

Конструкционные материалы,
применяемые при проектировании
объектов топливно-
энергетического комплекса

Особенности работы оборудования, которые необходимо учитывать при выборе материала

- Давление – от вакуума до 600 МПа
- Температура - широкий диапазон температур от отрицательных температур до более 1000 °С
- Агрессивное, токсичное воздействие сред
- Район установки – от прибрежных районов до условий Крайнего Севера
- Место установки – в помещении или на улице

Последовательность выбора конструкционных материалов сосудов давления

- 1. Рассматривается возможность применения углеродистых сталей по трем параметрам: - коррозионная стойкость, -давление; - температура.
- Рассматривается возможность применения футеровок, биметаллов, покрытий, обработок и т.п.
- Рассматривается возможность применения легированных сталей
- Рассматривается возможность применения цветных металлов и сплавов на их основе
- Рассматривается возможность применения оборудования композитных материалов

Категории качества сталей

	Категория качества			
	Обыкновенная	Качественная	Высоко качественная	Особо высококачественная (ЭШП)
P, %. не более	0,04	0,05	0,025	0,025
S, %. не более	0,05	0,035	0,025	0,015

Категория обыкновенного качества относится только к углеродистым сталям, все остальные категории качества могут относиться к любым по степени легирования сталям.

Основные определения

- Сортамент — совокупность прокатных профилей, отличающихся по форме и размерам.
- Профиль — форма поперечного сечения прокатного изделия.
- Арматура — это изделие из металла, применяемое для армирования железобетонных конструкций;

Профиль сортового проката

- По размеру профиля сортовой прокат делится на:
- крупный — круглая сталь диаметром 80-250 мм, квадратная сталь со стороной 70-200 мм, периодические арматурные профили № 70-80, угловая сталь с шириной полок 90-250 мм, швеллеры и двутавровые балки обычные и облегченные высотой 360—600 мм, специальные широкополочные двутавры и колонные профили высотой до 1000 мм, шестигранная сталь до № 100, рельсы железнодорожные длины 1 м с массой 43-75 кг, полосовая сталь шириной до 250 мм и др.;
- средний — круглые диаметра 32-75 мм, квадратные со стороной 32-65 мм и шестигранные до № 70, стальной периодический арматурный профиль № 32-60, двутавровые балки высотой до 300 мм, швеллеры высотой от 100—300 мм, рельсы узкой колеи Р18-Р24, штрипсы сечением до 8×145 мм, разнообразные фасонные профили отраслевого назначения и др.;
- мелкий — круглая сталь диаметром 10-30 мм, квадратная сталь со стороной 8-10 мм, периодический арматурный профиль № 6-28, угловая сталь с шириной полок 20-50 мм, швеллеры № 5-8, полосовая сталь шириной до 60 мм, шестигранная сталь до № 30 и разнообразные фасонные профили отраслевого назначения эквивалентных размеров.

Типы обработки поверхности проката

- По типу обработки поверхности прокат делится на:
- шлифованный;
- зеркальный;
- калиброванный;
- матовый.

Металлический прокат

- Металлические изделия, изготовленные с помощью прокатки нагретой до определённой температуры металлической заготовки.
- Виды Металлопроката
 - Плоский прокат: рулонная сталь, листовая сталь, жёсть, лента и прочее.
 - Сортовой прокат: арматура, катанка, круг, квадрат, полоса, шестигранник, шары помельные и другие виды проката, у которых касательная к любой точке периметра его поперечного сечения данное сечение не пересекает.
 - Фасонный прокат: угловой прокат, швеллер, балка двутавровая, рельсы, специальные профили для судостроения и другие виды проката, у которых касательная хотя бы к одной точке периметра поперечного сечения пересекает данное сечение
 - Трубный прокат и др.
- Металлопрокат может изготавливаться из чёрной стали, легированной, нержавеющей, меди, алюминия и других металлов.

Углеродистые стали обыкновенного качества

- ГОСТ 380-2005
- Пример:

ВСтЗсп5,

Где СтЗ – это порядковый номер стали
(Ст0 – Ст6),

В – группа стали (устаревшее),

сп – степень раскисления (кп, пс, сп),

5 – категория требований стали

Обозначение углеродистых сталей обыкновенного качества

- **Углеродистые стали обыкновенного качества** обозначаются буквами "Ст", за которыми следует цифра, указывающая порядковый номер марки стали, а не среднее содержание углерода в ней, хотя с повышением номера от Ст1 до Ст6 содержание углерода в стали увеличивается. Буквы Б и В указывают перед маркой. Для стали группы А группа А не ставилась перед маркой. Для обозначения степени раскисления после номера марки добавляют один из индексов – сп, пс, кп, а категория нормируемых свойств (кроме категории 1) указывается последующей цифрой. Полуспокойные стали могут иметь повышенное содержание марганца (до 1,2 %). В этом случае после номера стали ставится буква "Г". Так, ВСт3сп5 означает, что сталь Ст3, спокойная, группы В, категории 5 (нормируемыми для этой категории показателями являются: химический состав, временное сопротивление при растяжении, предел текучести, относительное удлинение, изгиб, ударная вязкость при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$); Ст2кп означает, что сталь Ст2, кипящая, группы А, категории 1 (нормируемые показатели: временное сопротивление при растяжении и относительное удлинение); БСт5Гпс2 означает, что сталь Ст5, полуспокойная, с повышенным содержанием марганца, группы Б, категории 2 (нормируется содержание С, Mn, Si, P, S, As, N, Cr, Ni, Cu).

Углеродистые стали обыкновенного качества по степени раскисления

- *Углеродистые стали обыкновенного качества, бывают спокойными (сп), полуспокойными (пс) и кипящими (кп). В их составе разное содержание кремния:*
 - спокойные содержат 0,12-0,3 % Si,
 - полуспокойные 0,05- 0,17 % Si,
 - кипящие < 0,07 % Si.

