

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

**КЛАССИФИКАЦИЯ, НАЗНАЧЕНИЕ,
МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Новосибирск 2020

УДК 621.9

ББК 34.5

Кафедра надежности и ремонта машин

Составители: *Е.В. Агафонова*, ст. преп.
Ю.Б. Куроедов, канд. техн. наук, доц.
В.В. Коноводов, канд. техн. наук, доц.

Рецензент: *П. И. Федюнин*, канд. техн. наук, доц.

Классификация, назначение, маркировка сталей и чугунов: учебно-методическое пособие /Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; Сост.: Е.В.Агафонова, Ю.Б. Куроедов, В.В.Коноводо,. – Новосибирск, 2020. – 35 с.

В учебно-методическом пособии приведены классификация сталей и чугунов, их маркировка, химический состав и механические свойства, указаны назначение и возможное применение для деталей машин.

Предназначены для студентов Инженерного Института, обучающихся по направлениям подготовки Агроинженерия, Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, Технология транспортных процессов, Профессиональное обучение (по отраслям).

Утверждено и рекомендовано к изданию методическим советом Инженерного института НГАУ (протокол №7 от 1 марта 2020г.).

© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2020
© Инженерный институт, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Выбор материалов для деталей машин и конструкций определяется эксплуатационными, технологическими и экономическими требованиями. Эксплуатационные требования к материалам чаще играют определяющую роль. Технологические и экономические требования имеют особое значение при массовом производстве.

Предметом рассмотрения являются углеродистые, легированные стали и чугуны. Они систематизированы по химическому составу, механическим и эксплуатационным свойствам.

При выборе материалов для деталей машин и различных конструкций важно знать принципы их маркировки.

Приведенная классификация материалов, их маркировка, справочные данные по химическому составу и механическим свойствам помогут понять суть сталей и чугунов и возможность их применения.

I. УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

Сталь – основной металлический материал, широко применяемый для деталей машин, инструментов, строительных конструкции и трубопроводов. Использование сталей обусловлено универсальным комплексом механических, физико-химических и технологических свойств.

Сталь – сплав железа с углеродом. Максимальное значение углерода в стали – 2,14%. В химический состав углеродистой стали входят марганец, кремний, сера, фосфор и газы – кислород, водород, азот. В структуре сталей отсутствует эвтектика (ледебурит), поэтому они обладают высокой пластичностью, хорошо деформируются.

Углеродистые стали выплавляют в мартеновских печах, конверторах и электрических печах. Лучшими свойствами обладает электросталь (ограничены вредные примеси серы и фосфора, неметаллические включения, газы).

Углерод в сплавах после охлаждения находится в составе феррита и цементита. Феррит содержит мало углерода. С увеличением концентрации углерода в сплавах возрастает количество цементита: при 0,8% углерода его доля составляет 12%, при 2,0% – 30%, а при 4% углерода – 60%. Поскольку цементит является твердой и хрупкой фазой, то с ростом концентрации углерода у сталей и белых чугунов увеличиваются твердость, пределы прочности и текучести, электросопротивление, уменьшаются плотность, пластичность, ударная вязкость, теплопроводность и магнитная проницаемость.

Кремний и марганец, составляющие в виде примесей долю около 0,5%, вступают при выплавке в реакцию с оксидами железа, окисляются и переходят в шлак, способствуя раскислению стали и улучшению ее прочности. Поэтому кремний и марганец считаются полезными примесями.

Сера образует в сплавах химическое соединение FeS, которое образует с железом легкоплавкую эвтектику с температурой плавления 988°C. При

нагреве стали до температуры 1100...1200°C и горячей обработке давлением эвтектика расплавляется, вызывая появление разрывов и трещин, что называется *красноломкостью* стали. Кроме того, сернистые соединения в сталях снижают пластичность, ударную вязкость и предел выносливости, ухудшают коррозионную стойкость и свариваемость. Поэтому сера относится к вредным примесям и её содержание в сталях не должно превышать 0,05%.

Фосфор растворяется в феррите, искажая его кристаллическую решетку, что увеличивает пределы прочности и текучести с одновременным уменьшением пластичности и появлением хрупкости. Особенно сильно возрастает хрупкость из-за содержания фосфора при температурах ниже 0 °С, что называется *хладноломкостью*. Вследствие этого фосфор, как и сера, – вредная примесь. Количество фосфора в сталях ограничивается величиной 0,05%.

