

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕРМООБРАБОТКА
КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Методическая разработка

Куйбышев 1990

Составитель доцент А.А.М е л ь н и к о в

УДК 621.78(083):669.14.018

Классификация и термообработка конструкционных сталей: Метод.разработка /Куйбышев. авиац.ин-т. Сост. А.А.Мельников, Куйбышев, 1990. 44 с.

Собраны и систематизированы свойства используемых в авиации марок конструкционных сталей. Приведены области их применения, химический состав, классификация, виды и режимы термической обработки, механические свойства.

Методическая разработка предназначена для студентов всех механических и металлургических специальностей авиационного профиля при изучении курсов "Авиаматериаловедение", "Термическая обработка" и др., при выполнении домашних заданий, курсовых и дипломных проектов и работ, а также может быть полезна инженерно-техническим работникам. Работа выполнена на кафедре технологии металлов и авиаматериаловедения.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С.П. Королёва

Рецензенты: Т.А.К о т е л ь н и к о в , В.Ю.Н е н а - ш е в

Г. КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕРМООБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Конструкционные стали, применяемые для изготовления различных деталей машин, весьма разнообразны по своему составу и свойствам, так как различие типов машин выдвигает специфические требования к потребляемым металлическим материалам. Эти стали должны обладать комплексом физико-механических и технологических свойств, обеспечивающих эксплуатационную прочность машин при статических и динамических нагрузках, а также их технологичность.

Физико-механические свойства конструкционных сталей зависят от их состава и структуры. Изменяя состав и структуру сталей, можно в широких пределах регулировать их свойства. Важной характеристикой сталей является прокаливаемость, которая зависит в основном от химического состава. От глубины прокаливаемости зависят механические свойства деталей после термической обработки, закалки и отпуска.

Все конструкционные стали в зависимости от их химического состава подразделяются на следующие: стали углеродистые обыкновенного качества; углеродистые качественные; качественные легированные.

Структура конструкционных сталей, получаемая после медленного охлаждения при отжиге, в зависимости от содержания углерода и легирующих элементов бывает доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной.

Доэвтектоидная сталь характеризуется присутствием в структуре избыточного феррита, эвтектоидная – структурой пластинчатого или зернистого перлита, заэвтектоидная – наличием в структуре избыточных карбидов. Большинство конструкционных сталей может быть отнесено к доэвтектоидным.

Высоколегированные конструкционные стали относят к другим структурным классам: аустенитному, мартенситному, ферритному и др. По назначению конструкционные стали разделяют на стали для металлоконструкций и машиностроительные. В свою очередь, машиностроительные конструкционные стали разделяют на низкоуглеродистые цементуемые, среднеуглеродистые улучшаемые, высокоуглеродистые пружинно-рессорные, шарикоподшипниковые и высокопрочные.

В данной разработке рассматриваются конструкционные углеродистые и легированные стали цементуемые с содержанием углерода 0,1... 0,25% и улучшаемые с содержанием углерода свыше 0,25%.

Цементуемые стали в зависимости от степени упрочнения термообработкой сердцевины изделия разделяют на три группы: углеродистые стали с неупрочняемой термообработкой сердцевиной, низколегированные стали со слабо упрочняемой сердцевиной и относительно высоколегированные стали с сердцевиной, сильно упрочняемой при термообработке. Составы цементуемых сталей приведены в разд. 3, механические свойства сердцевины - в табл. I.

Т а б л и ц а I
Механические свойства сердцевины цементуемых сталей

Группа	Марка стали	Структура сердцевины	Механические свойства					$T_{500}^{\circ}C$
			σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	$\alpha_{1,2}$, КДжо/м ²	
I	10, 15, 20	Феррит+перлит	400-	250-	35-	70-	1500-	-40±
	15Г, 20Г		470	300	30	60	1000	-20
II	15Х, 15ХР,	Верхний бейнит	750-	650-	15-	55-	1000-	-50±
	20ХН, 18ХГ,		850	700	20	65	1200	-20
III	15ХФ, 20ХГР	Мартенсит, нижний бейнит	1200-	1000-	15-	60-	800-	-50±
	18ХГТ, 20Х2НЧ, 12ХНЗА, 12Х2НЧА 18Х2НЧМА		1300	1100	12	50	1400	-120

Более надежные и устойчивые к динамическим нагрузкам изделия следует изготавливать из высокопрочных цементуемых сталей и подвергать их цементации на небольшую глубину.

Улучшаемые среднеуглеродистые стали содержат 0,3...0,4% С и разное количество легирующих элементов в сумме не более 3...5%.

Обычная термическая обработка таких сталей – закалка в масле и высокий отпуск. Чем больше в стали легирующих элементов, тем больше ее прокаливаемость. Поскольку механические свойства стали разных марок после указанной термической обработки в случае сквозной прокаливаемости близки, то не механические свойства, а прокаливаемость определяет выбор стали для той или иной детали. Чем больше сечение детали, тем более легированную сталь следует выбирать.

Улучшаемые сорта стали можно условно разбить на пять групп (табл. 2). По мере увеличения номера группы растут степень легирования и, следовательно, размер сечения, в котором достигается сквозная прокаливаемость.

Т а б л и ц а 2

Критический диаметр и температура полухрупкости
некоторых марок улучшаемых сталей

Группа	Сталь	Критический диаметр	Температура полухрупкости
I	40	10	-20
	45	12	-20
II	40X	15	-50
	40XP	20	-30
III	30XM	20	-60
	40XГТР	30	-20
	30XГТ	20	-20
	30XГСА	25	-20
IV	40XH	25	-60
	40XH2MA	40	-80
	40XMΦA	40	-60
V	30XH3A	50	-100
	30XH2MΦ	100	-80
	38XH3MΦA	100	-100

П р и м е ч а н и я: I. Критический диаметр указан для полной прокаливаемости 95% мартенсита и для охлаждения в масле (для стали I группы в воде). 2. Температура полухрупкости дана для улучшенного состояния.

Конструкционные стали в зависимости от назначения подвергаются различным видам термической обработки. Назначение отдельных видов термообработки следующее.

Отжиг применяется для снижения твердости стали, улучшения ее обрабатываемости резанием, снятия внутренних напряжений после литья, механической обработки или обработки давлением, придания стали наилучшей структуры для последующей термической или химико-термической обработки. Отжиг заключается в нагреве стали на $30...50^{\circ}$ выше точки A_{c3} (полный отжиг) или в интервале температур $A_{c1}-A_{c3}$ (неполный отжиг), выдержке при этой температуре и последующем медленном охлаждении (обычно вместе с печью).

Нормализация применяется для получения мелкозернистой структуры, придания структурной однородности, улучшения обрабатываемости резанием низкоуглеродистых сталей, повышения твердости, снятия механического упрочнения (наклепа) и подготовки структуры к последующей термической обработке. Нормализация заключается в нагреве стали на $30...50^{\circ}$ выше точки A_{c3} , выдержке на спокойном воздухе.

Закалка и отпуск применяются для придания стальным изделиям высоких прочностных свойств, обеспечивающих необходимые эксплуатационные качества и долговечность.

Закалка заключается в нагреве стали на $30...50^{\circ}$ выше точки A_{c3} , выдержке при этой температуре и последующем быстром охлаждении в воде, масле или других охлаждающих средах.

В результате закалки конструкционных сталей их твердость и механические свойства значительно увеличиваются.

Отпуск применяется для снятия напряжений, полученных при закалке, и для придания стали стабильной структуры. В зависимости от температуры нагрева закаленной стали различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск заключается в нагреве стали до температур $150...240^{\circ}\text{C}$, выдержке и последующем охлаждении.

Средний отпуск заключается в нагреве до температур $240...400^{\circ}\text{C}$, выдержке и последующем охлаждении.

