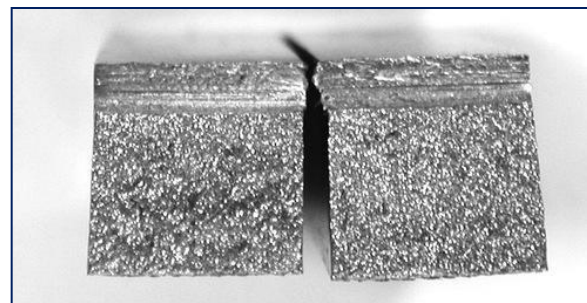
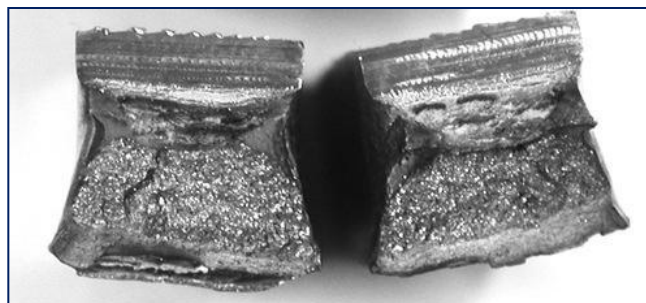
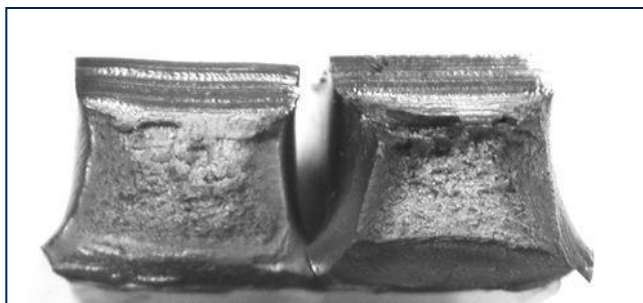
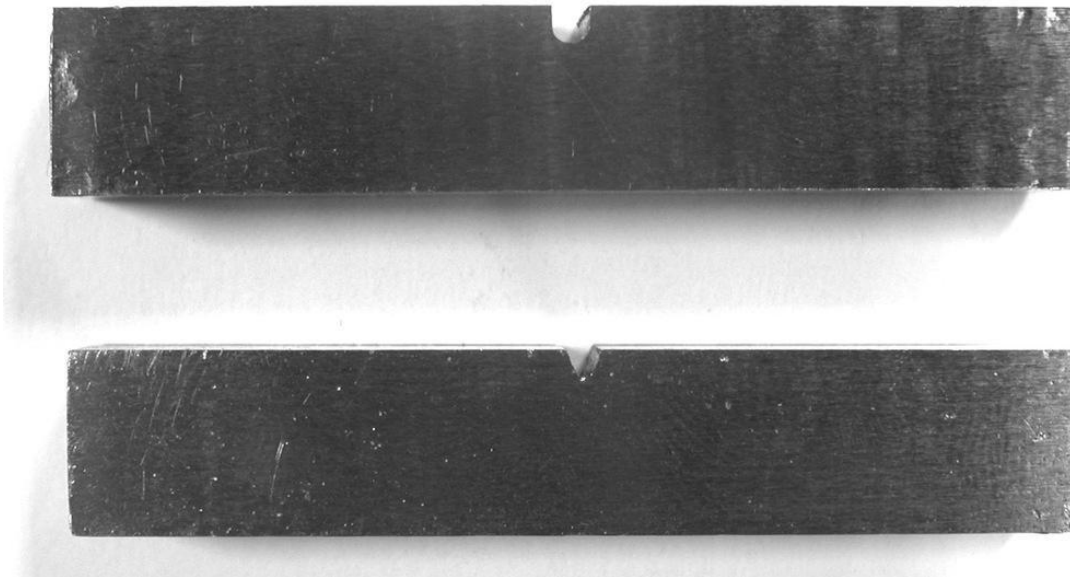
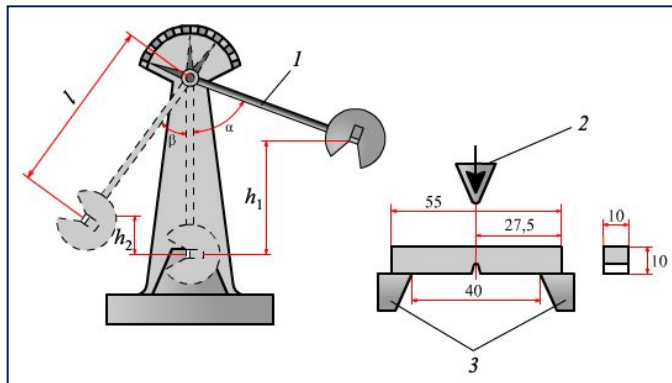
Склонность металла к хрупкому разрушению

КСУ (V) (Дж/см²)

Определяют:

- Состояние металла (хрупкое или вязкое)
- Сопротивление динамическим (ударным) воздействиям
- Чувствительность к концентрации напряжений

Испытание на ударную вязкость



Другие испытания

Ползучесть

Длительные испытания на
растяжение

Свариваемость

Углеродный эквивалент

Долговечность

Скорость коррозии по толщине
(мм/год)

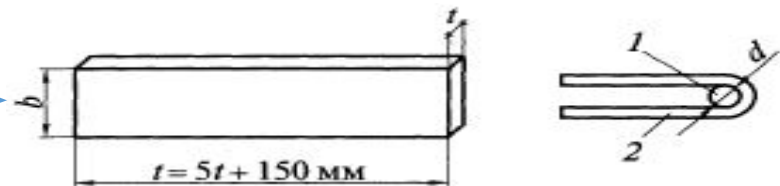
Твердость

Стандартные испытания

Технологические свойства

Химический состав

Испытания на холодный
изгиб



Основные физические характеристики металлов для СК

Характеристика	Условное обозначение	Прокатная сталь	Алюминиевые сплавы	Чугун
Объемный вес	$\gamma, \text{кН/см}^3$	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$2,65 \cdot 10^{-5}$	$7,06 \cdot 10^{-5}$
Плотность	$\rho, \text{кг/см}^3$	$7,85 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$	$7,2 \cdot 10^3$
Коэффициент линейного расширения	$\alpha, ^\circ\text{C}^{-1}$	$0,12 \cdot 10^{-4}$	$0,23 \cdot 10^{-4}$	-
Модуль упругости	$E, \text{кН/см}^2$	$2,06 \cdot 10^4$	$0,71 \cdot 10^4$	$0,83 \cdot 10^4$
Модуль сдвига	$G, \text{кН/см}^2$	$0,78 \cdot 10^4$	$0,27 \cdot 10^4$	-
Коэф. Поперечной деформации (Пуассона)	ν	0,3	0,3	-
Предел текучести	$R_y, \text{кН/см}^2$	24	10-15	-
Временное сопротивление	$R_u, \text{кН/см}^2$	36	24-32	до 85 при сжатии