Кислород и азот мало растворимы в феррите и образуют в сталях химические соединения в виде структурных включений оксидов и нитридов. Скапливаясь на границах зерен, эти включения снижают пластичность и предел выносливости сталей, увеличивают их красно- и хладноломкость.

Водород может присутствовать в твердом растворе в свободном состоянии, как скопления в микронесплошностях структуры сталей. Растворившийся при выплавке водород сильно уменьшает пластичность стали, придавая ей хрупкость. В процессе охлаждения водород выделяется из раствора и создает высокие давления, что вызывает внутренние разрывы стали – флокены, резко снижающие ее качество. Все газовые включения относятся к вредным примесям. Содержание их допускается не более 0,05%.

1.1. Классификация углеродистых сталей

Углеродистые стали классифицируются по содержанию углерода, структуре в равновесном состоянии, способу производства, степени раскисления и характеру затвердевания, качеству и назначению.

По содержанию углерода:

- низкоуглеродистые (<0,3% С);
- среднеуглеродистые (0,3-0,7% С);
- высокоуглеродистые (>0,7%С).

По структуре в равновесном состоянии:

- доэвтектоидные – структура феррит и перлит;
- эвтектоидные – структура перлит;
- заэвтектоидные – структура перлит и цементит вторичный.

По способу производства:

- мартеновские;
- конвертерные;
- электростали.

По степени раскисления и характеру затвердевания:

- спокойные;
- полуспокойные;
- кипящие.

Раскисление – процесс удаления из жидкого металла кислорода с целью предотвращения хрупкого разрушения стали при горячей деформации. Спокойные стали раскисляют марганцем, кремнием и алюминием. Они содержат мало кислорода и затвердевают спокойно без газовыделения. Кипящие стали раскисляют марганцем. Перед разливкой в них повышенное содержание кислорода, который при затвердевании частично взаимодействует с углеродом и удаляется в виде СО. Выделение пузырьков СО создает впечатление кипящей стали. Полуспокойные стали по степени раскисления занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими.

По качеству стали:

- обыкновенного качества (содержат до 0,06%S и 0,07% P);
- качественные (не более 0,04%S и 0,035%P);
- высококачественные (не более 0,025%S и 0,025%P).

Под качеством стали понимается совокупность свойств, определяемых металлургическим процессом ее производства. Однородность химического состава, строения и свойств стали, а также ее технологические характеристики зависят от содержания газов (кислорода, водорода, азота) и вредных примесей – серы, фосфора. Газы являются скрытыми, трудно определяемыми примесями, поэтому количество вредных примесей служит основным показателем для разделения сталей по качеству.

По назначению:

- конструкционные;
- инструментальные;
- специальные.

Конструкционные стали – наиболее обширная группа. Предназначены для изготовления строительных сооружений, деталей машин и конструкций, к ним относятся: цементуемые, улучшаемые, высокопрочные, рессорно-пружинные.

Инструментальные стали – для режущих и измерительных инструментов, штампов холодного и горячего (до 200°C) деформирования.

Специальные стали предназначены для изготовления конкретного вида изделия.

1.2. Стали обыкновенного качества

Маркировка и общие требования стали обыкновенного качества регламентированы ГОСТ 380-94.

В зависимости от назначения стали подразделяют на три группы:

- А – поставляемую с гарантированными механическими свойствами;
- Б – поставляемую с гарантированным химическим составом;
- В – поставляемую с гарантированными механическими свойствами и химическим составом.

В зависимости от нормируемых показателей сталь каждой группы подразделяют на категории:

- группы А – 1,2,3;
- группы Б – 1,2;
- группы В – 1,2,3,4,5,6.

Стали маркируют сочетанием букв Ст и цифрой (от 0 до 6), показывающей номер стали. Среднее содержание углерода не показывается, хотя с повышением номера содержание углерода в стали увеличивается (до 0,49%). Стали группы Б и В имеют перед маркой буквы Б и В, указывающие на их принадлежность к этим группам. Группа А в обозначении марки стали не указывается.

Стали выплавляются следующих марок:

- группы А – Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6;
- группы Б – БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6;
- группы В – ВСт0, ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5, ВСт6.

Стали всех групп с номерами марок 1,2,3,4, по степени раскисления, выплавляют кипящей, полуспокойной, и спокойной, 5 и 6 – спокойной и полуспокойной. Стали марок Ст0 и БСт0 по степени раскисления не разделяют.