Область применения углеродистых сталей обыкновенного качества

Группа	Поставляется по:	Марка стали	Степень раскисления	Способ выплавки	Категории	Обозначение марки с содержанием Mn до 0,8% от 0,8 до 1,2%	Область применения
А	Механическим св-вам	Ст0-Ст6 (группа не ставится)	Для Ст0-Ст5 Кп, пс, сп	К, М, Б	1 2 3	Ст.3сп Ст3Гкп Ст3сп2 Ст5Гкп2 Ст3сп3	кп t от 20 до + 200 °С Рдо1,6МПа пс сп t от - 20 до + 425°С Р до 5МПа
Б	Химическому составу	БСт-БСт6 пс сп	Для Ст5-Ст6К	К, М, Б	1 2	БСт3сп Бст6Гпс2 (МСт3сп) (КСт3сп) БСт3сп2 (МСт3сп) (КСт3сп)	
В	механическим св-вам и химическому составу	ВСт0-ВСт6	Для Ст5-Ст6К	К, М	1 2 3 4 5 6	ВСт3сп (ВМСт3сп) ВСт3сп2 (ВКСт3сп) ВСт3Гпс4	

Маркировка продукции

Марка стали	Цвет маркировки
Ст0	Красный и зеленый
Ст1	Желтый и черный
Ст2	Желтый
Ст3	Красный
Ст3Гпс	Красный и коричневый
Ст3Гсп	Синий и коричневый
Ст4	Черный
Ст5	Зеленый
Ст5Гпс	Зеленый и коричневый
Ст6	Синий

Углеродистые стали

качественные

- **Качественными углеродистыми сталями** являются стали марок 08, 10, 15, 20 ..., 75, 80, 85. К этому классу относятся также стали с повышенным содержанием марганца (0,7 – 1,0 %) марок 15Г, 20Г, 25Г ..., 65Г, имеющих повышенную прокаливаемость. Низкоуглеродистые стали марок 08, 08кп, 08пс относятся к мягким сталям, применяемым чаще всего в отожженном состоянии для изготовления деталей методом холодной штамповки - глубокой вытяжки. Стали марок 10, 15, 20, 25 обычно используют как цементуемые, а высокоуглеродистые стали 60, 65, 70, 75, 80 и 85 в основном применяют для изготовления пружин, рессор, высокопрочной проволоки и других изделий с высокой упругостью и износостойкостью. Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45, 50 и аналогичные стали с повышенным содержанием марганца 30Г, 40Г, 50Г применяют для изготовления самых разнообразных деталей машин. При этом в зависимости от условий работы деталей применяют различные виды термической обработки: нормализацию, улучшение, закалку с низким отпусканием, закалку ТВЧ и др. Механические свойства каждой стали можно изменять в широком диапазоне в зависимости от режима термической обработки и для каждой конкретной детали, условий ее эксплуатации должны быть выбраны оптимальный комплекс механических свойств и соответствующая обработка.

Обозначение углеродистых качественных сталей

- ***Углеродистые конструкционные качественные стали*** обозначают двузначным числом, указывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента (например, 05, 10, 15, , 80, 85) для обозначения котельных марок в конце ставится буква К (например 20К).

Легированные стали

- **Легированные стали** – это сплавы на основе железа, в химический состав которых специально введены легирующие элементы, обеспечивающие при определенных способах производства и обработки требуемую структуру и свойства. В легированных сталях содержание отдельных элементов больше, чем этих же элементов в виде примесей.
- Такие легирующие элементы, как V, Nb, Ti, Zr, B, могут оказывать существенное влияние на структуру и свойства стали при их содержании в стали в сотых долях процента. Иногда такие стали называют микролегированными.

Маркировка легированных сталей

- ***Легированные стали маркируются*** комплексом цифр и букв, причем первые две цифры указывают на содержание углерода в сотых долях процента (отсутствие цифр означает, что среднее содержание углерода составляет около 0,01%), затем последовательно указываются буквы, означающие наличие в стали того или иного легирующего элемента, за каждой из букв одной или двумя цифрами указывается примерное содержание данного элемента в процентах (отсутствие цифр означает, что содержание данного элемента составляет до 1,5%).

Обозначения в марках сталей

- **Обозначения** в марках стали: Г – марганец, С – кремний, Х – хром,
- Н – никель, М – молибден, В – вольфрам, Ф – ванадий, Т – титан, Д – медь, Ю – алюминий, Б – ниобий, Р – бор, А – азот (в конце обозначения не ставятся). Буква "А" в конце марки указывает, что сталь относится к категории высококачественной (30ХГСА), если та же буква в середине марки – сталь легирована азотом (16Г2АФ), в начале марки буква "А" указывает на то, что сталь повышенной обрабатываемости (автоматная) – А35Г2. Индекс "АС" в начале марки указывает, что сталь повышенной обрабатываемости (автоматная) со свинцом (АС35Г2), а Ш (через дефис) – особо высококачественную.

Содержание легирующих элементов

- Цифры после буквы в обозначении марки стали показывают примерное количество того или иного элемента, округленное до целого числа. При среднем содержании легирующего элемента до 1,5 % цифру за буквенным индексом не приводят. Содержание углерода указывается в начале марки в сотых (конструкционные стали) или десятых (инструментальные стали) долях процента. Например, конструкционная сталь, содержащая 0,42 – 0,5 % C; 0,5 – 0,8 % Mn; 0,8 – 1,0 % Cr; 1,3 – 1,8 % Ni; 0,2 – 0,3 % Mo и 0,1 – 0,18 % V, обозначается маркой 45ХН2МФ.

Классификация легированной стали по содержанию легирующих элементов

- В зависимости от количества легирующего элемента легированная сталь, подразделяется на:

- 1. низколегированные** с содержанием легирующего элемента до 2,5%,
- 2. среднелегированные** (легированные) с содержанием легирующего элемента от 2,5% до 10%,
- 3. высоколегированные** с содержанием легирующего элемента > 10%.

