

Конструкционные стали и сплавы

Классификация сталей

Стали систематизируют по:

- химическому составу (углеродистые и легированные /хромистые, марганцовистые, хромоникелевые и т. д./);
- по качеству (обыкновенного качества /0,06% серы и фосфора/, качественные /0,03% S,P /, высококачественные 0,015% S,P – в конце марки стали ставится буква А (У13А)/, особовысококачественные /0,005% S,P в конце марки стали ставится буква Ш (30ХГС-Ш);
- способу раскисления (кипящие, полуспокойные, спокойные);
- назначению (конструкционные, инструментальные, стали с особыми свойствами);
- способу производства /конверторные, мартеновские, электростали/.

Конструкционная прочность – комплекс механических свойств, обеспечивающих надежную и длительную работу материала в условиях эксплуатации. Под условиями работы понимают статические, динамические и ударные нагрузки в контакте с различными средами. ¹

Критерии конструкционной прочности выбирают в зависимости от условий работы.

1. При статической нагрузке критерием прочности является временное сопротивление σ_B или предел текучести $\sigma_T, \sigma_{0,2}$; они характеризуют сопротивление материала пластической деформации.
2. При циклических нагрузках критерием является предел выносливости σ_R . Однако повышение прочности сопровождается повышением упругих деформаций: $\sigma_R / E = \varepsilon_{\text{упр}}$. Модуль упругости E является критерием жесткости материала:
 - Большой модуль упругости и коэффициент жесткости для станин, корпусов редукторов и т.п., если требуется сохранение размеров и формы;
 - Большой предел упругости и низкий модуль упругости для пружин, мембран и др. упругих элементов.
3. Для материалов, используемых в авиации, ракетостроении важное значение имеет масса деталей, критерием является удельная прочность $\sigma_B/(\rho g)$ или $E/(\rho g)$.
4. Важным критерием в работе материала является трещиностойкость (способность тормозить развитие трещины). Концентрации напряжений больше, если длиннее трещина и острее вершина. Пластичные материалы менее склонны к охрупчиванию, т.к. мелкозернистая структура с большим количеством границ зерен тормозит развитие трещины и движение дислокаций.
5. Для выбора материалов ответственного назначения учитывают такие критерии как ударная вязкость KCV (это подтверждается случаями внезапного хрупкого разрушения изделий, изготовленных из сталей высокой пластичности :подвесных мостов, рельсов, автомобильных осей, сосуда высокого давления, трубопроводы), температурный порог хладноломкости.

Циклическая долговечность характеризует работоспособность материала в условиях многократно повторяющихся циклов напряжений. Ее характеризует предел выносливости.

Циклическая долговечность и прочность зависят от структуры и напряженного состояния поверхностного слоя, качества поверхности и воздействия коррозионной среды, предел выносливости снижается с увеличением размеров деталей. ²

Износостойкость – свойство материала оказывать в определенных условиях трения сопротивление изнашиванию. *Изнашивание* – процесс постепенного разрушения поверхностного слоя материала путем отделения его частиц под влиянием сил трения. Результат изнашивания называется износом. Его определяют по изменению размеров образца (объемный или массовый износ). ³

Конструкционные стали обыкновенного качества

- 4 В зависимости от назначения и гарантируемых свойств углеродистые стали обыкновенного качества поставляют трех групп - А, Б и В (по ГОСТ 380-71):
 - 5 Группа А – стали поставляются по гарантируемым механическим свойствам после горячей деформации
- Группа Б - стали поставляют с гарантируемым химическим составом. Подвергается термической обработке.
- Группа В - стали поставляются по гарантируемым механическим свойствам и химическому составу.
Свариваемые нагружаемые металлоконструкции.
- Раскисление – удаление кислорода из стали. Кипящая – это сталь, раскисленная до 0,05%Si, 0,3-0,5% Mn.
Полуспокойная – до 0,15%Si, 0,3-0,5% Mn. Спокойная – до 0,35%Si, до 0,8% Mn.
- Например: Ст3кп, БСт4пс, ВСт5сп.**

Раздел 1. СТАЛИ И СПЛАВЫ КОНСТРУКЦИОННЫЕ
СТАЛИ УГЛЕРОДИСТЫЕ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