Высокий отпуск заключается в нагреве стали до температур $400...700^{\circ}\text{C}$, выдержке и последующем охлаждении.

При отпуске происходит распад мартенсита и образование более

стабильных структурных составляющих. Повышение температуры отпуска способствует понижению прочности, твердости и повышению пластичности и вязкости.

Закалка с последующим высоким отпусканием (500...700⁰C) называется улучшением. Улучшение сообщает стали благоприятные сочетания характеристики прочности и пластичности.

2. СТАЛЬ УГЛЕРОДИСТАЯ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

2.1. Классификация и маркировка

Для изготовления металлоконструкций и деталей машин общего назначения применяется углеродистая сталь обыкновенного качества, выпускаемая по ГОСТ 380-88. Сталь подразделяется на три группы (табл.3).

Т а б л и ц а 3

Группы и основные марки стали обыкновенного качества
(ГОСТ 380-88)

Группа	Характеристика поставки	Марки стали
А	По механическим свойствам	Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6
Б	По химическому составу	БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6
В	По механическим свойствам и химическому составу	ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5

Сталь изготавливается в мартеновских печах и в конверторах. По степени раскисления изготавливается сталь кипящая, полуспокойная и спокойная. В связи с этим в обозначениях марок стали добавляют: для кипящей стали - индекса кп; для полуспокойной - пс; для спокойной - сп.

Сталь марок Ст1, Ст2, Ст3 и Ст4 всех групп изготавливается ки-

пящая, полуспокойная и спокойная, марок Ст5, Ст6, Ст7 – полуспокойная и спокойная. К обозначению этих марок всех групп добавляются соответствующие индексы.

Сталь группы А в зависимости от нормируемых показателей подразделяется на три категории (табл. 6). Механические свойства стали группы А приведены в табл. 4.

Сталь группы Б подразделяется на две категории (табл. 7). Химический состав стали группы Б должен соответствовать нормам, указанным в табл. 5.

В состав группы В входят пять марок сталей (табл. 3). Имеется шесть категорий сталей, которые нормируются по химическому составу и механическим свойствам (табл. 8). Механические свойства стали при растяжении и условия испытаний на изгиб на 180° в холодном состоянии должны соответствовать нормам, указанным для стали группы А в табл. 4.

По химическому составу сталь группы В должна соответствовать нормам, указанным в табл. 5, за исключением нижнего предела по содержанию углерода. Отклонение от нижнего предела по содержанию углерода не является браковочным признаком. Верхний предел содержания марганца допускается на 0,2% выше указанного в табл. 5 для всех марок сталей, кроме ВСт1Гпс, ВСт2Гпс, ВСт3Гпс, ВСт5Гпс.

2.2. Химический состав и механические свойства

Т а б л и ц а 4

Механические свойства стали обыкновенного качества
группы А (ГОСТ 380-88)

Сталь	σ_B , МПа	σ_T , МПа, не менее для толщин, мм				δ , %, не менее для толщин, мм			Изгиб на 180° для толщин не свыше 20 мм
		до 20	20-40	40-100	свыше 100	до 20	до 40	свыше 40	
Ст0	Не менее 310	-	-	-	-	23	22	20	$d = 2a$
Ст1кп	310-400	-	-	-	-	35	34	32	$d = 0$
Ст1пс	320-420	-	-	-	-	34	33	31	
Ст1сп	320-420	-	-	-	-	34	33	31	

Сталь	σ_B , МПа	σ_T , МПа, не менее для толщины, мм				δ , %, не менее для толщины, мм			Изгиб на 180° для толщины не более 20 мм
		до 20	20-40	40-100	свыше 100	до 20	до 40	свыше 40	
Ст1Гпс	320-430	-	-	-	-	34	33	3I	$d = 0$
Ст2кп	330-420	220	210	200	190	33	32	30	
Ст2пс	340-440	230	220	210	200	32	3I	29	
Ст2Гсп	340-450	230	220	210	200	32	3I	29	
Ст3кп	370-470	240	230	220	200	27	25	24	$d = 0,5a$
Ст3пс	380-490	250	240	230	210	26	25	23	
Ст3Гпс	380-500	250	240	230	210	26	25	23	
Ст4кп	410-520	260	250	240	230	25	24	22	$d = 2a$
Ст4пс	420-540	270	260	250	240	24	23	2I	
Ст4Гпс	420-550	270	260	250	240	24	23	2I	
Ст5пс	500-640	290	280	270	260	20	19	17	$d = 3a$
Ст5сп									
Ст5Гпс	460-600	290	280	270	260	20	19	17	
Ст6пс	не менее								-
Ст6сп	600	320	310	300	300	15	14	12	

Примечание. a - толщина образца; d - диаметр оправки. При испытании на изгиб образцов толщиной более 20 мм диаметр оправки увеличивается на толщину образца.

Химический состав стали обыкновенного качества группы Б
(ГОСТ 380-88)

Сталь	Соержание, %		
	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>
БСт0	До 0,23	-	-
БСт1кп	0,06-0,12	0,25-0,50	До 0,05
БСт1пс	0,06-0,12	0,25-0,50	0,05-0,17
БСт1сп	0,06-0,12	0,25-0,50	0,12-0,30
БСт1Гпс	0,06-0,12	0,70-1,10	До 0,15
БСт2кп	0,09-0,15	0,25-0,50	До 0,07
БСт2пс	0,09-0,15	0,25-0,50	0,06-0,17
БСт2сп	0,09-0,15	0,25-0,50	0,12-0,30
БСт2Гпс	0,09-0,15	0,70-1,10	До 0,15
БСт3кп	0,14-0,22	0,30-0,60	До 0,07
БСт3пс	0,14-0,22	0,40-0,65	0,05-0,17
БСт3сп	0,14-0,22	0,40-0,65	0,12-0,30
БСт3Гпс	0,14-0,22	0,80-1,10	До 0,15
БСт4кп	0,18-0,27	0,40-0,70	До 0,07
БСт4пс	0,17-0,27	0,40-0,70	0,05-0,17
БСт4сп	0,18-0,27	0,40-0,70	0,12-0,30
БСт4Гпс	0,18-0,27	0,80-1,20	До 0,15
БСт5пс	0,28-0,37	0,50-0,80	0,05-0,17
БСт5сп	0,28-0,37	0,50-0,80	0,15-0,35
БСт5Гпс	0,22-0,30	0,80-1,20	До 0,15
БСт6пс	0,38-0,49	0,50-0,80	0,05-0,17
БСт6сп	0,38-0,49	0,50-0,80	0,15-0,35

П р и м е ч а н и е. Допускается не более 0,3% *Сu*, 0,3% *Ni*, 0,3% *Cz*, 0,08% *As*, 0,04% *P*, 0,05% *S*, в стали БСт0 не более 0,07% *P*, 0,06% *S*.

Т а б л и ц а 6

Нормируемые показатели для стали группы А
(ГОСТ 380-88)

Категория стали	Марки сталей всех степеней раскисления и с повышенным содержанием <i>Mn</i>	σ_B	σ_T	δ	Изгиб в холодном состоянии
1	Ст0 - Ст6	+	-	+	-
2	Ст0 - Ст6	+	-	+	+
3	Ст2 - Ст6	+	+	+	+

П р и м е ч а н и е. "+" - показатель нормируется,
"- " - показатель не нормируется.

Т а б л и ц а 7

Нормируемые показатели для стали группы Б
(ГОСТ 380-88)

Категория стали	Марки сталей всех степеней раскисления и с повышенным содержанием <i>Mn</i>	Содержание <i>C, Mn, Si, P, S, AS, Ni</i>	Содержание <i>Cz, Ni, Cu</i>
1	БСт0 - БСт6	+	-
2	БСт1 - БСт6	+	+

П р и м е ч а н и е. "+" - показатель нормируется,
"- " - показатель не нормируется.