Классификация легированной стали по назначению

Название стали	Основной легирующий элемент	Марка стали	Область применения
Сталь повышенной прочности	Mn (от 1 до 2 %)	16ГС; 09Г2С	Давление не ограничено $t < 475^{\circ}\text{C}$
Теплоустойчивая сталь Механические св-ва изменяются незначительно с повышением температуры, т.е. повышается сопротивление ползучести и пределом длительной прочности	Mo (В, Ф) При $t = 450 \dots 600^{\circ}\text{C}$ Графитизация, поэтому добавляют хром	12ХМ; 15ХМ 15Х5ВФ	Для изготовления деталей, работающих в нагруженном состоянии при $t = 200 \dots 600^{\circ}\text{C}$ в течение длительного времени
Коррозионностойкие (нержавеющие стали) обладают стойкостью против различных видов коррозии и хорошо сопротивляются воздействию кислотных сред	Cr (снижает прочность) для повышения прочности добавляют Ni, Mn Cr > 12 %	12Х18Н10Т 8Х18Н10Т 8Х17Т 15Х25Т	при повышенных давлении и температуре
Жаростойкие (окалиностойкие) стали обладают стойкостью против хим. разрушения поверхности в газовых средах при высоких температурах	Cr (образует защитные пленки окислов)	2Х13, 15Х25 8Х13, ХН78Т сплавы на ник. осн ХН60Ю	$> 550^{\circ}\text{C}$ небольшие нагрузки
Жаропрочные, способные работать в нагруженном состоянии в течение длительного времени и обладающие при этом свойствами теплоустойчивости и окалиностойчивости	Cr (Mo, Ni)	12Х8ВФ 15Х5М 14Х17Н2	до 1100°C В нагруженном состоянии

Марки сталей, рекомендованных для сварных аппаратов

Для изготовления стальных аппаратов применяются следующие стали в виде полуфабрикатов:

- **сталь углеродистая обыкновенного качества** по ГОСТ 380-94, поставляемая в виде листового, сортового и фасонного проката, труб, поковок и т. д. , по степени раскисления - спокойная (сп), полуспокойная (пс), реже - кипящая (кп), по требованиям от 2-й до 6-й категорий;
- **сталь качественная углеродистая конструкционная**, поставляемая в виде листового проката по ГОСТ 5520-79 и в виде сортового проката и труб по ГОСТ 1050-88;
- **сталь низколегированная (с содержанием легирующих элементов до 2,5%)**, поставляемая в виде листового проката по ГОСТ 5520-79 и ГОСТ 19282-89, сортового и фасонного проката, труб и поковок по ГОСТ 19281—89;
- **сталь легированная конструкционная (с содержанием легирующих элементов до 10%)**, поставляемая в виде сортового проката, труб и поковок по ГОСТ 4543-71;
- **сталь теплоустойчивая** по ГОСТ 20072-74, поставляемая в виде листового и сортового проката и труб;
- **стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные** по ГОСТ 5632-72, поставляемые в виде листового проката, труб и поковок;
- **стали и сплавы с особыми свойствами**, поставляемые в виде листового и сортового проката и труб по специальным ТУ;
- **стали двухслойные**, поставляемые в виде листового проката по ГОСТ 10885 – 75 и специальным ТУ с основным слоем из углеродистых, низколегированных и легированных сталей и плакирующим слоем из коррозионностойких материалов;
- **отливки из конструкционной, нелегированной и легированной сталей**, поставляемые по ГОСТ 977-88.

Марки сталей, рекомендуемые для сварных аппаратов, работающих без давлений с инертными средами (ОСТ 26-291 — 94)

Средняя температура воздуха наи более холодной пятидневки, °С	Марка стали и обозначение стандарта
Не ниже – 30	СтЗпсЗ, СтЗспЗ, СтЗГпсЗ по ГОСТ 14637-89
	15К-3, 16К-3, 18К-3, 20К-3 по ГОСТ 5520-79
	16ГС-3, 09Г2С-3, 10Г2С1-3 по ГОСТ 5520-79
От – 31 до – 40	СтЗпс4, СтЗсп4, СтЗГпс4 по ГОСТ 14637-89
	15К-5, 16К-5, 18К-5, 20К-5 по ГОСТ 5520-79
	16ГС-6, 09Г2С-6, 10Г2С1-6 по ГОСТ 5520-79
	09Г2С-8, 10Г2С1-8 по ГОСТ 5520-79
<p>Примечания: 1. Для материалов, не приведенных в табл. 2.1, нижний температурный предел применения должен определяться исходя из требований табл. 1.5. 2. Материалы для сосудов и аппаратов, устанавливаемых в районах со средней температурой воздуха наиболее холодной пятидневки ниже – 40 °С, выбираются специализированной научно-исследовательской организацией. 3. Если при проверке качества стали на соответствие требованию табл. 2.1 и 2.2 рекомендуют различные категории сталей по ГОСТ 14637-89 или ГОСТ 5520-79, то необходимо применять сталь более высокой категории. 4. Пределы применения двухслойных сталей определяются по основному слою. 5. Допускается испытание сталей на ударный изгиб при средней температуре воздуха наиболее холодной пятидневки для заданного района установки сосуда или аппарата. 6. Пуск, остановку и испытание сосудов и аппаратов на герметичность в зимнее время следует проводить в соответствии с требованиями ОС Т 26-291-94.</p>	

Листовая сталь

- Из листовой стали изготавливаются корпуса (обечайки), днища, фланцы, различные тарелки, трубные решетки и многие другие детали аппаратов.

Листовой прокат – основной материал для большинства аппаратов.

Шкала коррозионной СТОЙКОСТИ

Группа стабильности	Скорость коррозии металла, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	0,001	1
Весьма стойкие	0,001 до 0,005	2
	0,005 » 0,01	3
Стойкие	0,01 » 0,05	4
	0,05 » 0,1	5
Пониженностойкие	0,1 » 0,5	6
	0,5 » 1,0	7
Малостойкие	1,0 » 5,0	8
	5,0 » 10,0	9
Нестойкие	10,0	10

Чугун

- **Чугун** – это железоуглеродные сплавы на основе железа, содержащие углерода более 2,14 % (до 4%), примесей Mn, Si, S до 0,8 %, P – до 2,5 %.
- Использование чугунного литья рекомендовано для работы при следующих параметрах:
 - серый чугун при температуре от – 15 до + 250 °С и давлении до 1МПа;
 - щелочестойкий чугун при температуре от – 15 до + 300 °С и давлении до 1МПа;
 - ферросилид при температуре от 0 до + 700 °С и давлении до 2,5 МПа.