Степень раскисления обозначают добавлением индексов:

- спокойные стали – СП;
- полуспокойные стали – ПС;
- кипящие – КП.

Категории нормируемых свойств (кроме категории 1) указывают цифрой после индекса раскисления. Полуспокойная сталь с номерами марок 1-5 выплавляется с обычным и повышенным содержанием марганца. Повышенное содержание марганца указывают буквой «Г» перед индексом раскисления (ВСт3Гпс2).

Пример маркировки:

Ст2кп 2 – сталь обыкновенного качества группы А (поставляется с гарантированными механическими свойствами), номер марки – 2, кипящая, второй категории;

БСт4сп3 – сталь обыкновенного качества группы Б (поставляется с гарантированным химическим составом), номер марки – 4, спокойная, третьей категории;

ВСт2пс – сталь обыкновенного качества группы В (поставляется с гарантированными механическими свойствами и химическим составом), номер марки – 2, полупокорная, первой категории.

Для каждой группы сталей существует перечень нормируемых показателей (табл. 1 – 3).

Таблица 1

Стали группы А

Категория сталей	Марки сталей всех степеней раскисления и с повышенным содержанием марганца	Временное сопротивление разрыву	Относительное удлинение	Изгиб в холодном состоянии	Предел текучести
1	Ст0-Ст6	+	+	-	-
2	Ст0-Ст6	+	+	+	-
3	Ст2-Ст6	+	+	+	+

«+» – показатель нормируется.

Таблица 2

Стали группы Б

Категория сталей	Марки сталей всех степеней раскисления и с повышенным содержанием марганца	Содержание углерода, марганца, кремния, фосфора, серы, азота	Содержание хрома, никеля, меди
1	БСт0-Ст6	+	-
2	БСт0-Ст6	+	+

Таблица 3

Стали группы В

Категория сталей	Марки сталей всех степеней раскисления и с повышенным содержанием марганца	Химический состав	Временное сопротивление разрыву	Относительное удлинение	Изгиб в холодном состоянии	Предел текучести	Ударная вязкость при температуре 20°С	Ударная вязкость при температуре -20°С	Механическое старение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ВСт0-ВСт6	+	+	+	+	-	-	-	-
2	ВСт0-ВСт5	+	+	+	+	+	-	-	-

Окончание табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	ВСт3-ВСт4	+	+	+	+	+	+	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	ВСт3	+	+	+	+	+	-	+	-
5	ВСт3	+	+	+	+	+	-	+	+
6	ВСт3	+	+	+	+	+	-	-	+

Стали группы А поставляются с гарантированными механическими свойствами (табл. 4) без указания химического состава.

Таблица 4

Механические свойства углеродистых сталей
обыкновенного качества группы А

Сталь	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Предел текучести, σ_T , МПа	Относительное удлинение, δ , %
		не менее	
Ст0	>310	-	23
Ст1	320-420	-	34
Ст2	340-440	200-230	32
Ст3	380-490	210-250	27
Ст4	420-540	240-270	24
Ст5	500-640	260-290	20
Ст6	600	320	13

С увеличением номера марки прочность стали увеличивается, а пластичность уменьшается.

Стали группы А используют в состоянии поставки для изделий, изготовление которых не предполагает горячую обработку. Сохраняются структура нормализации и механические свойства, гарантируемые стандартом.

Сталь Ст3 используется в состоянии поставки без горячей обработки давлением и сварки. Химический состав этой группы сталей колеблется в широких пределах. Ее применяют для изготовления металлоконструкций в строительстве.

Стали группы Б поставляют с гарантированным химическим составом, механические свойства второстепенны. Применяются для изделий, в технологии которых входит горячая обработка (ковка, сварка, термическая обработка). Исходная структура и механические свойства в этом случае не сохраняются. Здесь нужно знать химический состав для определения режимов горячей обработки.

Стали группы В поставляются с гарантированными механическими свойствами и химическим составом. Эти стали дороже и применяются для ответственных деталей, сварных конструкций. Важно знать исходные механические свойства, так как они сохраняются на участках, не подвергаемых нагреву при сварке. Для оценки свариваемости важны сведения о химическом составе. Механические свойства при растяжении для каждой марки

стали группы В соответствуют нормам для аналогичных марок сталей группы А (см. табл. 4), а химический состав – нормам для тех же номеров марок группы Б (табл. 5). Так сталь ВСт4 имеет механические свойства при растяжении, аналогичные стали Ст4, а химический состав подобный стали БСт4.