Нормируемые показатели для стали группы В
(ГОСТ 380-88)

Марки стали всех степеней раскисления и с повышенным содержанием <i>Mn</i>							Ударная вязкость		
							при температуре		после механического старения
							+20	-20	
1	ВСт1 - ВСт5	+	+	-	+	+	-	-	-
2	ВСт2 - ВСт5	+	+	+	+	+	-	-	-
3	ВСт3 - ВСт4	+	+	+	+	+	+	-	-
4		+	+	+	+	+	-	+	-
5	ВСт3	+	+	+	+	+	-	+	+
6		+	+	+	+	+	-	-	+

Примечания: 1. Сталь категорий 3-6 поставляется полуспокойной и спокойной.

2. Знак "+" означает, что показатель нормируется.

3. Знак "-" означает, что показатель не нормируется.

2.3. Назначение (табл.9) и вид поставки (табл. 10)

Т а б л и ц а 9

Назначение углеродистых сталей обыкновенного качества

Марка стали	Назначение
Ст0	Для изготовления сварных строительных конструкций неотчетственного назначения из сортового, листового проката, угловой стали, двутавровых и швеллерных балок
Ст1, Ст2	Для изготовления сварных стальных конструкций, сортового и фасонного проката, анкерных болтов, жестких связей, арматуры. Для изготовления гнутых профилей для машиностроения и строительства
Ст3	Для изготовления строительных и мостовых ферм ответственного назначения из листового и сортового проката всех видов. В машиностроении для менее ответственных деталей втулок, вкладышей, рычагов, малонагруженных болтов и гаек, шайб, для цементируемых и цианируемых деталей
Ст4, Ст5	Для арматуры периодического профиля диаметром от 6 до 90 мм (Ст5); для фасонных и специальных профилей сельскохозяйственных машин. В машиностроении: для малонагруженных валов, звездочек, болтов, гаек, шайб, упоров подшипников и других деталей, применяемых в термически обработанном состоянии
Ст6	В машиностроении для деталей повышенной прочности: осей, валов, пальцев траков, шестерен, пальцев поршней и других деталей, применяемых в термически обработанном состоянии

Вид поставки конструкционной стали обыкновенного качества
общего назначения

Вид поставки	ГОСТы
Сортовой прокат, в том числе фасонный	ГОСТ 380-88 ГОСТ 2590-88, ГОСТ 2591-88, ГОСТ 2879-88, ГОСТ 19772-74, ГОСТ 535-88, ГОСТ 8278-83, ГОСТ 8281-80, ГОСТ 8283-77, ГОСТ 8509-86, ГОСТ 8510-86, ГОСТ 8240-72, ГОСТ 8239-72
Лист толстый	ГОСТ 19903-74
Лист тонкий	ГОСТ 19903-74
Лента	ГОСТ 503-81, ГОСТ 6009-74
Полоса	ГОСТ 103-76, ГОСТ 82-70, ГОСТ 535-88
Проволока	ГОСТ 3282-74, ГОСТ 17305-71
Трубы	ГОСТ 10705-80, ГОСТ 10706-76, ГОСТ 3262-75

3. СТАЛЬ УГЛЕРОДИСТАЯ КАЧЕСТВЕННАЯ

3.1. Химический состав и механические свойства

В углеродистой качественной стали (ГОСТ 1050-74) гарантируемыми характеристиками являются одновременно химический состав и механические свойства стали в нормализованном состоянии. Углеродистая качественная сталь должна также отвечать предусмотренным стандартом требованиям к макроструктуре.

По содержанию углерода, определяющему основные характеристики, вид термообработки и область применения, конструкционная углеродис-

тая сталь может быть подразделена на низкоуглеродистую с содержанием до 0,3% C, среднеуглеродистую с содержанием 0,3–0,5% C и с повышенным содержанием углерода – свыше 0,5% C.

Сталь низкоуглеродистая характеризуется относительно невысокой прочностью при большой пластичности и вязкости. Марки этой стали предназначаются для изготовления цементуемых изделий, которые по условиям работы должны иметь высокую поверхностную твердость и износостойчивость при сохранении вязкой сердцевинны, а также широко применяются для изделий, не подвергающихся термообработке. Все они хорошо куется и свариваются.

Сталь марок 05, 08, 10 характеризуется весьма высокой пластичностью и применяется для изготовления изделий гибом, глубокой вытяжкой. Для этих целей используется в основном кипящая сталь. Спокойная низкоуглеродистая сталь применяется в основном для цементуемых изделий. Использование для цементации кипящей стали, характеризующейся повышенной склонностью к ликвации, не рекомендуется.

Существенное повышение прочности для этих сталей достигается обработкой давлением (прокаткой, волочением). Нормализация повышает вязкие свойства.

Сталь среднеуглеродистая и с повышенным содержанием углерода характеризуется более высокой прочностью, относительно меньшей вязкостью, хорошей свариваемостью при 0,3–0,4% C, умеренной при 0,4–0,5% C и низкой при содержании выше 0,5% C. Сталь подвергается обычно улучшению, т.е. закалке с высоким отпуском. Этим видом термообработки достигается получение мелкозернистой сорбитной структуры и оптимальных для данного назначения стали механических свойств. Температура закалки определяется главным образом положением верхней критической точки стали A_{C3} (табл. II), температура отпуска – заданной твердостью. В табл. I2 приведен химический состав конструкционной углеродистой стали. Механические свойства даны в табл. I3.

Т а б л и ц а 11

Температура, °С, критических точек некоторых марок
углеродистой конструкционной стали

Сталь	$A_{с1}$	$A_{с3}$	Сталь	$A_{с1}$	$A_{с3}$
08	735	874	35	730	810
10	732	870	40	730	790
15	735	860	45	730	755
20	735	850	50	725	760
25	735	835	55	725	755
30	730	820	60	725	750

Т а б л и ц а 12

Химический состав сталей углеродистых качественных
конструкционных (ГОСТ 1050-74 и ГОСТ 14959-79)

Сталь	Содержание, %			
	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i> , не более
05КП	До 0,06	До 0,03	До 0,40	-
08КП	0,05-0,11	0,03	0,25-0,50	0,10
08ПС	0,05-0,11	0,05-0,17	0,35-0,65	0,10
08	0,05-0,12	0,17-0,37	0,35-0,65	0,10
10КП	0,07-0,14	до 0,07	0,25-0,50	0,15
10ПС	0,07-0,14	0,05-0,17	0,35-0,65	0,15
10	0,07-0,14	0,17-0,37	0,35-0,65	0,15
15КП	0,12-0,19	0,07	0,25-0,50	0,25
15ПС	0,12-0,19	0,05-0,17	0,35-0,65	0,25
15	0,12-0,19	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25
20КП	0,17-0,24	0,07	0,25-0,50	0,25
20ПС	0,17-0,24	0,05-0,17	0,35-0,65	0,25
20	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25
25	0,22-0,30	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
30	0,27-0,35	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
35	0,32-0,40	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25

Сталь	Содержание, %			
	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i> , не более
40	0,37-0,45	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
45	0,42-0,50	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
50	0,47-0,55	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
55	0,52-0,60	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
58 (55Ш)	0,55-0,63	0,10-0,30	до 0,2	0,15
60	0,57-0,65	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
65	0,62-0,70	0,17-0,37	0,50-0,80	до 0,25

Примечание. Допускается не более 0,040% *S* ;
0,035% *P* ; 0,25% *Ni* ; 0,25% *Cu* .