Марка стали		Вид поставки											
Ст0		Сортовой прокат — ГОСТ 535–88. Лист — ГОСТ 14637–89.											
Массовая доля элементов, %, по ГОСТ 380–94										Температура критических точек, °С			
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	As	N	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	Ar ₃
≤ 0,23	—	—	≤ 0,060	≤ 0,070	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,080	≤ 0,010	735	854	682	835
Механические свойства при комнатной температуре													
НД	Режим термообработки			Сечение, мм	σ _{0,2} , Н/мм ²	σ _в , Н/мм ²	δ, %	ψ, %	КСУ, Дж/см ²	Изгиб	НВ		
	Операция	t, °С	Охлаждающая среда									не менее	
ГОСТ 535–88	В горячекатаном состоянии			До 20		300	18	—	—				
				Свыше 20 до 40		300	18	—	—				
				Свыше 40		300	15	—	—				
ГОСТ 14637–89	В горячекатаном состоянии			До 20		300	23	—	—	d=2,5a			
				Свыше 20 до 40		300	22	—	—	d=3,5a			
				Свыше 40 до 160		300	20	—	—	d=3,5a			
Назначение. Второстепенные нерасчитываемые элементы сварных и несварных конструкций и неответственные детали: настилы, арматура, подкладки, шайбы, перила, кожухи, обшивки и др.													
Предел выносливости, Н/мм ²		Состояние стали		Ударная вязкость, КСУ, Дж/см ² , при t, °С						Термообработка			
σ ₋₁	τ ₋₁			+20	0	-20	-40	-60	-80				
167	—	При σ _в = 305 Н/мм ² .											
Коррозионная стойкость													
Среда				t, °С				Скорость коррозии, мм/год					
Морская вода				20				0,105					
Технологические характеристики													
Ковка		Охлаждение поковок, изготовленных											
Вид полуфабриката	Температурный интервал ковки, °С	из слитков				из заготовок							
		Размер сечения, мм		Условия охлаждения		Размер сечения, мм		Условия охлаждения					
Слиток	1280–750												
Заготовка	1300–700												
Свариваемость				Обрабатываемость резанием				Флокеночувствительность					
Сваривается без ограничений. Способы сварки: РД, РАД, АФ, МП, ЭШ и КТ.				В горячекатаном состоянии при 103–107 НВ и σ _в = 470 Н/мм ² K _в = 2,10 (твердый сплав), K _в = 1,65 (быстрорежущая сталь)				Не чувствительна					
								Склонность к отпусчной хрупкости					
								Не склонна					

Марка	%C
Ст0	до 0,23
Ст2	0,09-0,15
Ст3	0,14-0,22
Ст4	0,18-0,27
Ст5	0,28-0,37
Ст6	0,38-0,49

Ст0 – неответственные детали конструкций (подкладки, шайбы, кожухи и т.д.)

Ст2 – неотв. детали с повышенной пластичностью и глубиной вытяжки, малонагруженные элементы сварных конструкций, работающих при постоянных нагрузках

Ст4 – сварные, клепаные и болтовые соединения повышенной прочности

Ст5- слабонагруженные жд колеса, рельсы, шкивы и т.д.

Углеродистые стали качественные.

От сталей обыкновенного качества эти стали отличаются меньшим содержанием серы (не более 0,04%), фосфора (не более 0,035-0,04) и меньшим количеством неметаллических включений.

Маркируются 08...85. Число – содержание углерода в сотых долях процентов.

К качественным сталям относятся стали с повышенным содержанием марганца до 1%). Тогда в конце марки ставят букву Г (например, 15Г).

Низкоуглеродистые стали 05кп; 08кп; 10 и 10кп обладают малой прочностью и высокой пластичностью. Их применяют без термической обработки в горячекатаном состоянии для изготовления малонагруженных деталей небольшого размера (шайб, прокладок и др.), элементов сварных конструкций, деталей, изготавливаемых холодной деформацией.

Стали 15-25 – цементируемые стали (малонагруженные шестерни, втулки и т. д.).

Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45, 50, 55 применяют после нормализации, термического улучшения, поверхностной закалки. 6

Высокоуглеродистые стали 60, 65, 70, 75, 80, 85 используют в основном как рессорно-пружинные. В нормализованном состоянии эти стали также применяют для прокатных валков, шпинделей станков и других крупных деталей. Достоинствами углеродистых качественных сталей является дешевизна и технологичность.

7. Легированные стали

Обозначение легирующих элементов в марке стали

В марке стали число вначале марки обозначает содержание углерода в сотых долях процента, число за буквой означает содержание легирующего элемента в целых процентах (исключение составляет шарикоподшипниковая, быстрорежущая сталь).

Если за буквой ничего не стоит, значит содержание легирующего элемента ~1%.

Если за буквой стоит 1, значит, содержание легирующего элемента – 1-1,5%.

30Х2В5 – 0,3% С, 2% хрома, 5% вольфрама.

55Г1С3А – 0,55%С, до 1,5% марганца, 3% кремния, высококачественная (0,03% серы и фосфора)

Хром – Х

Никель – Н

Марганец – Г

Кремний – С

Вольфрам - В

Ванадий – Ф

Молибден - М

Титан - Т

Медь - Д

Алюминий - Ю

Кобальт – К

Ниобий - Б

Цирконий - Ц

Азот - А

Бор - Р

- Углерод – повышает порог хладноломкости (при 0,4%-0°C), повышает твердость, снижает пластичность и вязкость.
- Хром – повышает твердость и временное сопротивление за счет образования карбидов, более 13% повышает коррозионную стойкость, повышает прокаливаемость,
- Никель - не снижает ударную вязкость, сильно снижает температуру перехода в хрупкое состояние (порог хладноломкости). 1% → -60 °C.
- Марганец – повышает предел текучести, делая сталь чувствительной к перегреву, раскислитель.
- Кремний – сильно повышает предел текучести, предел упругости после среднего отпуска, раскислитель.
- Молибден, цирконий, ниобий, ванадий, вольфрам – измельчители зерна.
- Молибден – снижает отпускную хрупкость при 500 °C, повышает твердость и прочность за счет труднорастворимых карбидов.
- Вольфрам, ванадий - повышают твердость и прочность за счет труднорастворимых карбидов, повышают теплостойкость.
- Титан - повышает теплостойкость, прочность за счет труднорастворимых карбидов и интерметаллидов.