Стали и алюминиевые сплавы

Сталь – сплав *железа* с *углеродом*,
содержащий легирующие добавки,
улучшающие качество металла, и
вредные примеси, которые попадают в
металл из руды или образуются в
процессе выплавки

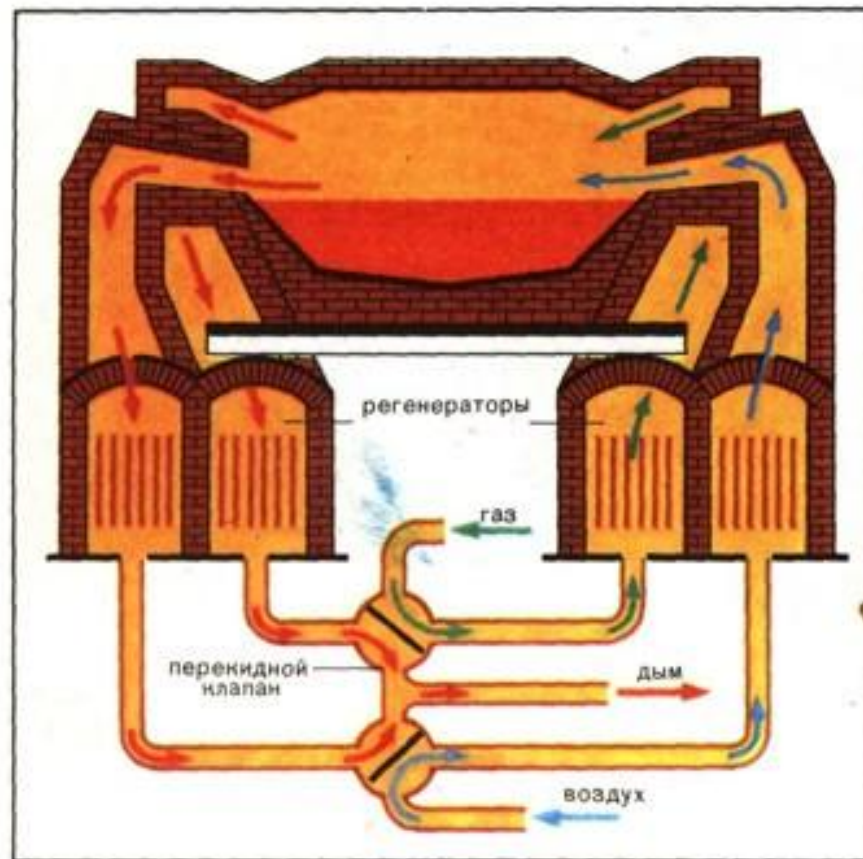
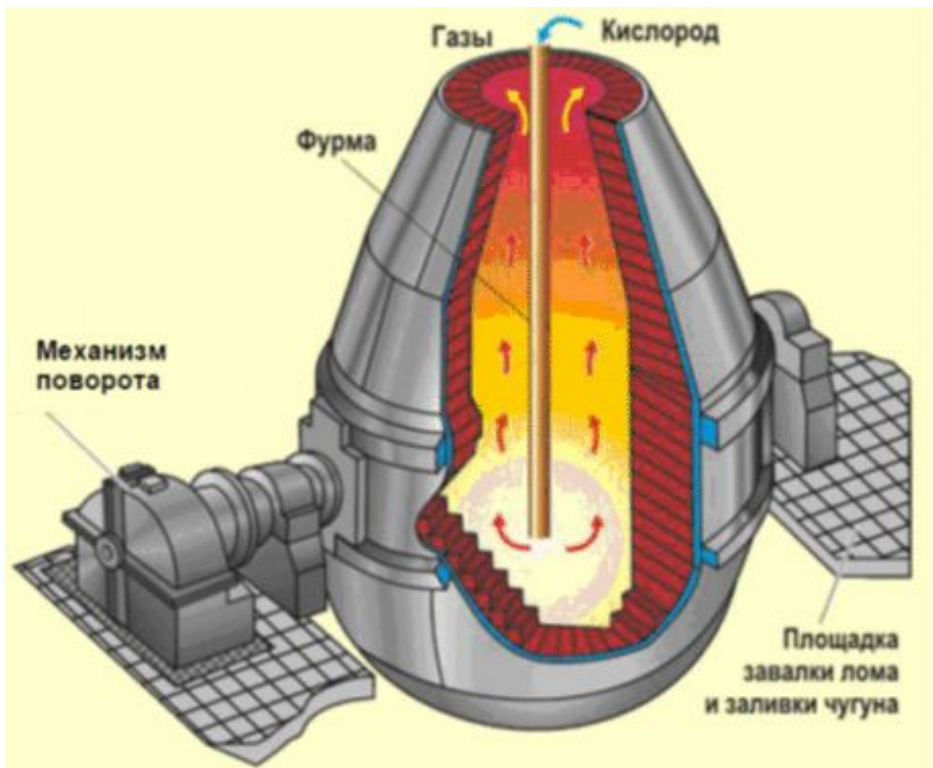
В строительстве применяют
низкоуглеродистые стали (содержание
углерода, как правило, не более 0,22 %)