Таблица 13

Механические свойства сталей углеродистых качественных
конструкционных (ГОСТ 1050-74)

Сталь	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	ψ , %	KCV , кДж/м ²	Твердость НВ после отжига, не более
	не менее					
08	330	200	33	60	—	131
10	340	210	31	55	—	143
15	380	230	27	55	—	149
20	420	250	25	55	—	163
25	460	280	23	50	900	170
30	500	300	21	50	800	179*
35	540	320	20	45	700	207*
40	580	340	19	45	600	187
45	610	360	16	40	500	197
50	640	380	14	40	400	207
55	660	390	13	35	—	217

* Твердость горячекатаной стали.

3.2. Режимы термической обработки конструкционной стали

Для установления режима термообработки отправными данными являются требования чертежа детали, где должны быть указаны марка стали, глубина цементации, поверхностной закалки, требуемая твердость.

Детали обычно подвергаются предварительной термообработке с целью улучшения обрабатываемости, а затем окончательной термообработке для придания необходимых служебных свойств. По марке стали устанавливаются температура отжига, нормализации и закалки (в соответствии с критической точкой A_{c3}), тип охлаждающей среды при закалке, скорости охлаждения при отжиге и отпуске. Варианты схем термической обработки деталей в зависимости от назначения приведены в табл. I4.

Т а б л и ц а I4

Типовые схемы термообработки деталей из конструкционной стали

Группы	Схемы термообработки	Назначение
I	Отжиг Нормализация (с охлаждением на спокойном воздухе)	Для деталей из среднеуглеродистой стали с содержанием 0,15-0,45% С
II	Закалка - высокотемпературный отпуск Нормализация - высокотемпературный отпуск	Для деталей из среднеуглеродистой легированной и углеродистой стали с содержанием 0,38-0,50% С
III	Отжиг или нормализация - закалка - низкотемпературный отпуск Нормализация - высокотемпературный отпуск - закалка - низкотемпературный отпуск	То же
IV	Нормализация - цементация - закалка - низкотемпературный отпуск	Для деталей из низко- и среднеуглеродистой стали, подвергавшихся химико-термической обработке или поверхностной закалке

Группы	Схемы термообработки	Назначение
IV	<p>Нормализация - высокотемпературный отпуск - цементация - высокотемпературный отпуск - закалка - низкотемпературный отпуск</p> <p>Шлирование - закалка - низкотемпературный отпуск</p> <p>Нормализация (или улучшение) - азотирование</p> <p>Нормализация (или улучшение) - поверхностная закалка - низкотемпературный отпуск</p>	Для деталей из низко- и среднеуглеродистой стали, подвергающихся химико-термической обработке или поверхностной закалке

Предварительная термообработка предназначена для улучшения технологических свойств металла и улучшения механических свойств готовых изделий, которые не могут быть достигнуты только в результате одной окончательной термообработки.

Технологические задачи, которые решаются методами предварительной обработки, - это подготовка или получение такой структуры, которая обеспечивает лучшую обрабатываемость резанием или пластическим деформированием. Режимы предварительной термообработки приведены в табл. 15-16, а окончательной - в табл. 17-18.

Т а б л и ц а 15

Режимы предварительной термической обработки углеродистых конструкционных сталей, обеспечивающие оптимальную штампуемость

Марка стали	Режим термической обработки	Поперечное сужение, %, не менее
08КП	Отжиг 680°C, деформация с обжатием 10-30% и рекристаллизационный отжиг при температуре, °C:	
	600	80
	700	83

Марка стали	Режим термической обработки	Поперечное сужение, ψ , %, не менее
10КП	Отжиг при температуре, $^{\circ}\text{C}$: 640	70
	680	75
20КП	Отжиг 860°C , деформация с обжатием (10-20%) и рекристаллизационный отжиг при температуре, $^{\circ}\text{C}$: 600	67
	700	74
10	Отжиг на зернистый цементит при температуре, $^{\circ}\text{C}$: 660-670	66
	740-760	72
20	Нормализация при 780°C	72
35	Отжиг при $860+680+720^{\circ}\text{C}$	75
45	Отжиг при $850-870^{\circ}\text{C}$ + отжиг на зернистый цементит $680-700^{\circ}\text{C}$	60

Т а б л и ц а 16

Ориентировочные режимы предварительной термической обработки конструкционной углеродистой стали для улучшения обрабатываемости резанием

Марка стали	Операция термической обработки	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Способ охлаждения	Твердость, НВ
10	Нормализация	900-940	На воздухе	111-143
20	Нормализация	890-920		121-156
	Высокий отпуск	680-700		121-156
30	Нормализация	850-900		170-207
	Высокий отпуск	680-700		187-217
40	Нормализация	830-860		179-229
	Высокий отпуск	680-700		170-207
45	Нормализация	820-850		179-241
	Высокий отпуск	640-680		207-241

Марка стали	Операция термической обработки	Температура, °С	Способ охлаждения	Твердость, НВ
50	Нормализация	810-840		179-255
	Высокий отпуск	620-660		207-241

Т а б л и ц а 17

Режимы термической обработки изделий из конструкционных углеродистых цементируемых марок стали

Марка стали	Операция	Температура нагрева, °С
10	Цементация	900-920
	Закалка в воде	780-800
	Отпуск	180-200
15	Цементация	900-920
	Закалка в воде	760-780
	Отпуск	160-200
20	Цементация	900-920
	Закалка в воде	780-800
	Отпуск	180-200

Режимы термообработки и твердость углеродистых конструкционных сталей
после закалки и отпуска

Марка стали	Режим закалки		Твердость после закалки, HRC	Твердость HRC после отпуска при темпера- туре, °C				
	темпера- тура	охлажда- ющая среда		200	300	400	500	600
20	900-920		34-40	32-36	28-32	22-26	14-18	10-15
30	870-890		42-48	40-44	34-38	28-32	20-24	14-18
40	840-860	Вода	48-51	45-50	40-44	32-36	24-28	20-24
50	820-860		54-60	52-56	46-50	38-42	30-34	24-28
60	800-820		60-62	58-60	52-54	44-48	36-40	30-38

3.3. Назначение (табл. 19) и вид поставки (табл. 20)

Т а б л и ц а 19

Назначение конструкционных углеродистых качественных сталей

Марка стали	Назначение
С5КП, 08КП, 15КП, 20КП	Применяются для холодной штамповки, обладают высокими пластическими свойствами при деформации в холодном состоянии. Поставляются в виде листов, ленты, прутков, проволоки
08	Детали, к которым предъявляются требования высокой пластичности: шайбы, патрубки, прокладки и другие неотчетственные детали, работающие в интервале температур от -40 до 450°C
10, 15, 20	Детали, имеющие после химико-термической обработки высокую поверхностную твердость с невысокой прочностью сердцевины (штулки, шайбы, диафрагмы и т.д.). При нормализации без термообработки муфты, вкладыши подшипников и другие детали, работающие при температуре от -40 до $+450^{\circ}\text{C}$ под давлением
25	Оси, валы, соединительные муфты, рычаги, вилки, шайбы, валики, крепежные детали, после ХТО – детали, к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости и износостойкости при невысокой прочности сердцевины
30, 35	Детали, подвергаемые улучшению и используемые без термообработки. Характеризуются сочетанием значительной прочности и относительно высокой вязкости. Тяги, серьги, рычаги, валы, звездочки, шпинделя, цилиндры прессов, соединительные муфты и др. Для цементуемых деталей применяются в тех случаях, когда требуется обеспечить более высокую прочность в сердцевине изделий

Марка стали	Назначение
40	Детали, несущие более значительную нагрузку. Применяются после улучшения - коленчатые валы, шатуны, зубчатые венцы, маховики, болты, оси. После поверхностного упрочнения с нагревом ТВЧ - детали средних размеров, которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости и повышенной износостойкости (длинные валы, зубчатые колеса и др.)
45, 50	Детали с высокой прочностью и твердостью при удовлетворительной вязкости после улучшения. Вал-шестерни, коленчатые и распределительные валы, шестерни, шпиндели, бандажи, цилиндры и др.