Достоинства и недостатки чугунов

- Достоинства чугунов:
 - хорошие литейные свойства, жаростойкость, коррозионная стойкость и антифрикционные качества
- Недостатки чугунов:
 - высокая хрупкость, сложность обработки резанием, высокие коэффициенты линейного расширения, сильная зависимость прочностных характеристик от температуры, трудность, а в ряде случаев и невозможность сварки этих материалов.

Классификации чугунов

- Чугун может быть *классифицирован* по многим признакам:
- – **по степени графитизации** (рисунок 2.1) чугуны подразделяются на:
- а) **белый** (не графитизированный), в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита (Fe_3C) или в карбидах других элементов (Cr, Mo, V, Ti и др.);
- б) **отбеленный или половинчатый** (частично графитизированный);
- в) **графитизированный** (серый (СЧ), высокопрочный (ВЧ) и ковкий КЧ), в котором большая часть или даже весь углерод находится в свободном состоянии.

- – **по эксплуатационным характеристикам** чугуны классифицируют :
- а) износостойкие;
- б) антифрикционные;
- в) коррозионностойкие;
- г) жаропрочные;
- д) жаростойкие;
- е) немагнитные.
- – **по прочности** чугуны классифицируют на:
- а) обыкновенной прочности ();
- б) повышенной прочности ();
- в) высокой прочности ().
- – **по твердости** чугуны классифицируют на:
- а) мягкий (НВ <149);
- б) средний (НВ 149 – 197);
- в) повышенной твердости (НВ 197 – 269);
- г) твердый (НВ > 269).

- – *по пластичности* чугуны классифицируют на:
- а) непластичный ();
- б) малопластичный ();
- в) пластичный ();
- г) повышенной пластичности ().
- – *по структуре металлической матрицы* чугуны делятся на:
- а) ферритные;
- б) перлитные;
- в) аустенитные;
- г) белые;
- д) со смешанной структурой
- – перлитно-ферритные;
- – половинчатые (перлит + цементит);
- –аустенитно-мартенситные и др.

Классификация графитизированного чугуна по форме графита

- Графитизированный чугун подразделяется *по форме графита на чугун* (рисунок 2.2):
 - а) с пластинчатым графитом (СЧ);
 - б) с шаровидным или глобулярным графитом (ВЧ);
 - в) хлопьевидным или гнездообразным графитом (КЧ).

Влияние металлической основы и формы включения графита на свойства чугунов

Металлическая основа	Форма графита		
	Пластинчатая (СЧ)	Хлопьевидная (гнездообразная) (КЧ)	Шаровидная (глобулярная) (ВЧ)
Перлит			
Перлит + феррит			
Феррит			

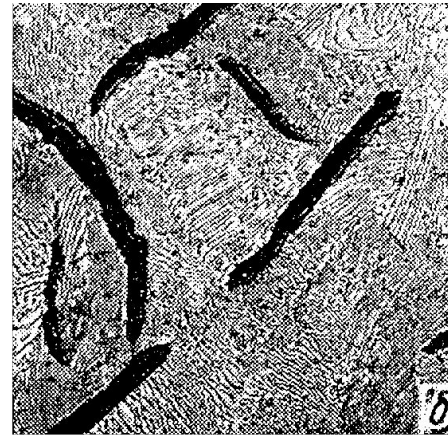
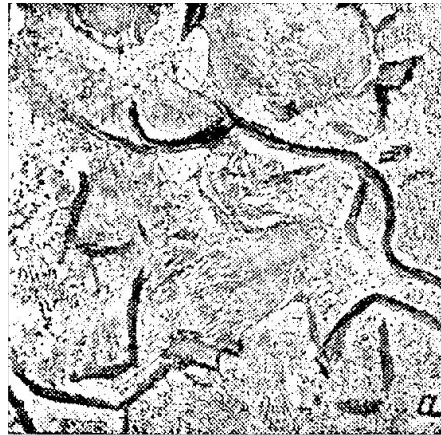
Прочность, пластичность

Твердость, износоустойчивость

Обрабатываемость режущим инструментом

Серый чугун

- Структура серых чугунов с ферритно-перлитной (а) и перлитной (б) металлической основой × 200



- В серых чугунах (рисунок 2.3) большая часть или даже весь углерод находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита, что определяет серый цвет излома отливок. Эти графитовые включения уменьшают рабочее сечение основной металлической массы и играют роль надрезов, что создаёт концентрацию напряжений и уменьшает по сравнению со сталями среднюю прочность чугуна. Но благодаря смазывающего действия графита он обладает удовлетворительной износостойкостью и повышенным внутренним трением.
- Серый чугун обозначается начальными буквами СЧ и значениями временного сопротивления при растяжении $\sigma_{\text{в}}$ (кгс/мм²).
- Например, СЧ15 означает – серый чугун с временным сопротивлением (пределом прочности) при растяжении $\sigma_{\text{в}} = 15$ кгс/мм² (150 МПа). Ранее серый чугун обозначался следующим образом: СЧ 12 – 28; СЧ 15 – 32; СЧ 40 – 60, где цифры 12, 15, 40 – это предел прочности (временное сопротивление) кгс/мм² при изгибе.

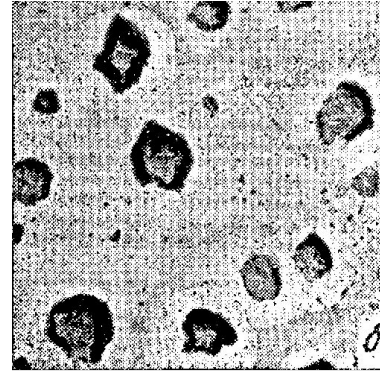
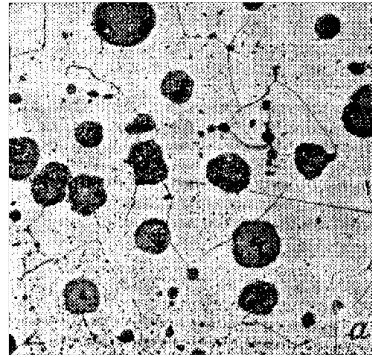
- Серые чугуны используют преимущественно для деталей относительно сложной конфигурации, требующих литой заготовки. Из него изготавливают: стойки опор, крышки, колпачки и тарелки ректификационных колонн, гарнитуру печей (шиберы, заслонки, задвижки, дверцы), элементы погружных конденсаторов, корпуса, втулки и поршни паровых насосов, корпуса трубопроводной арматуры, литьё для компрессоров и насосов и т.д.
- Из серого чугуна допускается изготавливать детали аппаратов, работающих под давлением до 1 МПа при температуре от -15°C до $+250^{\circ}\text{C}$. Серый чугун не применяют для изготовления деталей, подверженных значительным динамическим нагрузкам из-за низкой ударной вязкости.