Способы выплавки стали

Кислородно-
конвертерный

Мартеновский

Электросталеплавильный

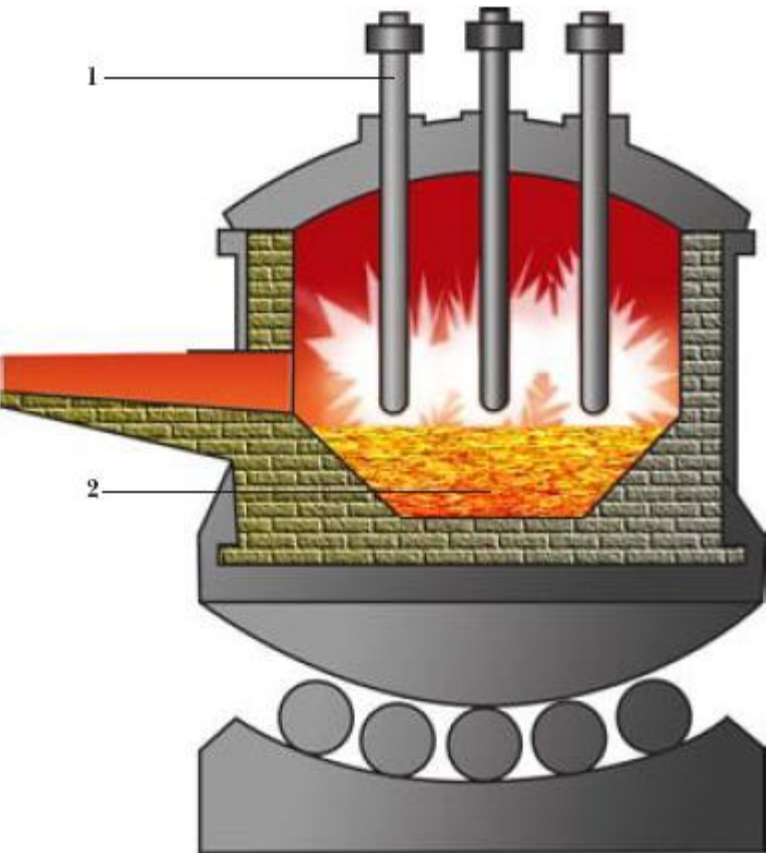


Способы выплавки стали

Кислородно-
конвертерный

Мартеновский

Электросталеплавильный



Вакуумные печи

Мировой рынок черной металлургии

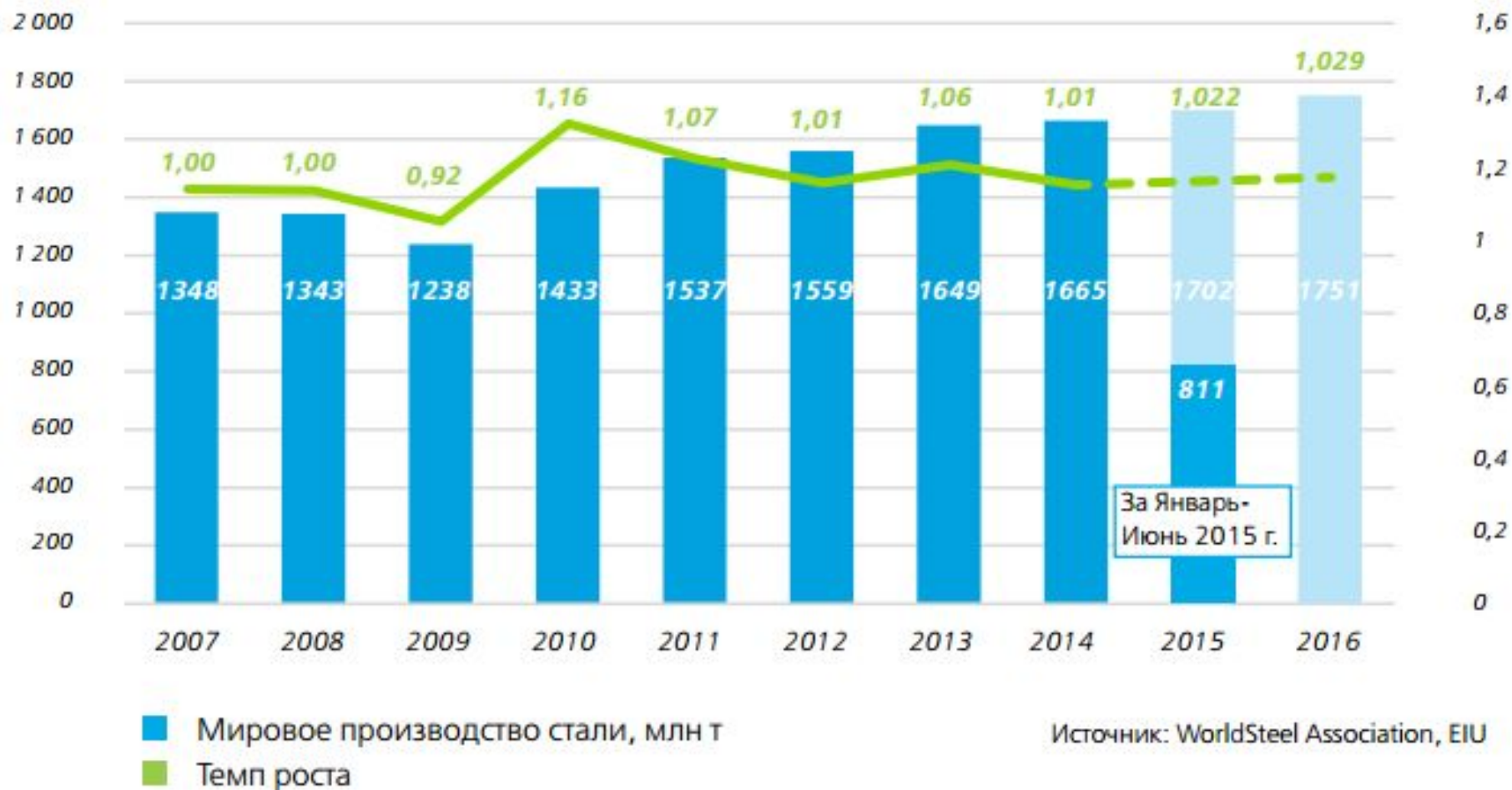
Таблица 1. Статистика мирового производства стали (млн т)

География	Производство стали					
	Объем производства, млн т			Динамика изменений		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
ЕС	162,9	160,4	169,2	-0,05	-0,02	0,05
Европа (без стран ЕС)	38,7	37,6	36,2	0,05	-0,03	-0,04
СНГ	82,1	80,4	105,1	-0,01	-0,02	0,31
НАФТА	118,6	116	119,9	0,03	-0,02	0,03
Центральная и Южная Америка	46,1	45,9	45,2	-0,03	0,00	-0,02
Африка	15,2	15,8	15,6	-0,02	0,04	-0,01
Ближний Восток	22,1	23,4	28,1	0,06	0,06	0,20
Азия и Океания	989,4	1 043,3	1 116,3	0,04	0,05	0,07
Всего	1 480,9	1 528,4	1 637,0	0,0	0,0	0,1
Китай	731	822	822,7	0,06	0,12	0,00
Весь мир, без Китая	749,9	706,4	814,3	0,0	-0,1	0,2