Т а б л и ц а 20

Вид поставки стали конструкционной, углеродистой
качественной

Вид поставки	ГОСТы
Сортовой прокат, в том числе фасонный	ГОСТ 2590-88, ГОСТ 2591-88, ГОСТ 2879-88, ГОСТ 8509-86, ГОСТ 8510-86, ГОСТ 1050-74, ГОСТ 8240-72, ГОСТ 8239-72, ГОСТ 10702-78
Калиброванный пруток	ГОСТ 7417-75, ГОСТ 8560-78, ГОСТ 8559-75, ГОСТ 10702-78
Шлифованный прутки и серебрянка	ГОСТ 10702-78, ГОСТ 14855-77
Лист толстый	ГОСТ 1577-81, ГОСТ 19903-74, ГОСТ 4041-71
Лист тонкий	ГОСТ 16523-70
Лента	ГОСТ 6009-74, ГОСТ 10234-77, ГОСТ 2284-79
Полоса	ГОСТ 103-76, ГОСТ 82-70, ГОСТ 1577-81
Проволока	ГОСТ 5663-79, ГОСТ 10702-78, ГОСТ 17305-71

Вид поставки	ГОСТы
Трубы	ГОСТ 10704-76, ГОСТ 10705-80, ГОСТ 8734-75, ГОСТ 8731-87, ГОСТ 8732-78, ГОСТ 8733-87, ГОСТ 21729-76
Поковки и кованые заготовки	ГОСТ 1133-71, ГОСТ 8479-70

4. СТАЛИ КОНСТРУКЦИОННЫЕ, КАЧЕСТВЕННЫЕ, ЛЕГИРОВАННЫЕ

4.1. Классификация, химический состав, маркировка

Конструкционные качественные легированные стали применяются для изготовления высоконагруженных деталей, так как они после термообработки обладают более высокими механическими свойствами по сравнению с углеродистыми конструкционными сталями.

Легированные элементы вводятся в сталь для придания ей определенных физико-механических свойств. К этим элементам относятся хром, никель, молибден, вольфрам, титан, кремний, марганец, медь, бор и др.

В зависимости от способа выплавки легированные стали подразделяют на качественные и высококачественные. Качественная сталь выплавляется в мартеновских печах, высококачественная - в электропечах.

Высококачественная сталь обозначается буквой А в конце марки и отличается меньшим содержанием серы и фосфора ($S < 0,03\%$, $P < 0,03\%$).

Согласно ГОСТу каждый легирующий элемент, вводимый в сталь, обозначается буквой:

Н - никель	М - молибден
Х - хром	Т - титан
С - кремний	Ю - алюминий
Г - марганец	В - вольфрам
Ф - ванадий	Р - бор.

Химический состав стали легированной, конструкционной (ГОСТ 4543-71)

Сталь	Содержание, %									
	C	S _с	Mn	Cr	Ni	Mo	Ag	T ₂	V	
15X	0,12-0,18	0,17-0,37	0,40-0,70	0,70-1,0						
15XA	0,12-0,17	0,17-0,37	0,40-0,70	0,70-1,0						
20X	0,17-0,23	0,17-0,37	0,50-0,80	0,70-1,0						
40X	0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,1						
15Г	0,12-0,19	0,17-0,37	0,70-1,00							
20Г	0,17-0,24	0,17-0,37	0,70-1,00							
25Г	0,22-0,30	0,17-0,37	0,70-1,00							
50Г	0,48-0,56	0,17-0,37	0,70-1,00							
50Г2	0,46-0,55	0,17-0,37	1,40-1,80							
18ХГ	0,15-0,21	0,17-0,37	0,90-1,20	0,90-1,2						
18ХГТ	0,17-0,23	0,17-0,37	0,80-1,10	1,00-1,3			0,03-0,09			
20ХГ	0,18-0,24	0,17-0,37	0,70-1,00	0,75-1,05					0,03-0,09	
30ХГ	0,24-0,32	0,17-0,37	0,80-1,10	1,00-1,3					0,03-0,09	
40ХГП	0,38-0,45	0,17-0,37	0,70-1,00	0,80-1,1						
25ХМ	0,23-0,29	0,17-0,37	0,90-1,20	0,90-1,2	0,20-0,30					
20ХМ	0,15-0,25	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,1	0,15-0,25					
30ХМ	0,26-0,34	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,1	0,15-0,25					
30ХМА	0,26-0,33	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,1	0,15-0,25					
40ХМФА	0,37-0,44	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,1	0,20-0,30				0,10-0,18	
15ХФ	0,12-0,18	0,17-0,37	0,40-0,70	0,80-1,1					0,06-0,12	
40ХФА	0,37-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,1					0,10-0,18	

Сталь	Содержание, %								Mn	P	S
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	V			
20Х2М	0,17-0,25	0,17-0,37	0,40-0,70	-	1,50-1,90	0,20-0,30					
20ХН	0,17-0,23	0,17-0,37	0,40-0,70	0,45-0,75	1,00-1,40						
40ХН	0,35-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,45-0,75	1,00-1,40						
50ХН	0,45-0,54	0,17-0,37	0,50-0,80	0,45-0,75	1,00-1,40						
20ХНР	0,16-0,23	0,17-0,37	0,60-0,90	0,70-1,10	0,80-1,10						
12ХНФА	0,09-0,16	0,17-0,37	0,30-0,60	0,60-0,90	2,75-3,15						
30ХНЗА	0,27-0,33	0,17-0,37	0,30-0,60	0,60-0,90	2,75-3,15						
12ХН4А	0,09-0,15	0,17-0,37	0,30-0,60	1,25-1,65	3,25-3,85						
20ХН4А	0,16-0,22	0,17-0,37	0,30-0,60	1,25-1,65	3,25-3,65						
30ХТРА	0,28-0,34	0,90-1,20	0,80-1,10	0,80-1,10	-						
30Х1ТОН2А	0,27-0,34	0,90-1,20	1,00-1,30	0,90-1,20	1,40-1,80						
20Х1ТТР	0,18-0,24	0,17-0,37	0,80-1,10	0,40-0,70	0,40-0,70				0,03-0,09		
38Х1П	0,35-0,43	0,17-0,37	0,80-1,10	0,50-0,80	0,70-1,00						
30ХН2МА	0,27-0,34	0,17-0,37	0,30-0,60	0,60-0,90	1,25-1,65	0,20-0,30					
40ХН2МА	0,37-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,60-0,90	1,25-1,65	0,15-0,25					
18ХН2Н4МА	0,14-0,20	0,17-0,37	0,25-0,55	1,55-1,65	4,00-4,40	0,30-0,40					
25ХН2Н4МА	0,21-0,28	0,17-0,37	0,25-0,55	1,55-1,65	4,00-4,40	0,30-0,40					
30ХН2МФА	0,27-0,34	0,17-0,37	0,30-0,60	0,60-0,90	2,00-2,40	0,20-0,30					0,10-0,18
38ХН3МФА	0,38-0,40	0,17-0,37	0,25-0,50	1,20-1,50	3,00-3,50	0,35-0,45					0,10-0,18
20ХН4ФА	0,17-0,24	0,17-0,37	0,25-0,55	0,70-1,10	3,75-4,15	-					0,10-0,18
38Х2МФА	0,35-0,43	0,20-0,45	0,30-0,60	1,35-1,65	-	0,15-0,25				0,70-1,10	-

Примечание. В сталь, содержащую в обозначении марки букву Р, бор вводится по расчету в количестве не более 0,005%, остаточное количество его в стали должно быть не менее 0,0010%.