8 Улучшаемые стали - стали, подвергаемые термическому улучшению - закалке и высокому отпуску, обеспечивающим получение структуры: сорбит отпуска. Сильно повышается предел текучести.

Примеры: 30-45, 40Х, 40Г2, 40ХГТР, 30ХГС (хромансил) и др. Эти стали обладают высокой конструкционной прочностью и используют для изготовления зубчатых колес, валов, осей, втулок и пр. Сталь 38ХН3ВА имеет прокаливаемость более 100 мм. Для устранения отпускной хрупкости хромоникелевые стали легируют Mo, W. Недостатки: высокая стоимость и пониженная обрабатываемость резанием.

9 Цементуемые стали - стали, подвергающиеся цементации, с содержанием 0,1-0,25 % С, что дает возможность получать вязкую сердцевину и высокую твердость поверхности детали HRC 60-64, а сердцевины HRC 30-35. Эти стали для деталей, работающих на поверхностный износ (шестерни, втулки, валики, оси, шпильки и др.). Термообработка: цементация, закалка в воде и низкий отпуск. Примеры цементируемых сталей: хромоникелевые, хромомарганцевые и др. – 10-25, 15Х, 15ХФ, 20ХН, 12ХН3А; 20ХН3А, 20Х2Н4А, 18ХГТ, 20ХНТ, 20ХНР и др.

¹⁰ Пружинно-рессорные стали: 65, 85, 65Г, 60С2, 70С3А, 50ХФА, 60СГ, 60С2ХА, 65С2ВА и др. Кремнистые стали склонны к обезуглероживанию, трудно поддаются резанию.

После навивки в холодном или горячем состоянии пружины подвергают среднему отпуску для снятия внутренних напряжений, повышения предела упругости и стабилизации размеров. Легирующими элементами являются Si, Mn, Cr, V, W, которые повышают предел упругости пружин и рессор.

Сталь 50ХФА применяют для ответственных пружин, работающих при высоких температурах (до 300 °С), многократных переменных нагрузках. Она обладает высокой прокаливаемостью и не склонностью к росту зерна при высоких температурах.

Шарикоподшипниковые стали

При работе подшипника материал колец, шариков и роликов подвергается воздействию высоких удельных нагрузок переменного характера; раздавливающей нагрузке, износу от трения качения или скольжения, химическому износу, абразивному износу. Основные требования, предъявляемые к шарикоподшипниковой стали - это высокая прочность, износостойкость, высокое качество поверхности – отсутствие макро- и микровключений. Это конструкционные стали с содержанием $\sim 1\% \text{C}$ и наличием хрома (как основного легирующего элемента в десятых долях) и др.: ШХ6 (0,6%С, кольца до 25 мм), ШХ12 (кольца до 40 мм), ШХ15 (прокаливаемость до 25 мм), ШХ15СГ (прокаливаемость до 65 мм) и др. Термическая обработка включает операции диффузионного отжига, закалки, обработки холодом для устранения остаточного мартенсита и низкого отпуска. Структура: скрытокристаллический мартенсит с равномерно распределенным мелким избыточным карбидом.

- Высокопрочные стали (30ХГСН2А, 40ХН2МА, 30ХГСА, 39ХН3МА, 03Н18К9М5Т, 04Х11Н9М2Д2ТЮ)- получают из среднеуглеродистых легированных сталей, применяя закалку с низким отпуском или изотермическую закалку получением структуры нижнего бейнита. Их используют в качестве конструкционных и путем подбора химического состава получают $\sigma_{\text{в}} \approx 1700-1900$ МПа.
- Мартенситостареющие стали : Н18К9М5Т, Н18К12М5Т2 и др. - группа высокопрочных сталей, отличающихся от других конструкционных сталей способом легирования и термической обработки. Эти стали используют для работы от -196°C до 450°C .

Механические свойства $\sigma_{\text{в}} = 2200-2400$ МПа, $\sigma_{\text{T}} = 1500-1800$ МПа, $\varepsilon = 12-15\%$, $\psi = 40-55\%$, ударная вязкость $0,6-1,0$ МДж/м².

- Износостойкая сталь.

Для работы в условиях изнашивания, сопровождаемого большими удельными нагрузками применяется сталь 110Г13А, Г13 (1% С, 12-14 % Мn). Сталь имеет аустенитную структуру, высокую вязкость, малую твердость (250 НВ). В процессе работы действуют высокие нагрузки, превосходящие предел текучести, т.е. происходит интенсивный наклеп и рост твердости и износостойкости.

Из этой стали изготавливают корпуса шаровых мельниц, щеки камнедробилок, крестовина рельс, гусеничные траки, козырьки землечерпалок.