Основные свойства серого литейного чугуна и его применение

Марка	$\sigma_{и^p}$ МПа	Твердость по Бринеллю,НВ	Примечание
Чугун с пластинчатым графитом			
СЧ10	75	2 139-274	Малоответственные отливки с толщиной стенок до 15 мм (корпуса, крышки, кожухи и др.)
СЧ15	14	3 160-224	Малоответственные отливки с толщиной стенок 10—30 мм (трубы, корпуса клапанов, вентили при давлении до 20 МПа и др.)
СЧ18	54	3 167-224	Ответственные отливки с толщиной стенок 10—20 мм (шкивы, зубчатые колеса, станины, суппорты и др.)
СЧ20	97	3 167-236	Ответственные отливки с толщиной стенок до 30 мм (блоки цилиндров, поршни, тормозные барабаны, каретки и др.)
СЧ25	50	4 176-245	Ответственные отливки с толщиной стенок до 40 мм (кокильные формы, поршневые кольца и др.)
СЧ30	90	4 177-250	Ответственные отливки с толщиной стенок до 60 мм (поршни, гильзы дизелей, рамы, штампы и др.)
СЧ35	40	5 193-264	Ответственные высоконагруженные отливки с толщиной стенок до 100 мм (малые коленчатые валы, детали паровых двигателей и др.)

Высокопрочный чугун

- Высокопрочный чугун на ферритной (а) и ферритно-перлитной (б) основе × 200

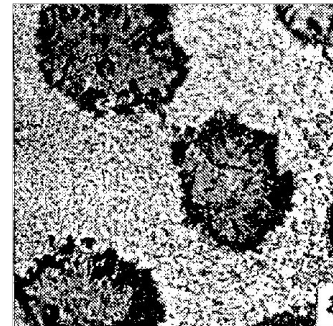
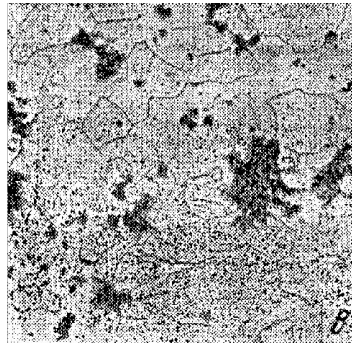


- Высокопрочные (модифицированные) чугуны (с шаровидным графитом). Их получают обработкой расплавленного чугуна магнием или другими модифицирующими присадками. Присадки в значительной степени улучшают структуру чугуна, размельчая и распределяя графит равномерно по объёму отливки, придавая графиту шаровидную форму и тем самым сильно уменьшая внутреннюю концентрацию напряжений и повышая механические свойства чугуна. Это позволяет применить его вместо сталей для деталей, работающих в условиях значительных переменных напряжений (коленчатые валы). Стоимость изготовления литых валов во много раз меньше, чем штампованных.

- В нефтепереработке из высокопрочного чугуна изготавливают узлы и детали с повышенными механическими свойствами: колеса центробежных насосов, цилиндры поршневых насосов, литые для компрессоров, корпуса насосов и т.д.
- ВЧ имеет хорошие литейные свойства – высокую жидкотекучесть, незначительную склонность к образованию горячих трещин, вместе с тем его склонность к образованию усадочных раковин и литейных напряжений выше, чем у серого чугуна. Кроме того, ВЧ имеет удовлетворительную коррозионную стойкость (не ниже, чем СЧ), жаростойкость, хладостойкость, антифрикционные свойства, обрабатываемость резанием и может подвергаться сварке и автогенной резке
- Высокопрочный чугун обозначают: ВЧ 35, ВЧ 40...ВЧ 100, где 35, 40, 100 – (временное сопротивление) предел прочности при растяжении σ_B (кгс/мм²). Ранее высокопрочный чугун обозначался ВЧ 42–12, где 42 – предел прочности при растяжении, 12 – относительное удлинение, δ в %.

КОВКИЙ ЧУГУН

- Ковкий чугун на ферритной (в) и перлитной (г) основе × 200



Механические свойства ковкого чугуна и его применение

Марка	Твердость по Бринеллю, ИВ	Примечание
КЧ 30 – 6	160	В основном для небольших отливок, работающих в условиях динамических нагрузок (детали в автомобильной, тракторной и сельскохозяйственной промышленности). Ограниченное применение обусловлено сложностью изготовления отливок, длительностью термической обработки, ограниченными допускаемыми размерами сечений (не более 30 – 40 мм)
КЧ33 – 8	160	
КЧ35 – 10	160	
КЧ37 – 12	160	
КЧ45 – 7	203	
КЧ50 – 5	226	
КЧ55 – 4	236	
КЧ60 – 3	264	
КЧ65 – 3	264	
КЧ70 – 2	280	
КЧ80 – 1.5	314	

Специальные чугуны

- Широкое применение находят чугуны, обладающие повышенной прочностью (высокопрочные чугуны), жаро- и коррозионно-стойкие, антифрикционные, ковкие чугуны и некоторые специальные марки чугуна.
- Жаростойкие, жаропрочные, коррозионно-стойкие, высококремнистые и высокохромистые – это чугуны, легированные хромом, медью, никелем, молибденом и другими элементами.