В обозначении марки первые две цифры указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Цифры, стоящие после букв, указывают примерное содержание легирующего элемента в целых единицах. Отсутствие цифры означает, что содержание этого элемента до 1,5% (по верхнему пределу).

Положительное влияние специальных элементов на свойства стали объясняется тем, что эти элементы изменяют температуру превращений, изменяют свойства твердого раствора и образуют карбидные и интерметаллические соединения, тем самым изменяя структуру стали и характер внутренних превращений при термической обработке.

Химический состав легированной конструкционной стали приведен в табл. 21.

4.2. Термообработка и механические свойства

Режимы термической обработки (определяются по различным схемам в соответствии с табл. 13) и механические свойства после термообработки приведены в табл. 22-27.

Т а б л и ц а 22

Ориентировочные режимы предварительной термической обработки легированной конструкционной стали

Марка стали	Операция термической обработки	Температура, °С	Способ охлаждения	Твердость, HB
15Г	Нормализация	900-930	На воздухе	163-207
	Высокий отпуск	680-700		-
50Г	Нормализация	820-840	На воздухе	187-255
	Высокий отпуск	680-700	На воздухе	-
	Отжиг	840-870	С печью	179-229
50Г2	Нормализация	820-850	На воздухе	207-255
	Высокий отпуск	680-700	На воздухе	-
	Отжиг	810-830	С печью	187-229
15Х	Нормализация	870-900	На воздухе	131-163
	Высокий отпуск	680-700	На воздухе	187-229
	Отжиг	800-870	С печью	131-156

Марка стали	Операция термической обработки	Температура, °С	Способ охлаждения	Твердость, НВ
20Х	Нормализация	870-900	На воздухе	156-187
	Высокий отжиг	680-700	На воздухе	-
	Отжиг	860-870	С печью	143-179
40Х	Нормализация	850-860	На воздухе	187-229
	Высокий отжиг	620-680	На воздухе	197-241
	Отжиг	830-850	С печью	170-207
20ХН	Нормализация	870-900	На воздухе	187-229
	Отжиг	860-880	С печью	170-207
40ХН	Нормализация	840-860	На воздухе	207-255
	Отжиг	800-830	Медленное	187-241
50ХН	Нормализация	800-820	На воздухе	217-269
18ХГ	Нормализация	850-860	На воздухе	207-241
	Отжиг	840-860	С печью	170-207
30ХМ	Нормализация	840-860	На воздухе	207-255
	Отжиг	830-850	Медленное	187-229
15ХФ	Нормализация	860-880	На воздухе	156-187
40ХФА	Нормализация	870-890	На воздухе	197-241
	Закалка	870-890	В масле	-
	Высокий отпуск	630-660	В воде	229-255
	Отжиг	830-850	Медленное	187-229
30ХГС	Закалка	860-880	В масле	-
	Высокий отпуск	640-670	На воздухе	217-241
12ХНЗА	Нормализация	860-890	На воздухе	156-229
40ХН	Закалка	850-880	В масле	-
	Высокий отпуск	650-670	На воздухе	207-229
12Х2Н4А	Нормализация	860-890	На воздухе	187-241
	Высокий отпуск	640-660		207-255
20Х2Н4А	Нормализация	860-890		-
	Высокий отпуск	640-650	На воздухе	229-269

Марка стали	Операция термической обработки	Температура, °С	Способ охлаждения	Твердость, НВ
18Х1Т	Нормализация	900-930	На воздухе	187-229
	Высокий отпуск	670-700		-
18Х2Н4МА	Нормализация	850-870	На воздухе	197-269
	Высокий отпуск	650-670		-
38Х2МСА	Закалка	930-950	В масле	-
	Высокий отпуск	650-675	На воздухе	187-229
40ХФА	Отжиг	800-820	С печью	187-241

Механические свойства легированных сталей после термической обработки
(ГОСТ 4543-71)

Сталь	I-я закатка или нормализация	2-я закатка	Средняя охлаждающая	Отпуск, °С	Средняя охлаждающая	не менее				Размеры сечения заготовки, мм
						ВТ, МПа	σ, %	ψ, %	КСУ, Кривая	
15Х	800	770-820	Вода или масло	180	Воздух или масло	500	12	45	700	15
15ХА	880	770-820	То же	180	То же	650	11	40	600	15
20Х	880	-	Воздух	-	-	250	26	55	-	25
15Г	880	-	"	-	-	280	24	50	-	25
20Г	880	-	"	-	-	300	22	50	900	25
25Г	880	-	Вода	560	Воздух	400	13	40	400	25
50Г	850	-	"	600	"	430	11	35	-	25
50Г2	840	-	Масло или воздух	650	"	750	10	40	-	15
18ХГ	880	-	Масло	200	"	900	9	50	800	-
18ХГТ	880-950	870	"	200	"	1000	9	50	800	15
20ХГТ	890	-	"	200	"	800	10	50	800	-
30ХГТ	880-950	850	"	200	Вода или масло	1300	10	50	700	-
40ХГТФ	840	-	"	550	То же	800	11	45	800	25
25ХГМ	860	-	"	200	Воздух	1100	10	45	800	-
20ХМ	880	-	Вода или масло	500	"	280	21	55	1200	30
30ХМ	880	-	Масло	540	Вода или масло	750	11	45	800	15

Сталь	I-я заказка и.л. нормали- зация	2-я заказка	Средняя охлажде- ния	Отпуск, °С	Средняя охлажде- ния	Средняя охлажде- ния	не менее				Разме- ры се- чения
							Бт, МПа	Фв, МПа	δ, %	ψ, %	
30ХМА	860	-	Масло	540	Вода или масло	750	950	12	50	900	15
40ХМФА	860	-	"	580	Масло	950	1050	13	50	900	25
15ХГ	880	760-810	Вода или масло	180	Воздух или Масло	550	750	13	50	800	15
40ХГА	880	-	Масло	650	Вода или масло	750	900	10	50	900	25
20Н2М	860	-	-	180	Воздух	700	900	10	50	800	15
20ХН	860	760-810	Вода или масло	180	Вода или масло	600	800	14	50	800	15
40ХН	820	-	То же	500	То же	900	1000	11	45	700	25
50ХН	820	-	-	530	"	900	1100	9	40	500	25
20ХНГ	930-950	780-830	Масло	200	Воздух или Масло	1000	1200	10	50	900	15
12ХН3А	860	760-810	Вода или масло	180	Воздух или Масло	700	950	11	55	900	15
30ХН3А	820	-	То же	530	Вода или масло	800	1000	10	50	800	25
12Х2Н4А	860	760-800	"	180	То же	950	1150	10	50	900	15
20Х2Н4А	860	780	"	180	"	1100	1300	9	45	800	15
30ХГСА	880	-	Масло	540	"	850	1100	10	45	500	25
30ХГХ2А	900	-	"	260	Воздух	1400	1650	9	45	600	-

Окончание табл. 23

Сталь	I-я заварка или нормаль-зация	2-я заварка	Среда охлаждения	Отпуск, °С	Среда охлаждения	Средн. охлажде-ния	Ср., МПа	σ _в , МПа	ψ, %	KCU, КДж/м ²	Разме-ры се-чения загото-вок, мм	
												не менее
20Х1Н1Р	-	850	Масло	200	Масло	Масло	1000	1200	9	50	800	15
38Х1Н	850	-	" "	570	" "	Вода	700	800	12	45	1000	25
30ХН2МА	860	-	" "	530	" "	Воздух	800	1000	10	45	800	15
40ХН2МА	850	-	" "	620	" "	Вода	950	1100	12	50	800	25
18Х2Н4МА	950	860	Воздух	200	Воздух	Воздух	850	1150	12	50	1000	15
25Х2Н4МА	850	-	Масло	560	" "	" "	950	1100	11	45	900	25
30ХН2МФА	860	-	" "	680	" "	" "	800	900	10	40	900	25
38ХН3МФА	850	-	" "	600	" "	" "	1100	1200	12	50	800	25
20ХН4ФА	850	-	" "	630	" "	Вода	700	900	12	50	1000	25
38Х2МФА	940	-	Вода или масло	640	" "	" "	850	1000	14	50	900	30