Источник: WSA

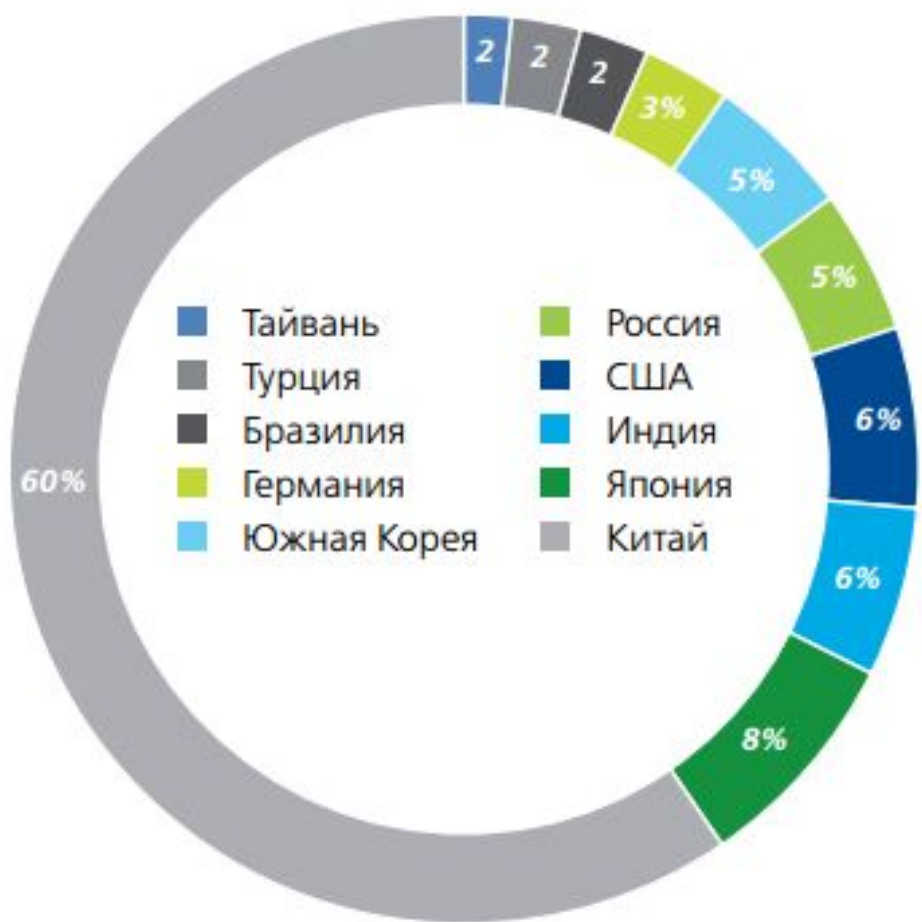
Мировой рынок черной металлургии

Рисунок 1. Мировое производство стали, млн т



Мировой рынок черной металлургии

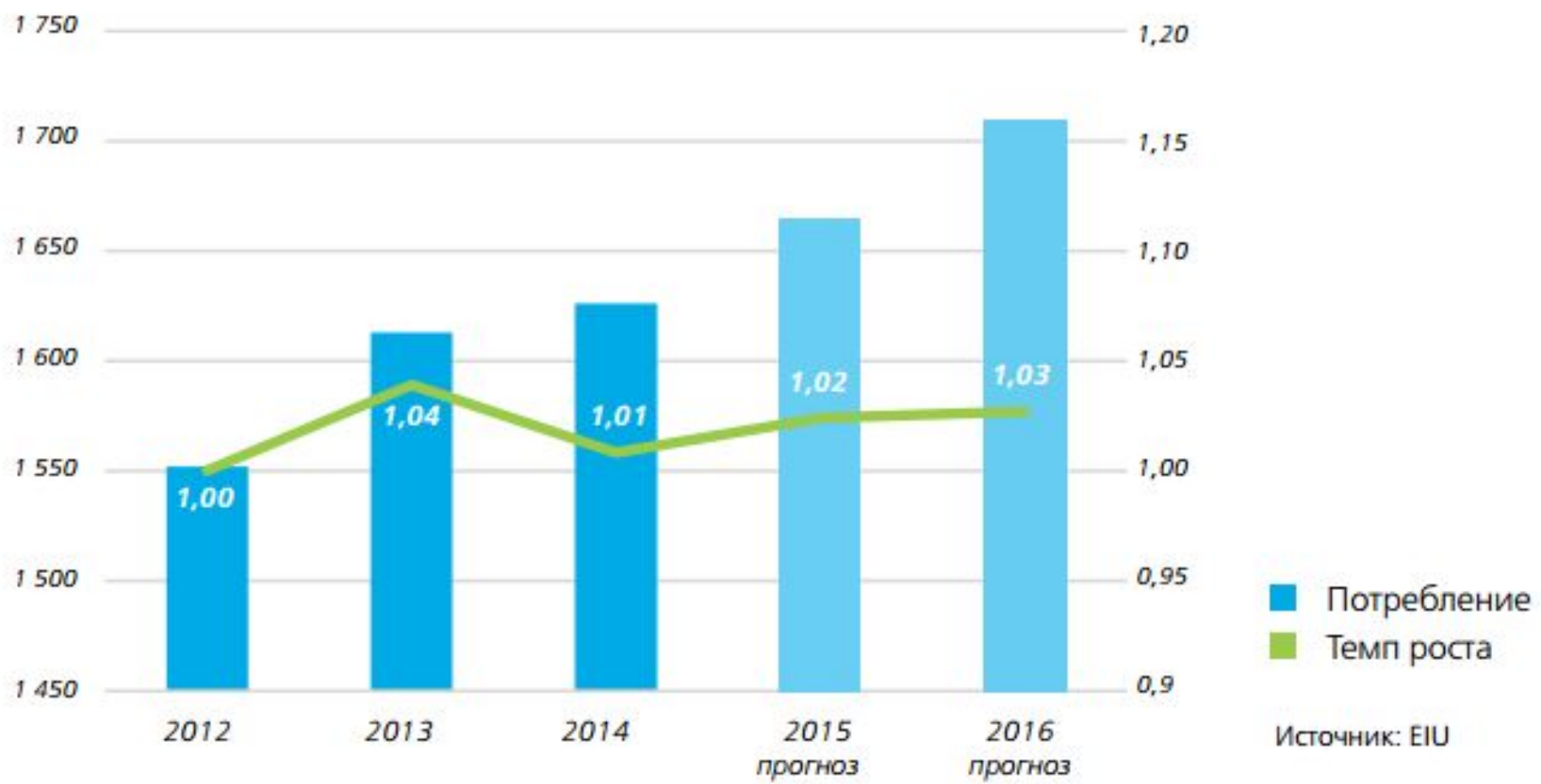
Рисунок 2. Топ-10 стран по производству стали (долевое распределение,%)