- **Жаростойкие чугуны** предназначены для работы при высоких температурах. Обладают достаточной жаростойкостью, т.е. способностью оказывать сопротивление окислению (не более $0,5 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) и росту отливки (не более $0,2\%$) при температуре эксплуатации.
- Жаростойкие чугуны обозначают ЖЧХ, ЖЧХ16, ЖЧС5, ЖЧО30.
- ЖЧХ отличается повышенной коррозионной стойкостью в газовой, воздушной и щелочной средах, в условиях трения и износа. Жаростоек в воздушной среде до $500 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Жаростойкие чугуны, содержащие до 32% Cr и $1 - 2\%$ Si применяются в котельно-топочном оборудовании. Чугуны марки ЖЧХ 0,8, ЖЧХ 1,5, ЖЧХ 5,5 (ГОСТ 7769—82) используют при изготовлении узлов и деталей, работающих при температурах соответственно $+550$, 600 и $800 \text{ }^\circ\text{C}$, а чугуны ЖЧХ 16 и ЖЧХ 30 обладают хорошей стойкостью до температур $1000-1200 \text{ }^\circ\text{C}$ при действии дымовых газов, содержащих сернистые соединения.
- ЖЧХ16 содержит $15-32 \%$ Cr и $1-2 \%$ Si жаростоек в воздушной среде до $900 \text{ }^\circ\text{C}$, износостоек при нормальной и повышенной температурах, устойчив против воздействия неорганических кислот высокой концентрации. Области применения: арматура машин и аппаратов химических производств, печная арматура, детали печей.

- **Жаропрочные чугуны** легируют хромом и никелем, они могут иметь пластинчатую или шаровидную формы графита; металлическая основа чаще бывает аустенитной. Чугуны ЧН19ХЗШ, ЧН11Г7Х2Ш применяют в нефтяной и химической промышленности, в газотурбиностроении для изготовления деталей компрессоров по сжижению газов, выпускных патрубков дизелей.
- **Коррозионно-стойкие чугуны** легируют хромом, никелем, медью, молибденом и кремнием. Эти чугуны стойки в щелочах, растворах соды, морской воде. Чугуны СЧЩ-1 и СЧЩ-2 применяют при изготовлении котлов для плавки каустика. Чугуны ЧНХТ, ЧН1ХМД, ЧН1МШ применяют в двигателестроении для отливки поршневых колец, направляющих втулок головок цилиндров, выпускных патрубков, поршней и гильз.

- **Высококремнистые чугуны (ферросилиды) С 15, С 17** (ГОСТ 2233—85) применяют для изготовления корпусов, деталей и узлов простой конфигурации для работы с сильноагрессивными средами (растворы солей, азотная и серная кислоты), при давлении до 0,25 МПа и температуре от 0 до + 700°С: поршневых насосов (цилиндры, поршни, клапаны, седла), для оборудования по производству концентрированных серной и азотной кислот (лопатки мешалок, фитинги, втулки, реакционные аппараты, трубопроводы).
- При разработке конструкции следует учитывать, что кремнистые чугуны очень хрупки, чувствительны к колебаниям температуры и трудно обрабатываются резанием. Поэтому изделия из них изготавливают отливкой, предусматривая плавные переходы. Ферросилиды широко применяют при изготовлении арматуры.
- Следует иметь в виду, что ферросилиды легко корродируют под воздействием соляной кислоты, крепких щелочей и фтористых соединений.
- **Высокохромистые сплавы** обладают коррозионной стойкостью в азотной, серной, уксусной, фосфорной кислотах, в растворах солей, щелочей и морской воде. Из этих чугунов изготавливают детали насосов, реторты, конденсаторы, вентили, трубы, мешалки для химических производств.

Механические свойства легированного чугуна для отливок со специальными свойствами

Марка чугуна	$\sigma_{в}$, МПа	σ , %	$\sigma_{и'}$, МПа	Твердость по Бринеллю, НВ	Свойства
4Х1	170	-	350	203-280	Жаростойкий
4Х2	150	-	310	203-280	»
4Х3	150	-	310	223-356	», износостойкий
ЧХЗТ	200		400	440-580	Износостойкий
ЧХ9Н5	350	-	700	490-607	»
4Х16	350	-	700	390-440	», жаростойкий
ЧХ16М2	170	-	490	490-607	Тоже
4Х22	290	-	540	333-607	»
ЧХ22С	290	-	540	215-333	Коррозионно- и жаростойкие
4Х28	370	-	560	215-264	То же
ЧХ28П	200	-	400	245-390	Стойкий в цинковом расплаве
ЧХ28Д2	390	-	690	390-635	Износо- и коррозионностойкий
4Х32	390	-	690	245-333	Жаро-и износостойкий
ЧС5	150	-	290	140-294	Жаростойкий
ЧС5Ш	290	-	-	223-294	»

ЧС13	100	-	210	294-390	Коррозионностойкие в жидкой среде
ЧС15	60	-	170	294-390	То же
ЧС17	40	-	140	390-450	»
ЧС15М4	60	-	140	390-450	»
ЧС17М3	60	-	100	390-450	Жаростойкий
ЧЮХШ	390	-	590	183-356	Жаро-и износостойкие
ЧЮ6С5	120	-	240	236-294	То же
ЧЮ7Х2	120	-	170	254-294	Жаро- и износостойкие при высокой температуре
ЧЮ22Ш	290	-	490	235-356	
ЧЮ30	200	-	350	356-536	
ЧГ6С3Ш	496	-	680	215-254	Износостойкий
ЧГ7Х4	150	-	330	490-586	»
ЧГ8Д3	150	-	330	176-285	Маломагнитный
ЧНХГ	280	-	430	196-280	Коррозионностойкие в газовых средах двигателей внутреннего сгорания
ЧНХМД	290	-	690	196-280	
ЧНМШ	490	2	-	183-280	
ЧН2Х	290	-	490	215-280	Износостойкий
4Х4Х2	200	-	400	460-645	»
ЧН11Г7Ш	390	4	-	120-250	Жаропрочный
ЧН15Д7	150	-	350	120-250	Маломагнитный
ЧН15Д3Ш	340	4	-	120-250	»
4Н19Х3Ш	340	4	-	120-250	Маломагнитный
4Н20Д2Ш	500	25	-	120-220	Жаропрочный, хладостойкий, маломагнитный

Цветные металлы и сплавы на их основе

- К цветным металлам относятся все металлы за исключением железа, марганца, хрома и сплавов на их основе. Наиболее широко применяют сплавы на основе Cu, Al, Mg, Ti, Zn, Ni, Pb, Sn.
- Условное обозначение основных элементов, входящих в состав металлов и сплавов приведено в таблице 2.1.