Режимы термической обработки изделий из конструкционных
цементируемых марок и сталей

Марка стали	Операция	Температура нагрева, °С
15Г	Цементация	880-900
	Закалка в масле	780-800
	Отпуск	180-200
20Г	Цементация	880-900
	Закалка в масле	780-800
	Отпуск	180-200
15Х	Цементация	900-920
	Закалка в масле	790-820
	Отпуск	150-180
18ХГ	Цементация	880-900
	Закалка в масле	800-820
	Отпуск	180-200
15ХФ	Цементация	920-940
	Закалка в масле	850-860
	Отпуск	180-200
20ХГР	Цементация	900-930
	Закалка в масле	830-850
	Отпуск	180-200
18ХГТ	Цементация	900-920
	Закалка в масле	800-820
	Отпуск	180-200
18Х2Н4МА	Цементация	900-920
	Закалка в масле	850-870
	Отпуск	180-200
12ХН3А	Цементация	900-920
	Закалка в масле	790-800
	Отпуск	180-200

Марка стали	Операция	Температура нагрева, °С
12Х2Н4А	Цементация	900-920
	Закалка в масле	780-800
	Отпуск	180-200
20Х2Н4А	Цементация	920-930
	Закалка в масле	780-800
	Отпуск	150-160

Т а б л и ц а 25

Зависимость твердости закаленной легированной стали от температуры отпуска

Марка стали	Температура отпуска, °С	Твердость	Примечания
40Х	200	<i>HВ</i> 552	Закалка с 850°С в воде. Охлаждение после отпуска в воде
	300	<i>HВ</i> 498	
	400	<i>HВ</i> 417	
	500	<i>HВ</i> 326	
	600	<i>HВ</i> 265	
	700	<i>HВ</i> 226	
20ХГР	200	<i>HRC</i> 45	Закалка с 860°С в масле. Охлаждение после отпуска в масле
	300	<i>HRC</i> 45	
	400	<i>HRC</i> 41	
	500	<i>HRC</i> 31	
	600	<i>HRC</i> 25	
12ХН3А	200	<i>HВ</i> 400	Закалка с 860°С в масле
	300	<i>HВ</i> 380	
	400	<i>HВ</i> 375	
	500	<i>HВ</i> 280	
	600	<i>HВ</i> 230	
30ХГСА	540	<i>HВ</i> 255	Закалка с 870°С в масле. Охлаждение после отпуска в воде или масле
	560	<i>HВ</i> 241	

Марка стали	Температура отпуска, °С	Твердость	Примечания
20ХГТР	200	HRC 45	Закалка с 860°С в масле. Охлаждение после отпуска в масле
	300	HRC 45	
	400	HRC 41	
	500	HRC 31	
	600	HRC 25	
40ХН2МА	200	HB 525	Закалка с 850°С в масле
	300	HB 475	
	400	HB 420	
	500	HB 350	
	600	HB 275	
40ХФА	100	HRC 51-54	Закалка с 850°С в масле
	200	HRC 49-51	
	300	HRC 47-48	
	450	HRC 44-46	
	500	HRC 41-42	

Т а б л и ц а 26

Прокаливаемость некоторых марок конструкционных легированных сталей

Марка стали	Критический диаметр, мм	
	Охлаждение в воде	Охлаждение в масле
20Х	12-28	3-9
20Г	8	-
50Г	25-33	13-20
18ХГТ	23-48	6-24
20ХГР	38-68	16-40
30ХГТ	12-47	4-24
40ХГТР	-	45-100
30ХМ	30-55	20-35
30ХМА	19-32	11-20

Марка стали	Критический диаметр, мм	
	Охлаждение в воде	Охлаждение в масле
15ХФ	-	12
40ХФА	33-55	20-35
20ХН	23-34	6-14
40ХХН	25-40	12-25
50ХН	-	50
20ХНР	-	38
12ХНЗА	18-29	10-17
30ХНЗА	40	20
12Х2Н4А	30-100	18-80
30ХГСА	40-68	18-40
30ХН2МА	-	75
40ХН2МА	137-150	100-114
30ХН2МФА	60	60
38ХН3МФА	-	150
38Х2МЮА	70	45

Т а б л и ц а 27

Ударная вязкость KCU , Дж/см², некоторых марок сталей при отрицательных температурах

Марка стали	Режим термообработки	Температура, °С			
		+20	-20	-40	-60
15Х	3 + Н0	98		61	
20Х	3 + 0	280-286	280-289	277-287	261-274
20Г	3 + В0	169	139	122	113-118
50Г	3 + В0	63	-	45	39 (при -50)
18ХГТ	3 + В0	114	101	93	85
20ХГР	3 + В0	125	110	120	117
30ХГТ	3 + Н0	61	57	56	54
30ХМ	3 + В0	-	147	-	108
40ХФА	3 + В0	92	61	-	55 (при -70)

Марка стали	Режим термообработки	Температура, °С			
		+20	-20	-40	-60
20Н2М	3 + В0	158	-	84	63 (при -70)
20ХН	3 + В0	8I-89	62	-	43 (при -50)
40ХН	3 + В0	II6	II6	93	80
50ХН	Нормализация	-	I6-43	-	8-22
20ХНР	3 + В0	I25	II0	I20	II7
I2ХН3А	3 + Н0	I27	-	I03	-
30ХН3А	3 + В0	I92	-	I82	I79
I2Х2Н4А	3 + Н0	I02	-	9I	-
20Х2Н4А	3 + В0	I47	I47	I57	-
30ХГСА	3 + В0	69	55	4I	35
30ХГСН2А	3 + В0	220	I20	-	80
38ХГН	3 + В0	I78	I69	I27	92
40ХН2МА	3 + В0	I03	-	93	59
I8Х2Н4МА	3 + Н0	I43	I34	130	II4
30ХН2МФА	3 + В0	82	-	70	6I
38ХН3МФА	3 + В0	90	85	78	70
20ХМ4ФА	3 + В0	II6	82	70	60

4.3. Назначение (табл. 28) и вид поставки (табл. 29)

Т а б л и ц а 28

Назначение конструкционной легированной стали

Марка стали	Назначение
I5X, I5XA, 20X	Для цементируемых деталей, работающих на трение и требующих повышенной по сравнению с углеродистой сталью прочности сердцевин (поршневые пальцы, толкатели клапанов и другие детали моторов сечением до 30 мм, подвергаемые цементации и цианированию). Сталь 20X применяется так же, как улучшаемая сталь