Источник: WSA

Мировой рынок черной металлургии

Рисунок 3. Потребление стали в мире, млн т



Российский рынок черной металлургии

Рисунок 5. Динамика металлургического производства в России

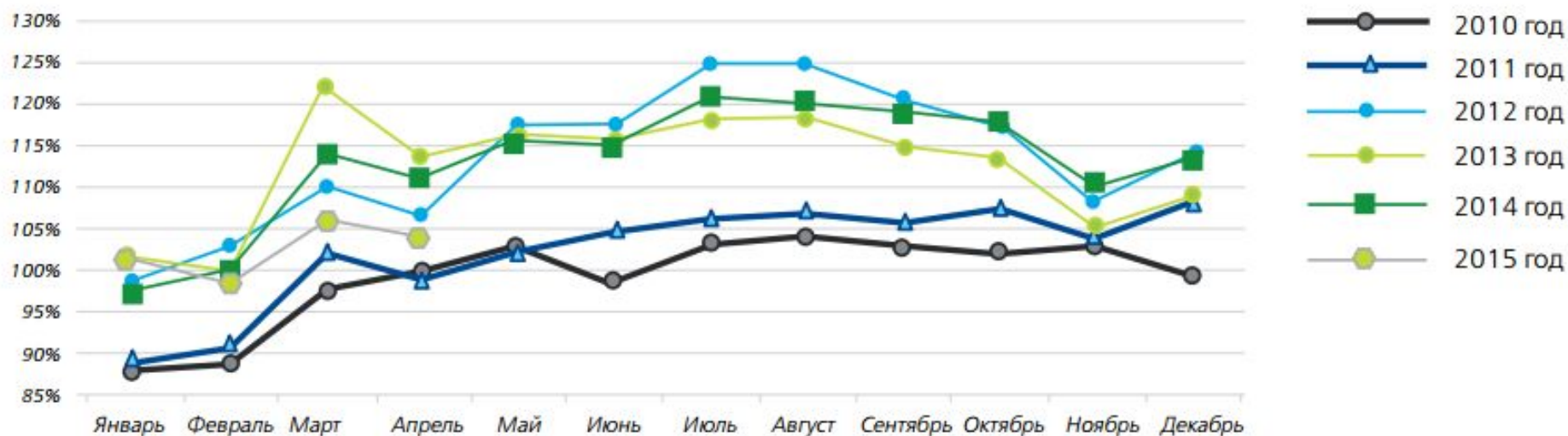


Таблица 4. Производство основных видов продукции черной металлургии в России

Продукция	Выпуск в натуральном объеме, 2014	Темп роста рынка, 2014	Выпуск в натуральном объеме, янв-апр 2015
Сталь	70,3 млн т	102,2%	23,6 млн т
Прокат готовых черных металлов	61,2 млн т	103,4%	20,2 млн т
Чугун	51,4 млн т	102,9%	17,2 млн т
Стальные трубы	11,5 млн т	113,6%	3,7 млн т

Источник: Минэкономразвития России

Таблица 5. Доля различных товаров в российском экспорте, январь – апрель 2015 года
(в долларах США)

Наименование товара	Доля в экспорте
Нефть сырая	25,20%
Нефтепродукты	21,83%
Газ природный, млрд куб. м	12,43%
Топлива жидкие, не содержащие биодизель	8,94%
Дизельное топливо, не содержащее биодизель	8,42%
Машины и оборудование	6,25%
Черные металлы	4,58%
Черные металлы (кроме чугуна, ферросплавов, отходов и лома)	3,33%
Уголь каменный	2,69%
Алюминий необработанный	2,07%
Газ природный сжиженный, млн куб. м	1,82%
Полуфабрикаты из углеродистой стали	1,48%
Прокат плоский из углеродистой стали	1,03%
Удобрения минеральные калийные	0,99%
Удобрения минеральные смешанные	0,94%
Лесоматериалы обработанные	0,86%
Бензин автомобильный	0,82%
Медь рафинированная	0,81%
Никель необработанный	0,80%
Удобрения минеральные азотные	0,72%
Пшеница и меслин	0,68%
Чугун	0,41%
Аммиак безводный	0,39%
Каучук синтетический	0,39%
Лесоматериалы необработанные, 1000 куб. м	0,38%
Руды и концентраты железные	0,38%
Ферросплавы	0,36%

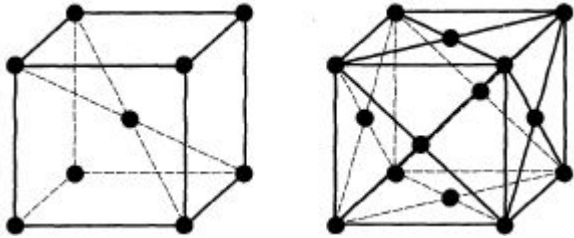
Российский рынок черной металлургии

Российский рынок черной металлургии

- ❑ Россия занимает 5 место в мире по производству стали
 - 4% мирового производства
- ❑ Россия является 6 крупнейшим экспортером стали
 - 6% мирового экспорта стали
- ❑ Россия занимает 6 место в мире по потреблению стали
- ❑ Себестоимость производства стали в России – одна из самых низких себестоимостей производства стали в мире

Структура стали

В твердом состоянии сталь — поликристаллическое тело с объемно-центрированной (ОЦК) и гранецентрированной (ГЦК) кубической кристаллической решеткой



Две основные фазы:

феррит (пластичен и малопрочен)

цементит (тверд и хрупок)



Перлит — смесь феррита и цементита

Сталь — квазиизотропное тело

Структура стали

Структура стали зависит

| Условия кристаллизации

| Химический состав

| Режим термообработки и прокатки

Термическая обработка стали

Нормализация — повторное нагревание проката и последующее остывание на воздухе (повышение однородности, прочности, пластичности)

Закалка — нагревание с последующим быстрым охлаждением

Отпуск — нагревание, выдержка, медленное остывание

Прокатка



Изменение структуры в
результате обжатия
Температура прокатки и
скорость охлаждения



С увеличением толщины проката
прочность снижается

Классификация сталей

По прочностным свойствам

Обычной прочности ($\sigma_y < 29 \text{ кН/см}^2$)

Повышенной прочности ($\sigma_y = 29 \dots 40 \text{ кН/см}^2$)

Высокой прочности ($\sigma_y > 40 \text{ кН/см}^2$)

Классификация сталей

По химическому составу

Углеродистые

Железо и *углерод* с
некоторой добавкой
кремния или *алюминия* и
марганца

Легированные

Железо, углерод +
легирующие добавки
 $< 5 \%$

Классификация сталей

Легирующие добавки

Углерод (У)

Повышение прочности, снижение пластичности и свариваемости ($< 0,22\%$)

Кремний (С)

Повышение прочности, снижение пластичности

Марганец (Г)

Повышение прочности, содержание $> 1,5\%$ хрупкость

Медь (Д)

Повышение прочности, коррозионной стойкости, $> 0,7\%$ - хрупкость

Хром (Х), никель (Н)

Повышение прочности, коррозионной стойкости без снижения пластичности

Классификация сталей

Легирующие добавки

Алюминий (Ю)

Нейтрализует фосфор, повышает ударную вязкость

Ванадий (Ф),
молибден (М)

Повышение прочности без снижения пластичности и свариваемости

Азот (А)

В химически связанном состоянии
алюминием, ванадием и др. улучшает
структуру и механические
характеристики
($< 0,009$)

Классификация сталей

Вредные примеси

Фосфор

Повышает хрупкость, способствует
хладноломкости

Связанный с алюминием повышает
коррозионную стойкость (0,03-0,05%)

Сера

Красноломкость, снижение
свариваемости (0,03 – 0,05%)

Кислород (газы)

Снижение общего качества, ухудшение
структуры

Классификация сталей

По виду поставки

Горячекатаные

Термообработанные

По степени раскисления

Кипящие

Полуспокойные

Спокойные

Нормирование сталей

ГОСТ 27772-2015

Листовой
(тонколистовой < 3 мм,
толстолистовой)

Широкополосный
универсальный

Фасонный (уголок,
швеллер и т.д.)