Таблица 5

Химический состав углеродистых сталей обыкновенного качества группы Б

Сталь	C	Mn	Si			S	P
			КП	ПС	СП	не более	
БСт0	<0,23	-	-	-	-	0,06	0,07
БСт1	0,06-0,12	0,25-0,5	0,05	0,05-0,17	0,12-0,3	0,05	0,04
БСт2	0,09-0,15	0,25-0,5	0,05	0,05-0,17	0,12-0,3	0,05	0,04
БСт3	0,14-0,22	0,3-0,65	0,07	0,05-0,17	0,12-0,3	0,05	0,04
БСт4	0,18-0,27	0,40-0,70	0,07	0,05-0,17	0,12-0,3	0,05	0,04
БСт5	0,28-0,37	0,50-0,80	-	0,05-0,17	0,15-0,35	0,05	0,04
БСт6	0,38-0,49	0,50-0,80	-	0,05-0,17	0,15-0,35	0,05	0,04

Прокат из сталей обыкновенного качества поставляется с окраской определенного цвета. Окрас сталей производится несмываемой краской. Независимо от группы сталей и степени раскисления используются цвета, указанные в табл. 6.

Таблица 6

Маркировка проката, изготовленного из стали, по ГОСТ 380-94

Марка стали	Цвет окраски
Ст0	Красный и зеленый
Ст1	Белый и черный
Ст1 Гпс	Белый и красный
Ст2	Желтый
Ст2 Гпс	Желтый и красный
Ст3 Гпс	Красный и синий
Ст 4	Черный
Ст4Гпс	Черный и красный
Ст5	Зеленый
Ст5 Гпс	Зеленый и белый
Ст 6	Синий

Углеродистые стали обыкновенного качества предназначены для различных металлоконструкций и слабо нагруженных деталей машин. Они используются, когда работоспособность обеспечивается жесткостью. Широко применяются в строительстве для изготовления железобетонных конструкций.

Способностью свариваться и подвергаться холодной обработке давлением отличаются стали групп Б и В 1-4 номеров, из них изготавливают сварные фермы, рамы, металлоконструкции для строек, а также крепежные изделия, подвергаемые цементации.

Среднеуглеродистые стали 5 и 6 номеров обладают большей прочностью и применяются для изготовления рельсов, железнодорожных колес, валов, шкивов и других деталей, в том числе и сельхозмашин. Некоторые детали группы Б и В подвергаются термической обработке – закалке с последующим высоким отпуском. К недостаткам углеродистых сталей обыкновенного качества можно отнести низкую хладостойкость при эксплуатации сварных металлоконструкций в условиях Сибири и Крайнего Севера. Существенным недостатком углеродистых сталей является их малая прочность, что приводит к большому расходу металла и увеличению массы металлоконструкций. Частичное решение этих проблем – применение низколегированных сталей.

1.3. Углеродистые качественные конструкционные стали

В машиностроении их используют для изготовления деталей различного назначения. Они являются достаточно дешевым материалом с более низким содержанием примесей и неметаллических включений, чем стали обыкновенного качества. Эти стали поставляются в виде проката, различных профилей с гарантированным химическим составом и механическими свойствами. Применяют углеродистые качественные стали, поставляемые по ГОСТ 1050-88. В них содержание серы и фосфора 0,03-0,04% каждого. Маркировка определяется словом СТАЛЬ и двузначными цифрами: 0,5; 0,8; 10; 15;; 80; 85. Цифры означают среднее содержание углерода в сотых долях процента. К углеродистым качественным сталям относятся стали с повышенным содержанием марганца (0,7-1,0%), имеющие повышенную прокаливаемость.

Пример маркировки качественной, конструкционной стали:

Сталь 20 – сталь качественная, конструкционная, с содержанием углерода в среднем 0,20%.

Сталь 40Г – сталь качественная, конструкционная, с содержанием углерода в среднем 0,40% и повышенным содержанием марганца (около 1,0%).

В табл. 7 приведены гарантируемые механические свойства после нормализации углеродистых качественных сталей и частично – химический состав.

