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.

Критерии конструкционной прочности выбирают в зависимости от условий работы.

1. При статической нагрузке критерием прочности является временное сопротивление σ_B или предел текучести σ_T, $\sigma_{0,2}$; они характеризуют сопротивление материала пластической деформации.

2. При циклических нагрузках критерием является предел выносливости σ_R . *Циклическая долговечность* характеризует работоспособность материала в условиях многократно повторяющихся циклов напряжений.

Однако повышение прочности сопровождается повышением упругих деформаций: $\sigma_R / E = \varepsilon_{упр}$. Модуль упругости *E* является критерием жесткости материала:

- Небольшой модуль упругости и коэффициент жесткости для корпусов редукторов и т.п., если требуется сохранение размеров и формы;
- Большой предел упругости для пружин, мембран и др. упругих элементов.

3. Для материалов, используемых в авиации, ракетостроении важное значении 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 (э*то подтверждается случаями внезапного хрупкого разрушения изделий, изготовленных из сталей высокой пластичности: подвесных мостов, рельсов, автомобильных осей, сосуды высокого давления, трубопроводы), температурный порог хладноломкости.
6. 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).

Конструкционные стали обыкновенного качества

Содержание серы и фосфора в этих сталях не менее 0,06-0,07%.

В зависимости от назначения и гарантируемых свойств углеродистые стали обыкновенного качества поставляют трех групп - А, Б и В (по ГОСТ 380-71):

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.

<u>Раскисление</u> – 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

Сталь для строительных конструкций (заменитель Ст4Гсп) маркируется С255, где $\sigma_т$=255 МПа.

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	$\sigma_{0,2}$, Н/мм²	$\sigma_в$, Н/мм²	δ, %	ψ, %	KCU, Дж/см²	Изгиб	HB
	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 нерассчитываемые элементы сварных и несварных конструкций и неответственные детали: настилы, арматура, подкладки, шайбы, перила, кожухи, обшивки и др.

Предел выносливости, Н/мм²		Состояние стали	Ударная вязкость, KCU, Дж/см², при t, °С						Термообработка
σ_{-1}	τ_{-1}		+20	0	−20	−40	−60	−80	
167	—	При $\sigma_в$ = 305 Н/мм².							

Коррозионная стойкость

Среда	t, °С	Скорость коррозии, мм/год
Морская вода	20	0,105

Технологические характеристики

Ковка		Охлаждение поковок, изготовленных			
		из слитков		из заготовок	
Вид полуфабриката	Температурный интервал ковки, °С	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 HB и $\sigma_в$ = 470 Н/мм² K_v = 2,10 (твердый сплав), K_v = 1,65 (быстрорежущая сталь)	Не чувствительна
		Склонность к отпускной хрупкости
		Не склонна

Марка	%С
Ст0	до 0,23
Ст1	0,08-0,12
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

Ст5,6- слабонагруженные жд колеса, рельсы, шкивы и т.д.

Углеродистые стали качественные.

От сталей обыкновенного качества эти стали отличаются меньшим содержанием серы (не более 0,03%), фосфора (не более 0,03-0,04) 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 *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 – цементуемые стали (малонагруженные шестерни, втулки и т.д.).

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

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.

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: **4**, значит, содержание легирующего элемента – 1-1,5%: **40Х1.**

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

55Г1С3А – 0,55%С, до 1,5% марганца, 3% кремния, высококачественная (0,015% 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 ^{o}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, бор – измельчители зерна.
- Молибден – снижает отпускную хрупкость при 500 ^{o}C, повышает твердость и прочность за счет труднорастворимых карбидов.
- Вольфрам, ванадий - повышают твердость и прочность за счет труднорастворимых карбидов, повышают теплостойкость и красностойкость.
- 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 или перлит 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:** 10-25, 15Х, 15ХФ(σ_B = *750МПа,* σ_T = *550МПа,* ε = *12%), 30ХГТ (*σ_B = *1500МПа,* σ_T = *1300МПа,* ε = *9%,),*20ХН, 12ХН3А; 20ХН3А, 18Х2Н4А (σ_B = *1150МПа,* σ_T =*850МПа,* ε = *12%*), 18ХГТ, 20ХНТ, 20ХНР и др. У*дарная вязкость 0,6-1,0 МДж/м*^{2}

Сталь	Температура, °С			Механические свойства (не менее)				
	закалки		отпуска	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	*KCU*, МДж/м²
	I	II		МПа		%		
15Х	880	770–820	180	700	500	12	45	0,7
15ХФ	880	760–810	180	750	550	13	50	0,8
30ХГТ	880	850	200	1500	1300	9	40	0,6
25ХГМ	860	–	200	1200	1100	10	45	0,8
12ХН3А	860	760–810	180	950	700	11	55	0,9
12Х2Н4А	860	760–800	180	1150	950	10	50	0,9
18Х2Н4МА	950	860	200	1150	850	12	50	1

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 ^{0}С), многократных переменных нагрузках. Она обладает высокой прокаливаемостью и не склонностью к росту зерна при высоких температурах.

стали

Сталь	Температура закалки, °С	Отпуск		$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, МДж/м²	$t_в$	$t_н$
		Температура, °С	Среда охлаждения	МПа		%			°С	
				Не менее						
40Х	860	500	Вода, масло	1000	800	10	45	0,6	0	−100
50Х	830	520	То же	1100	900	9	40	0,4	20	−60
30ХГСА	880	540	»	1100	850	10	45	0,5	20	−60
40ХН	820	500	»	1000	800	11	45	0,7	−30	−100
40ХНМА	850	620	»	1100	950	12	50	0,8	−40	−120
38ХН3МА	850	600	Воздух	1200	1100	12	50	0,8	−60	−140

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 ~ 1 %С 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, 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 $\sigma_в \approx$ 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°С до 450°С.

Механические свойства $\sigma_В$ = 2200-2400 МПа, $\sigma_Т$ = 1500-1800 МПа, ε = 12-15%, ψ = 40-55 %, ударная вязкость 0,6-1,0 МДж/м^2.

- <u>Износостойкая сталь.</u>

Для работы в условиях изнашивания, сопровождаемого большими удельными нагрузками применяется сталь 110Г13А, Г13 (1% С, 12-14 % Mn). 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.