Гнутые профили

Наименование стали

C235; C245; C255;
C345; C345K; C355;
C355-1; C355K; C355П;
C390; C390-1; C440;
C550; C590

7 категорий по ударной
вязкости

Нормирование сталей

Расшифровка

C235; C245; C255; C345; C345K; C355; C355-1; C355K; C355П;
C390; C390-1; C440; C550; C590

С – сталь строительная

235 – 590 предел текучести проката,
 Н/мм^2

1 – вариант химического состава

К – сталь с повышенной
коррозионной стойкостью

П – сталь с повышенной
огнестойкостью

Нормирование сталей

Химический состав

Наименование стали	Массовая доля элементов, %														
	C, не более	Mn	Si	S, не более	P	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Nb	Al	Ti	Zr	C _{экв} , не более
C235	0,22	не более 0,60	не более 0,05	0,040	не более 0,040	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	—	—	—	—	—	—	—
C245	0,22	не более 1,00	0,06— 0,16	0,025	не более 0,040	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	—	—	—	не более 0,02	—	—	—
C255	0,17	не более 1,00	0,15— 0,30	0,025	не более 0,035	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	—	—	—	0,02— 0,05	не более 0,030	—	—
C345	0,15	1,30—1,70	не более 0,80	0,025	не более 0,030	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	—	—	—	0,015 —0,06	не более 0,035	—	0,45
C345K	0,12	не более 0,60	0,17— 0,37	0,025	0,020— 0,120	0,50— 0,80	0,30— 0,60	0,30— 0,50	—	—	—	0,08— 0,15	не более 0,035	—	0,45
C355	0,14	1,00—1,80	0,15— 0,80	0,025	не более 0,025	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	—	—	—	0,02— 0,06	не более 0,035	—	0,45
C355-1	0,15	0,60—0,90	0,40— 0,70	0,015	не более 0,017	0,60— 0,90	0,30— 0,60	0,20— 0,40	—	—	—	0,02— 0,06	не более 0,035	—	0,45
C355K	0,15	0,80—1,10	0,40— 0,60	0,015	не более 0,020	0,50— 0,70	0,50— 0,70	0,40— 0,70	—	—	—	0,02— 0,06	0,010— 0,035	не более 0,010	0,45
C355П	0,10	0,60—0,90	0,15— 0,35	0,015	не более 0,020	не более 0,80	не более 0,30	не более 0,30	0,08— 0,20	не более 0,09	0,02— 0,09	0,02— 0,06	0,010— 0,035	—	0,45
C390	0,12	1,30—1,70	0,15— 0,50	0,010	не более 0,017	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	—	не более 0,12	не более 0,09	0,02— 0,06	не более 0,035	—	0,46
C390-1	0,12	0,60—0,90	0,80— 1,10	0,010	не более 0,017	0,60— 0,90	0,50— 0,80	0,40— 0,60	—	—	—	0,02— 0,06	0,010— 0,035	—	0,46
C440	0,12	1,30—1,70	0,15— 0,50	0,010	не более 0,017	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	—	не более 0,09	не более 0,09	0,02— 0,06	0,010— 0,035	—	0,46
C550	0,10	1,30—1,95	0,15— 0,35	0,007	не более 0,015	не более 0,30	0,15— 0,35	не более 0,30	не более 0,35	не более 0,10	0,03— 0,10	0,02— 0,06	0,010— 0,035	—	0,47
C590	0,10	1,30—1,95	0,15— 0,35	0,004	не более 0,015	не более 0,30	0,10— 0,30	0,10— 0,30	не более 0,35	не более 0,10	0,03— 0,10	0,02— 0,06	0,010— 0,035	—	0,51

Нормирование сталей

ГОСТ 27772-2015

Наименование стали	Массовая доля элементов, %														
	C, не более	Mn	Si	S, не более	P	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Nb	Al	Ti	Zr	C _{экв} , не более
C440	0,12	1,30—1,70	0,15— 0,50	0,010	не более 0,017	не более 0,30	не более 0,30	не более 0,30	—	не более 0,09	не более 0,09	0,02— 0,06	0,010— 0,035	—	0,46
C550	0,10	1,30—1,95	0,15— 0,35	0,007	не более 0,015	не более 0,30	0,15— 0,35	не более 0,30	не более 0,35	не более 0,10	0,03— 0,10	0,02— 0,06	0,010— 0,035	—	0,47
C590	0,10	1,30—1,95	0,15— 0,35	0,004	не более 0,015	не более 0,30	0,10— 0,30	0,10— 0,30	не более 0,35	не более 0,10	0,03— 0,10	0,02— 0,06	0,010— 0,035	—	0,51

ГОСТ 27772-88

Наименование стали	Массовая доля элементов, %									
	Углерод, не более	Марганец	Кремний	Сера, не более	Фосфор	Хром	Никель	Медь	Ванадий	Другие элементы
C440	0,20	1,30—1,70	Не более 0,60	0,040	Не более 0,035	Не более 0,40	Не более 0,30	Не более 0,30	0,08—0,14	Азот 0,015—0,025
C590	0,15	1,30—1,70	0,40—0,70	0,035	Не более 0,035	Не более 0,30	Не более 0,30	Не более 0,30	0,07—0,15	Молибден 0,15—0,25
C590K	0,14	0,90—1,40	0,20—0,50	0,035	Не более 0,035	0,20—0,50	1,40—1,75	Не более 0,30	0,05—0,10	Молибден 0,15—0,25 Азот 0,02— 0,03 Алюминий 0,05—0,10