Условное обозначение основных элементов, входящих в состав металлов и сплавов

Элемент	Обозначение	Обозначение в марках металлов и сплавов		Элемент	Обозначение	Обозначение в марках металлов и сплавов	
		черных	цветных			черных	цветных
Алюминий	Al	Ю	А	Ниобий	Nb	Б	-
Азот	N	А	-	Олово	Sn	-	О
Барий	Ba	-	-	Свинец	Pb	-	С
Бериллий	Be	-	Б	Селен	Se	Е	-
Бор	B	Р	-	Сера	S	-	-
Ванадий	V	Ф	-	Серебро	Ag	-	Ср
Вольфрам	W	В	-	Сурьма	Sb	-	С
Железо	Fe	-	Ж	Теллур	Te	-	-
Кадмий	Cd	-	-	Титан	Ti	Т	Т
Кремний	Si	С	К	Углерод	C	У	-
Магний	Mg	-	Мг	Фосфор	P	П	Ф
Марганец	Mn	Г	Мц	Хром	Cr	Х	-
Медь	Cu	Д	М	Церий	Ce	-	-
Молибден	Mo	М	-	Цинк	Zn	-	Ц
Мышьяк	As	-	Мш	Цирконий	Zr	Ц	-
Никель	Ni	Н	Н				

Алюминий и сплавы на его основе

- Алюминиевые сплавы в соответствии с основными компонентами получили следующие названия: силумины (алюминий – кремний), дюралюмины (алюминий – медь – марганец), магналий (алюминий – марганец). В зависимости от назначения они подразделяются на **литейные** и **деформируемые** (до 80% от всех сплавов).

Применение алюминия и его сплавов

- Применение алюминия и его сплавов всегда рационально там, где они могут заменить нержавеющие стали, латунь и другие, более дорогие цветные металлы.
- Для изготовления нефтехимической аппаратуры чаще всего применяют технически чистый алюминий марок АД0 и АД1 (ГОСТ 4784-74), с содержанием не менее 99,3% алюминия. Химический состав и механические свойства технически чистого алюминия приведены в таблице 2.2.

- Алюминий широко применяется при изготовлении оборудования установок для получения жирных кислот. Из алюминия высокой чистоты (99,9%) изготавливают колонны, предназначенные для окисления парафина, корпуса и трубки (длиной до 7,5 м), конденсаторы для охлаждения, резервуары емкостью до 50 м³, предназначенные для отделения шлама. Из алюминия марки АВ2 монтируют резервуары для оксилата, баки емкостью до 270 м³ для хранения высокомолекулярных жирных кислот (от С₇ и выше).

- Из алюминиево-магниевых сплавов изготавливаются крыши и верхние пояса резервуаров для хранения сырых агрессивных сернистых нефтей. Так, резервуар с алюминиевой крышей и верхним поясом емкостью 1000 м³ состоит из шести нижних поясов, выполненных из стали марки Ст3 методом рулонирования, и седьмого – верхнего пояса, выполненного из алюминиевого сплава марки АМг, в виде десяти отдельных монтажных элементов.
- Алюминиевая крыша резервуара монтируется из одного центрального и двенадцати плоских щитов. Щиты состоят из каркаса, выполненного из сварного двутавра, прессованных швеллеров и уголков. Листы кровли привариваются к каркасу щита. Заводские и монтажные сварные соединения конструкции резервуара из алюминиевых сплавов выполняются аргонодуговой сваркой. Стальной и алюминиевый пояса соединяются на бензостойкой полихлорвиниловой прокладке оцинкованными болтами.
- Для хранения ряда химических продуктов применяются резервуары, целиком изготовленные из алюминиевых сплавов. Так, для хранения жирных кислот изготавливаются резервуары емкостью 700 м³ из алюминиево-магниевых сплавов марки АМг5В.

Медь и сплавы на её основе

- **Медь** – пластичный металл розоватого – красного цвета; плотность при 20⁰С – 8,94 г/см³, температура плавления 1083⁰С, отжиг 500 – 700 ⁰С. Механические свойства сильно меняются в зависимости от обработки: $\sigma_{\text{в}} = 220-450$ МПа; $\delta = 4 - 60\%$; НВ = 350 – 1300 МПа.

Латунь

- **Латуни** – сплавы меди с цинком. При введении третьего, четвертого и более компонентов латуни называют **сложными**, или **специальными**; к ним относятся алюминиевая латунь, железомарганцевая латунь, марганцево-оловянно-свинцовая латунь и т.д. По сравнению с медью латуни обладают большой прочностью, коррозионной стойкостью, упругостью и лучшей обрабатываемостью (литьем, давлением и резанием).
- По технологическому признаку латуни подразделяются на **литейные** и **обрабатываемые** давлением.

Маркировка латуней

- По химическому составу нормировано 8 марок **простых** латуней: Л96, Л90 (томпак); Л85, Л80 (полутомпак); Л70, Л68, Л63 и Л60. Они обозначаются русской буквой Л, следующая за ней цифра указывает средний процент меди в этом сплаве.
- **Сложные** латуни (23 марки) в обозначении имеют после буквы Л другую букву, а цифры, размещенные после цифры, показывающей процент меди, указывают процент добавок в марке латуни. Например, ЛС59-1 обозначает латунь свинцовая, содержащая 57 – 60% меди и 0,8 – 1,5% свинца; ЛМцА57-3-1 латунь марганцово-алюминиевая, содержащая 55,0 – 58,5% меди, 2,5 – 3,5% марганца и 0,5 – 1,5% алюминия. Все добавляемые к латуни элементы обозначаются русскими буквами: О – олово, Ц – цинк, С – свинец, Ж – железо, Мц – марганец, Н – никель, К – кремний, А – алюминий и т.д.