Марка стали	Назначение
15Г, 20Г	Для цементуемых и цинкируемых деталей, от которых требуется высокая твердость поверхности и невысокая прочность сердцевины (фрикционные диски, поршневые пальцы, пальцы рессор, кулачковые валики, малоответственные зубчатые колеса). Для термически неупрочняемых осей, втулок, вкладышей, для штампованных и сварных деталей с невысокой прочностью. Для заклепок ответственных деталей и конструкций
15ХФ, 20ХФ	Для не крупных деталей (в связи с небольшой прокаливаемостью), подвергаемых цементации и закалке с низким отпуском (зубчатые колеса, поршневые пальцы и т.д.). Стали мало склонны к росту зерна при нагреве
18ХГ	Для цементуемых деталей небольших сечений, работающих на трение. Может применяться в качестве улучшаемой
20ХН	Для деталей, от которых требуется повышенная прочность, вязкость, прокаливаемость: зубчатых колес, поршневых пальцев, шлицевых валов, шпонок, деталей крепежа. Применяется как после цементации, так и после закалки и отпуска
12ХНЗА	Для цементуемых и цинкируемых деталей с высокой прочностью, пластичностью, вязкостью и поверхностной твердостью (зубчатые колеса, поршневые пальцы, оси, ролики)
12Х2Н4А, 20Х2Н4А	Для крупных деталей с высокой прочностью, пластичностью, вязкостью и твердостью при хорошей прокаливаемости (ответственные зубчатые колеса, валы, ролики, поршневые пальцы)
18Х2Н4ВА	В цементуемом состоянии — для крупных сильно нагруженных деталей с большой поверхностной твердостью: коленчатых валов с цементуемыми шейками, головок шатунов с цементуемой поверхностью, зубчатых ко-

Марка стали	Назначение
	лес и т.д. В улучшенном состоянии - для коленчатых валов, валов редукторов, шатунов, особо нагруженных рессор, силовых болтов, шпилек
18ХГТ	Для зубчатых колес автомобилей (коробка передач)
25ХМ, 30ХГТ	Для зубчатых колес грузовых автомобилей, валов коробки передач, зубчатых колес главных передач, для цилиндрических и конических зубчатых колес редукторов заднего моста грузовых автомобилей и автобусов
20ХГР	Для нагруженных зубчатых колес и деталей ответственного назначения. Обрабатывается и сваривается удовлетворительно
20ХНР	Для ответственных деталей небольших размеров, от которых требуются повышенная прочность и вязкость (болты, силовые шпильки, валики, втулки и коромысла, зубчатые колеса, поршневые пальцы и др.)
40Х, 40ХН 50ХН	зубчатые колеса, пальцы, втулки. Валы, муфты, зубчатые колеса, шестеренные валы. Шестеренные валы, зубчатые колеса, бандажные валки для горячей прокатки
25Г	Для рычагов сцепления, вилок переключения передач, тяг рулевого управления, тормозных педалей и др.
30Г	Для втулок подшипников, зубчатых ободов колес, обода маховика, рессор, шлицевых и шестеренных валов
50Г2	Для карданных валов, зубчатых колес, червяков, шестеренных валов, плоских спиральных пружин, деталей, работающих в условиях трения при повышенных нагрузках

Марка стали	Назначение
30ХГСА	Для тормозных лент моторов, фланцев, корпусов, обшивки, лопаток компрессорных машин, работающих при температурах до 150–200°С в условиях значительных нагрузок. Для крупных и мелких деталей, подвергаемых закалке и низкому или высокому отпуску, для деталей, работающих в условиях износа, для ответственных сварных конструкций
30ХМ, 30ХМА	Для крепежных деталей турбин и паропроводов, работающих при температурах до 450–460°С. Обладают высокой прочностью и вязкостью. Применяются обычно после закалки и отпуска. Эти стали обладают удовлетворительной прокаливаемостью. Благодаря хорошей свариваемости они применяются для сварных конструкций
40ХФА	Для ответственных деталей небольшого сечения: валики, оси, втулки, зубчатые колеса. Применяется после закалки, отпуска и азотирования
30ХНЗА	Для крупных ответственных изделий, подвергаемых закалке и высокому отпуску (валы, червяки, цилиндры). Прокаливается в очень больших сечениях
30ХГСНЗА	Для ответственных тяжело нагруженных деталей с высокой прочностью. Применяется после низкого и среднего отпуска
38ХНЗМФА	Для наиболее ответственных деталей турбин и компрессорных машин, которые требуют материала особой прочности в крупных сечениях (поковки валов и цельнокованных роторов турбин, работающих при температурах до 400°С, диски, валы и крышки высоконапряженных турбовоздуходувных машин). Сталь применяется в улучшенном состоянии
38Х2МФА	Для ответственных деталей турбино- и моторостроения, упрочняемых азотированием: штоков клапанов

Марка стали	Назначение
	паровых турбин, работающих при температуре до 450 ⁰ С, гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания; рессор, втулок, тарелок букс, пальцев, зубчатых колес, шпинделей, валов, различных деталей сложной конфигурации, от которых требуется повышенная твердость поверхности, износостойкость, повышенный предел выносливости при минимальной доводке в процессе термообработки
40ХГТР	Для ответственных деталей, работающих в условиях трения и повышенных нагрузок (оси, рычаги). Сваривается плохо
30ХН2МА	Для ответственных деталей машин, подвергаемых улучшению: валов, шатунов, болтов, шпилек. Сталь обладает достаточной прочностью, вязкостью, прокаливаемостью
40ХН2МА	Для коленчатых валов, шатунов, болтов, шпилек. Сталь обладает достаточной прочностью, вязкостью и прокаливаемостью
25ХН4МА	Для высокоответственных деталей машин, обладающих высокой прочностью, вязкостью и очень хорошей прокаливаемостью. Подвергается термическому улучшению. Обработывается трудно, сваривается удовлетворительно
30ХН2МФА	Для ответственных деталей больших сечений, особенно для деталей, работающих при повышенных температурах (до 400 ⁰ С) дисков, валов и роторов турбин, деталей редукторов, болтов, шпилек

Вид поставки стали конструкционной качественной легированной

Вид поставки	ГОСТы
Сортовой прокат, в том числе фасонный	ГОСТ 4543-71, ГОСТ 2590-88, ГОСТ 2591-88, ГОСТ 10702-78, ГОСТ 2879-69
Калиброванный пруток	ГОСТ 8559-75, ГОСТ 8560-78, ГОСТ 7417-75, ГОСТ 1050-73, ГОСТ 1051-73
Шлифованный прутки и серебрянка	ГОСТ 14955-77
Лист толстый	ГОСТ 1577-81, ГОСТ 19903-74
Полоса	ГОСТ 82-70, ГОСТ 103-76, ГОСТ 1577-81
Поковка и кованные заготовки	ГОСТ 1133-71, ГОСТ 8479-70
Трубы	ГОСТ 8731-87, ГОСТ 8732-78, ГОСТ 8733-87, ГОСТ 8734-75, ГОСТ 13663-86, ГОСТ 21729-76, ГОСТ 9567-75
Лист тонкий	ГОСТ 11268-76

Библиографический список

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986, 544 с.
2. Металловедение и термическая обработка стали: Справочник. В 3-х т. Т. II: Основы термической обработки. М.: Металлургия, 1983. 368 с.
3. Термическая обработка в машиностроении: Справочник. М.: Машиностроение, 1980. 783 с.
4. Фиргер И.В. Термическая обработка сплавов: Справочник. Л.: Машиностроение, 1982. 304 с.
5. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. М.: Машиностроение, 1985. Т. I. 568 с.
6. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.
7. Журавлев В.Н., Николаева О.П. Машиностроительные стали: Справочник. М.: Машиностроение, 1968. 332 с.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕРМООБРАБОТКА
КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Составитель М е л ь н и к о в Алексей Александрович

Редактор Т.К.К р е т и н и н а
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор Н.С.К у п р и я н о в а

Подписано в печать 18.12.90* Формат 60x84^I/16
Бумага оберточная. Печать офсетная. Усл.печ.л. 2,6.
Усл.кр.-отт. 2,7. Уч.-изд.л. 2,5. Тираж 400 экз.
Заказ № 1509. Бесплатно

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева.
443086. г. Куйбышев, Московское шоссе, 34.

Типография им. В.П.Мяги Куйбышевского полиграфического
объединения. 443099. г. Куйбышев, ул. Венцака, 60.