Таблица 7

Химический состав и механические свойства
углеродистых качественных конструкционных сталей

г	н	и	с	уг	ле	фе	%,	це	Механические свойства, не менее
---	---	---	---	----	----	----	----	----	---------------------------------

			Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Предел текучести, σ_T , МПа	Относительное удлинение, δ , %	Ударная вязкость при температуре 20°C, КСИ ^{T=20} , МДж/м ²	Относительное сужение, ψ , %	Твердость после отжига или высокого отпуска НВ, не более
08	0,05-0,01	0,10	330	200	33	-	60	131
10	0,07-0,14	0,15	340	210	31	-	55	143
15	0,12-0,19	0,25	380	230	27	-	55	149
20	0,17-0,24	0,25	420	250	25	-	55	163
30	0,27-0,35	0,25	500	300	21	0,8	50	179
40	0,37-0,45	0,25	580	340	19	0,6	45	217
50	0,47-0,55	0,25	640	380	14	0,4	40	241
60	0,57-0,65	0,25	690	410	12	-	35	255
70	0,67-0,75	0,25	730	430	9	-	30	269

Данные табл. 7 служат для контроля металлургического качества отдельных плавок, а механические свойства изделий будут определяться режимами термической обработки, зависящими от размера и сечения деталей.

Спокойные стали маркируют без индекса, полуспокойные и кипящие - с индексом ПС и КП соответственно. В табл. 7 приведены данные химического состава и свойств спокойных сталей. Кипящие стали производят марок 05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, полуспокойные 08пс, 10пс, 15пс, 20пс.

Качественные стали широко применяют в машиностроении и приборостроении. Различное содержание углерода и термическая обработка позволяют получить большой диапазон механических и эксплуатационных свойств. Низкоуглеродистые стали 05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп отличаются малой прочностью и высокой пластичностью в холодном состоянии. Эти стали в основном производят в виде тонкого листа и используют после отжига и нормализации для холодной штамповки с глубокой вытяжкой. Они легко штампуются из-за малого содержания углерода и кремния, используются в автомобилестроении для деталей сложной формы (детали кузова автомобиля). Глубокая вытяжка из листа применяется при изготовлении консервных банок, эмалированной посуды. Спокойные стали 08, 10 применяют в отожженном состоянии для конструкций невысокой прочности (емкости, трубы).

Стали 10, 15, 20, 25 относятся к низкоуглеродистым. Они пластичны, хорошо свариваются и штампуются. В нормализованном состоянии они используются для крепежных деталей, втулок, шестерен, эксцентриков, штуцеров. Для увеличения поверхностной прочности и износостойкости их подвергают цементации (насыщение поверхности углеродом) и применяют для деталей небольших размеров – слабонагруженных зубчатых колес, кулачков и т.п. Поверхность становится твердой и износостойкой, а сердцевина остается пластичной и вязкой. Цементованный поверхностный слой упрочняют закалкой в воде с последующим низким отпуском. Сердцевина этих сталей практически не упрочняется, низкая прокаливаемость.

Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45, 50 и стали с повышенным содержанием марганца 30Г, 40Г, 50Г в нормализованном состоянии отличаются повышенной прочностью и меньшей пластичностью. В зависимости от условий работы детали термически обрабатывают: нормализуют, улучшают (закалка с высоким отпуском), закаливают и низко отпускают, закаливают ТВЧ. В табл. 8 приведены механические свойства сталей после нормализации (числитель) и закалки с отпуском (знаменатель). Для каждой стали выбрана температура отпуска, при которой временное сопротивление разрыву после закалки и отпуска равнялось временному сопротивлению разрыву нормализованной стали (для сталей 25 и 35 температура отпуска равна 700°C, для стали 45 – 650°C, для стали 55 – 620°C).

Таблица 8

Механические свойства после термической обработки

Свойства	Марка стали			
	25	35	45	55
Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	460/460	550/550	660/660	750/75
Предел текучести, σ_T , МПа	240/280	280/330	340/380	380/440
Относительное удлинение, δ , %	27/30	22/25	17/22	12/17

Приведенные данные показывают, что при одинаковом временном сопротивлении разрыву нормализованной и улучшенной стали (закалка и высокий отпуск) такие свойства, как предел текучести и относительное удлинение, выше после закалки с высоким отпуском за счет более дисперсной структуры (сорбит). Закалка с отпуском обеспечивает и более высокую ударную вязкость, и хладостойкость, чем нормализация. Эти стали применяют для ответственных деталей: пальцев, кулачковых валов, ходовых винтов, зубчатых реек, шестерен, шатунов, испытывающих циклические нагрузки. В крупногабаритных деталях больших сечений из-за плохой прокаливаемости механические свойства значительно снижаются.