Марки, химический состав и назначение латунных

ОТЛИВОК

Название и марка латуни	Химический состав*, %			Примерное назначение
	Cu	прочие компоненты	примеси, не более	
Кремнистая ЛК80-3Л	78-81	Si 3,0-4,5	2,8	Детали, работающие в морской воде, при протекторной защите арматуры до 250 °С
Кремнисто-свинцовая ЛКС80-3-3	77-81	Si 2,5-4,5 Pb 2,0-4,0	2,3	Подшипники и втулки неответственного назначения
Алюминиево-железо-марганцевая ЛАЖМц 66-6-3-2	64-68	Al 4,0— 7,0 Fe 2,0— 4,0 Mn 1,5— 3,0	2,1	Гайки нажимных работающих червячных винтов
Алюминиевая ЛА67-2,5	66-68	Al 2,0— 3,0	3,4	Коррозионностойкие детали, работающие в морской воде
Алюминиево-железная ЛАЖ 60-1-2Л	58-61	Al 0,8— 1,5 Fe 0,8— 1,5 Mn 0,1— 0,6 Sn 0,2— 0,7	0,7	Арматура, втулки, подшипники
Марганцево-никеле-железоалюминиевая ЛМцНЖА 60-2-1-1-1	58-62	Al 0,5— 1,0 Fe 0,5— 1,1 Mn 1,5— 2,5 Pb 0,5— 1,5	2,3	Арматура, не имеющая притираемых поверхностей, работающая на воздухе, в воде, масле, жидком топливе до 250 °С
Свинцовая ЛС59-1ЛД	58-61	Pb 0,8— 2,0	1,5	Литье под давлением
Свинцовая ЛС59-1ЛД	57-61	Pb 0,8— 2,0	2,0	Арматура, втулки, сепараторы для подшипников качения
Марганцево-оловяно-свинцовая ЛМцОС58-2-2-2	57-60	Mn 1,5— 2,5 Sn 1,5— 2,5 Pb 0,5— 2,5	1,2	Зубчатые колеса
Марганцево-свинцовая ЛМцС58-2-2	57-60	Mn 1,5— 2,5 Pb 1,5— 2,5	2,5	Антифрикционные детали
Марганцевая ЛМц58-2Л	57-60	Mn 1,0— 2,0	2,0	Детали, подвергающиеся лужению, заливке баббитом. Детали упорных и опорных подшипников, дейдвудных труб
Марганцево-железная ЛМцЖ55-3-1	53-58	Fe 0,5— 1,5 Mn 3,0— 4,0	2,0	Несложные детали ответственного назначения, арматура, работающая при температурах до 300 °С
Оловянно-свинцовая ЛВОС	68-75	Sn 0,5— 2,0 Pb 1,0-1,3	1,5	Штуцера гидросистем автомобилей

Бронза

- **Бронзы** – сплав меди (кроме латуней и медно-никелевых сплавов) с оловом (оловянные бронзы) и сплавы меди с алюминием, бериллием, кремнием, марганцем и другими компонентами, которые являются главными и в соответствии, с которыми бронзы получают названия. Как латуни, бронзы подразделяются на **литейные** и **деформируемые**. Обозначение бронз начинается с букв Бр. Справа ставят элементы, входящие в бронзу: О – олово, А – алюминий, Ф фосфор, Т – титан и другие, обозначаемые так же, как и в латунях, но цифры, стоящие за буквами, обозначают среднее содержание добавок этих дополнительных элементов в бронзе (цифры, обозначающие процентное содержание меди в бронзах, не ставят). Например, БрОЦ4-4 означает, что в бронзе содержится в среднем 4% олова, 3% цинка, остальное медь.

Титан и сплавы на его основе.

- Титан характеризуется небольшой плотностью, высокой прочностью и коррозионной устойчивостью ко многим агрессивным средам в частности, к морской воде, поэтому титан и сплавы на его основе широко используются в качестве конструкционного материала.
- Чистый титан выпускают двух марок: ВТ1-00 и ВТ1-0, здесь титана более 99,5%. Титановые сплавы выпускают 14 марок.

Биметалл

- Для изготовления нефтезаводской аппаратуры широко применяется биметалл – двухслойный лист, состоящий из двух различных металлов. Основной (толстый) лист воспринимает нагрузку. Тонкий слой, называемый защитным или плакирующим, предохраняет основной слой от коррозионного действия среды: обычно в расчетах на прочность толщину тонкого слоя не учитывают. Толщина двухслойных листов по ГОСТ может быть в пределах от 4 до 160 мм.
- Основной слой биметалла выполняется обычно из углеродистых сталей ВСтЗсп5; 20К; марганцовистых сталей 16ГС, 09Г2С, теплоустойчивой хромомолибденовой стали 12ХМ и др. Защитный слой биметалла толщиной 1 – 6 мм выполняют из сталей 08Х13, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т (для особо агрессивных сред), монеля, никеля и др. марок высоколегированных сталей и сплавов.

Неметаллические материалы



Основные требования к конструкционным материалам

- 1) достаточная общая химическая и коррозионная стойкость материала в агрессивной среде с заданными концентрацией, температурой и давлением, при которых осуществляется технологический процесс, а так же стойкость против других возможных видов коррозионного разрушения (межкристаллитная коррозия, электрохимическая коррозия сопряженных металлов в электролитах, коррозия под напряжением и др.);
- 2) достаточная механическая прочность при заданных давлении и температуре технологического процесса, с учетом специфических требований, предъявляемых при испытании аппаратов на прочность, герметичность и т. п. и в эксплуатационных условиях при действии на аппараты различного рода дополнительных нагрузок (ветровая нагрузка, прогиб от собственного веса и т. д.);
- 3) наилучшая способность материала свариваться с обеспечением высоких механических свойств сварных соединений и коррозионной стойкости их в агрессивной среде, обрабатываться резанием, давлением, подвергаться сгибу и т. п.;
- 4) низкая стоимость материала, недефицитность и освоенность его промышленностью. Необходимо стремиться применять двухслойные стали, неметаллические материалы, стали с покрытиями из неметаллических материалов. Номенклатура применяемых материалов как по наименованию, маркам, так и по сортаменту должна быть минимальной с учетом ограничений, предусматриваемых ведомственными нормами и действующими на заводах-изготовителях инструкциями;
- 5) качество, химический состав и механические свойства материалов и полуфабрикатов должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов и ТУ и быть подтверждены сертификатами заводов-поставщиков. При отсутствии сертификатов все необходимые испытания должны быть проведены на заводе-изготовителе аппарата;
- 6) возможность простой утилизации при выработке сроков эксплуатации оборудования, узлов