Нормирование сталей

C235

ВСт3кп2

C245

ВСт3пс6

C345

09Г2; 15ХСНД; 14Г2

C390

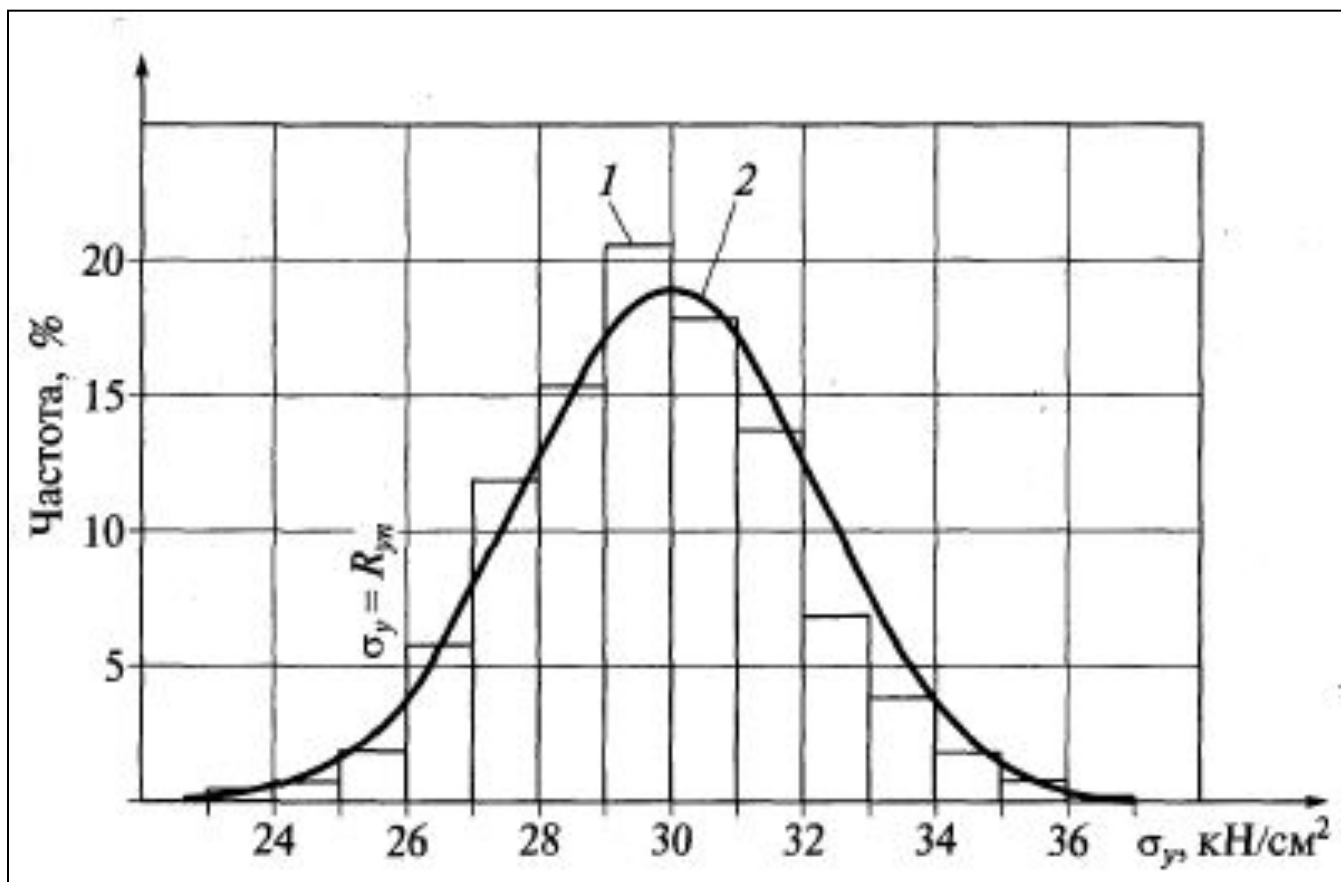
14Г2АФ; 10Г2С1 т.о.
10ХСНД

C590

12Г2СМФ

Нормирование сталей

Определение прочностных показателей



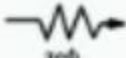
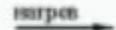
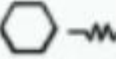
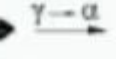
R_{yn}

R_{un}

Обеспеченность 0,95

Нормирование сталей

Современные способы производства проката

	Аустенитическое состояние	Структура после $\gamma \rightarrow \alpha$	Основа легирования	σ_t , Н/мм ²	KCV, Дж/см ²	S, %
 деф.	 $\gamma \rightarrow \alpha$	 d = 20 мкм	C, Mn, Si	350	KCV ⁰ = 34	0.035
 нагрев	 нормализация $\gamma \rightarrow \alpha$	 d = 10 мкм	C, Mn, Si, V	450	KCV ⁻²⁰ = 34	0.015
	 закалка $\gamma \rightarrow \alpha$	 отпуск 	C, Mn, Cr, Ni, V, Mo, B	650	KCV ⁻⁴⁰ = 50	0.010
	   $\gamma \rightarrow \alpha$		C, Mn, Nb, Ti, V	500	KCV ⁻⁴⁰ = 100	0.010
	   $\gamma \rightarrow \alpha$		C, Mn, Cr, Mo, Nb, Ni, Cu, B	900	KCV ⁻⁴⁰ = 200	0.050

Термомеханический способ с непрерывной разливкой (ковшовая металлургия)

Выбор стальных для СК

Основные факторы

Температура среды при монтаже и эксплуатации

Характер нагружения

Вид напряженного состояния и уровень напряжений

Способ соединения элементов (сварочные напряжения)

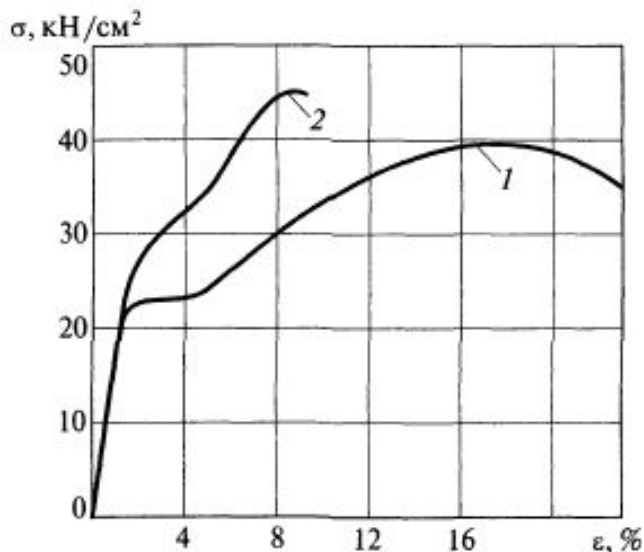
Толщина проката

Влияние различных факторов

Старение

Длительный процесс перестройки структуры и изменения прочности и пластичности

Отрицательное явление снижающее сопротивление динамическим воздействиям и хрупкому разрушению

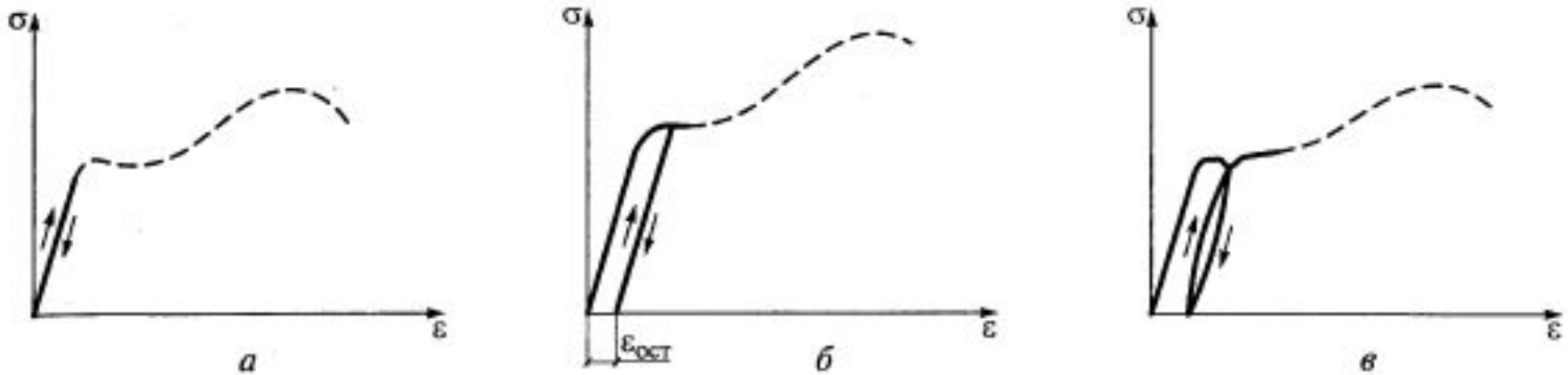


Наиболее подвержены старению стали, загрязненные и насыщенные газами (кипящая сталь)