Высокоуглеродистые стали 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г используют для изготовления пружин, торсионов, рессор и других деталей, для которых высокая упругость и износостойкость ЗНАЧИМЫ. Их подвергают закалки и среднему отпуску (троостит).

1.4. Углеродистые инструментальные стали

Инструментальные стали предназначены для изготовления режущего, измерительного инструментов и штампов холодного и горячего деформирования. Свойства, необходимые инструментам, – износостойкость, теплоустойчивость. Для обеспечения износостойкости инструмента поверхностная твердость должна быть высокой. От теплоустойчивости стали зависит возможная температура разогрева режущего инструмента, то есть скорость резания, или производительность инструмента, работающего до 200°С. Углеродистые инструментальные стали наиболее дешевы. Главным образом их применяют для изготовления слесарного инструмента и для штампов малого размера. В соответствии с ГОСТ 1435-99 углеродистые инструментальные стали выплавляют качественные и высококачественные (с пониженным содержанием вредных примесей серы и фосфора).

Инструментальные стали маркируются:

– качественные – У7, У8,.....У13;

– высококачественные – У7А, У8А, У9А,.....У13А.

Буква У – сталь углеродистая. Цифра – среднее содержание углерода в десятых долях процента. Буква А в конце марки – сталь высококачественная.

Пример маркировки:

Сталь У8 – сталь качественная, углеродистая, инструментальная, с содержанием углерода в среднем 0,8%.

Сталь У9А – сталь высококачественная, углеродистая, инструментальная, с содержанием углерода в среднем 0,9%.

Углеродистые инструментальные стали поставляются после отжига со структурой зернистого перлита. Благодаря малой твердости в состоянии поставки (НВ 187-217) они хорошо обрабатываются резанием и деформируются. Из-за низкой прокаливаемости (10-12 мм) углеродистые инструментальные стали используют для производства мелкого инструмента. Если сечение достигает 25 мм, то сердцевина остается незакаленной, а твердый слой приходится на режущую часть поверхности (метчики, развертки, напильники). Поверхностная закалка оставляет сердцевину вязкой, что способствует смягчению деформации инструмента при эксплуатации. Для уменьшения деформации и опасности растрескивания инструмента с незакаленной сердцевиной, меньшего сечения охлаждение при закалке проводят в масле или расплаве солей при температуре 60...200°С.

Сталь марок У7, У8, У9 подвергают полной закалке и отпуску при температуре от 175...350°C для получения структуры троостит (HRC 48-51). Их используют для производства деревообрабатывающего, слесарного, кузнечного инструмента (повышенная вязкость). Заэвтектоидные стали У10, У11, У12, У13 подвергают неполной закалке и низкому отпуску при температуре 150...180°C. Структура мартенсит с включениями цементита дает инструменту высокую твердость (HRC62-64) и износостойкость. При нагреве выше 200°C твердость резко снижается. Такой инструмент пригоден для обработки мягких материалов при малых скоростях резания. Стали У10, У11, У12 используют для изготовления измерительного инструмента (калибры, скобы), режущего (пилы, мечики, сверла, резцы) и не крупных штампов холодной высадки и вытяжки, работающих при невысоких нагрузках. Твердость стали У13 высока, ее достаточно для изготовления гравировального инструмента, шаберов.

Высококачественные стали из-за лучшей вязкости чаще используют для инструмента с тонкой режущей кромкой (скальпели, тонкие сверла).

1.5. Специальные стали

1.5.1. Автоматные стали

Автоматные стали хорошо обрабатываются на металлорежущих станках – автоматах за счет повышенного содержания серы и фосфора (возрастает стойкость инструмента), а также образуют короткую ломкую стружку. Эффективным приемом является введение в сталь марганца, который снижает красноломкость. Селен, сера, кальций меняют состав неметаллических включений. Свинец образует собственные включения. В табл. 9 в соответствии с ГОСТ 1414-75 приведен химический состав некоторых автоматных сталей.