Влияние различных факторов

Наклеп

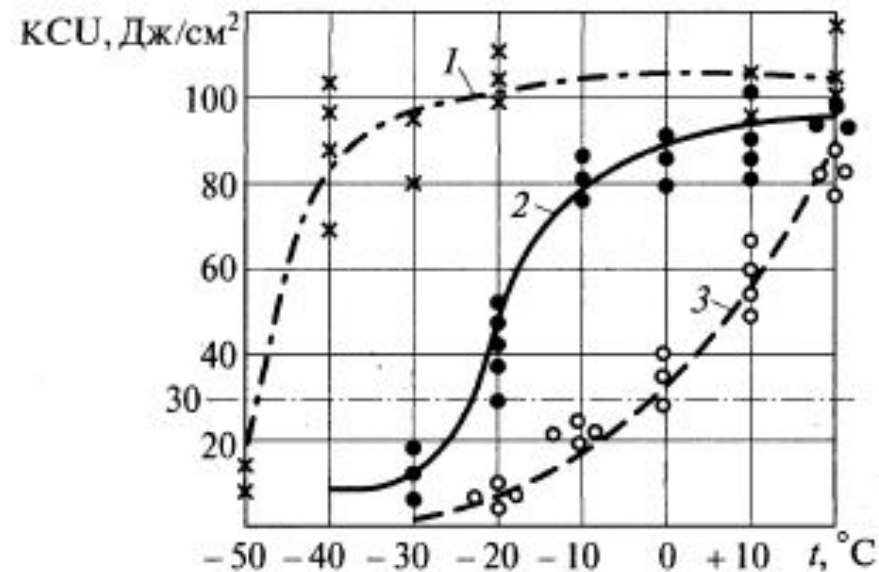
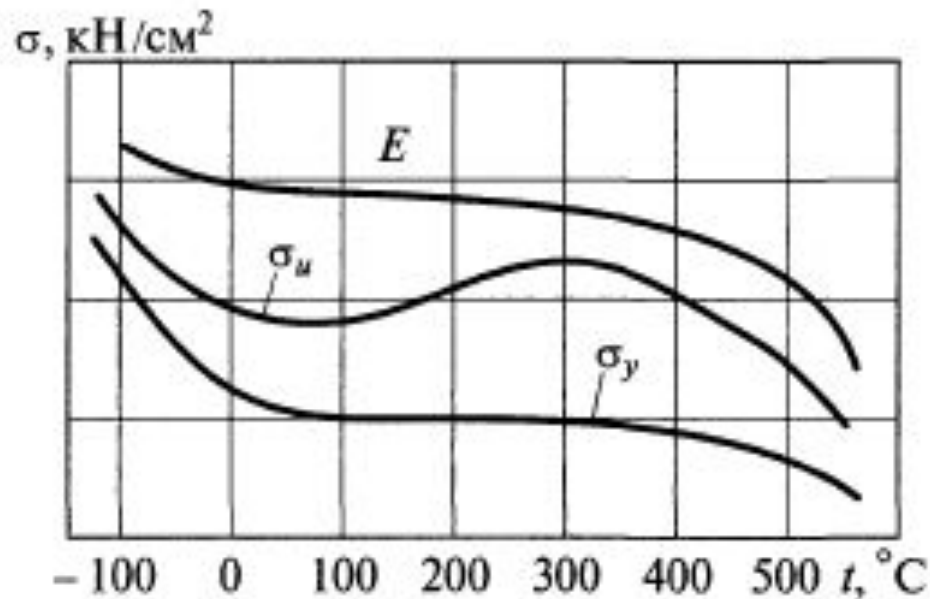
Повышение упругой работы материала в результате предшествующей пластической деформации



Возникает в процессе изготовления (холодная гибка, пробивка отверстий, резка и т.д.)

Влияние различных факторов

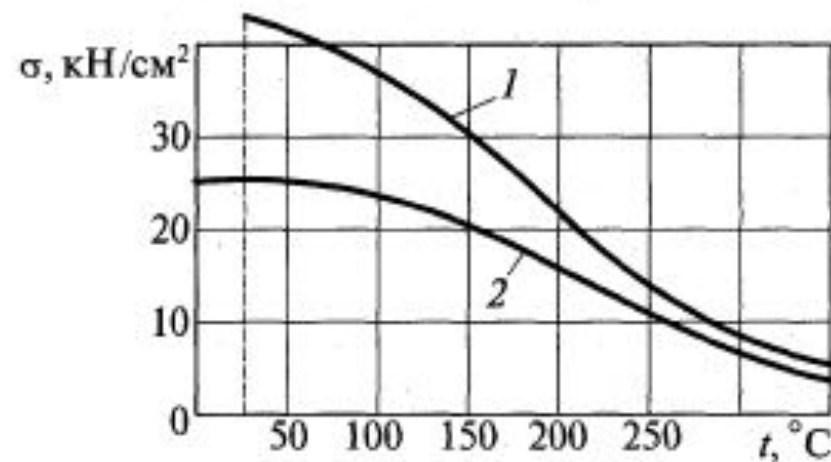
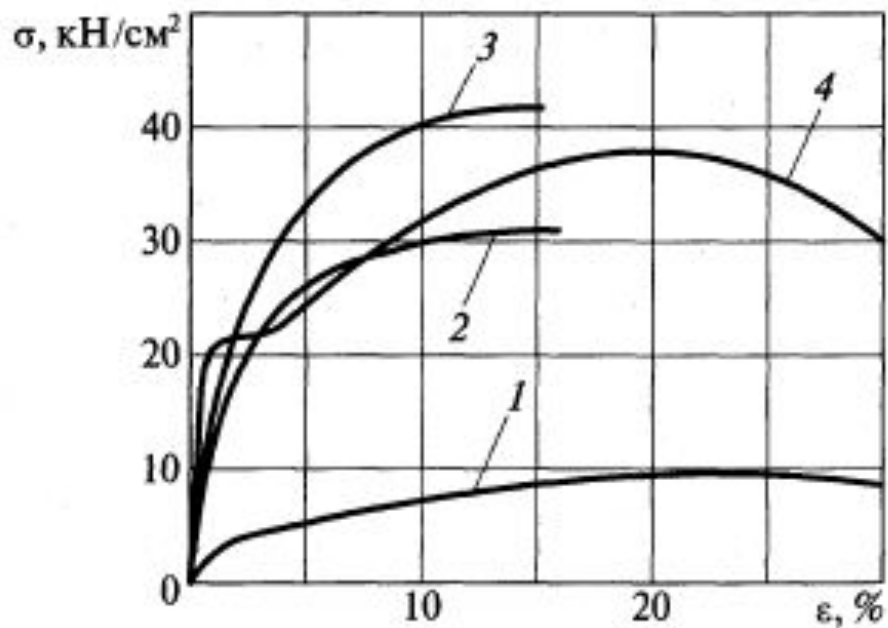
Влияние температуры



Алюминиевые сплавы

$\rho=2,7 \text{ Т/м}^3$; $E=71000 \text{ МПа}$; $G=27000 \text{ МПа}$

Сплавы Al-Mg-Si ; Al-Cu-Mg ; Al-Mg-Zn



Производится методом электролиза