Добавление в автоматные стали свинца, селена, теллура позволяет в 2-3 раза сократить расход режущего инструмента. Улучшение обрабатываемости достигается модифицированием кальцием, который скругляет сульфидные включения, что положительно влияет на обрабатываемость. Сера образует большое количество сульфидов марганца, вытянутых в направлении прокатки. Сульфиды оказывают смазывающее действие, нарушая при этом сплошность металла. Фосфор повышает хрупкость феррита, облегчая при этом отделение стружки металла во время процесса резания. Оба этих элемента (сера, фосфор) способствуют уменьшению налипания на режущий инструмент и получению гладкой блестящей обработанной поверхности. Однако повышение содержания серы и фосфора снижает качество стали. Стали, содержащие серу, имеют ярко выраженную анизотропию механических свойств и пониженную коррозионную стойкость.

Таблица 9

Химический состав автоматных сталей

Марка стали	Содержание элементов, %						
	углерод, С	марганец, Mn	кремний, Si	сера, S	фосфор, P	свинец, Pb	селен, Se
A11	0,07-0,15	<0,10	0,8-1,2	0,15-0,25	<0,10	-	-
A12	0,08-0,16	0,7-1	0,15-0,35	0,8-0,20	0,08-0,15	-	-
A20	0,17-0,24	0,7-1	0,15-0,35	0,8-0,15	<0,06	-	-
A30	0,27-0,35	0,7-1	0,15-0,35	0,8-0,15	<0,06	-	-
A40Г	0,37-0,45	1,2-1,55	0,15-0,35	0,18-0,30	<0,05	-	-
AC14	0,1-0,17	1,0-1,3	<0,12	0,15-0,20	<0,1	0,15-0,3	0,04
AC35E	0,32-0,40	0,5-0,8	0,17-0,37	0,06-0,12	<0,035	-	0,10

Марки автоматных сталей обозначают буквой А и цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента, легирующие элементы обозначают буквами: Г-марганец, Е-селен, или теллур, С-свинец.

Пример маркировки:

Сталь А 12 – сталь автоматная с содержанием углерода в среднем 0,12 % и повышенным содержанием фосфора.

Сталь AC35 – сталь автоматная с содержанием углерода в среднем 0,35% и повышенным содержанием свинца.

Стали А11, А12, А20 используют для крепежных деталей и изделий сложной формы, не испытывающих больших нагрузок, но точность размеров и чистота поверхности должны быть высокими. Сталь А30 и А40 Г для деталей, испытывающих более высокие напряжения. Свинцовсодержащие стали широко применяют для изготовления деталей ДВС. В автоматных селенсодержащих сталях повышается обрабатываемость за счет образования селенидов, сульфоселенидов, которые обволакивают твердые оксидные включения и тем самым устраняют их истирающее действие. Селениды сохраняют глобулярную форму после обработки давлением, поэтому практически не вызывают анизотропии свойств, не ухудшают коррозионную стойкость стали в отличие от серы. При обработке этих сталей снижается износ инструмента в 2 раза, а производительность обработки повышается на 30%.

1.5.2. Литейные стали

Литейные стали выплавляются в соответствии с ГОСТ 977-88. Маркируются они так же, как и качественные конструкционные стали, но с добавлением буквы Л в конце марки. Они содержат до 0,9%Mn, до 0,52%Si и не более 0,06%S и 0,08%P.

Сталь 15Л – сталь литейная с содержанием углерода 0,15%.

Стальные отливки подвергают нормализации или улучшению и поверхностной закалке с нагревом ТВЧ. С увеличением содержания углерода в литейных сталях их прочность растет, а пластичность и ударная вязкость

снижаются. В табл. 10 приведены механические характеристики двух крайних по содержанию углерода литейных сталей.

Таблица 10

Механические свойства литейных сталей

Марка стали	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение, δ , %	Ударная вязкость, КСИ, МДж/м ²
15Л	400	200	24	0,5
50Л	580	340	11	0,24

Низкоуглеродистые литейные стали применяют для изготовления деталей, подвергающихся ударным нагрузкам – арматуры, деталей сварно-литых конструкций. Среднеуглеродистые стали используют для отливки станин и валков прокатных станов, крупных шестерен.

1.5.3 Арматурные стали

Для армирования железобетонных конструкций применяют прутки (гладкие и периодического профиля) и проволоку. В предварительно напряженной железобетонной конструкции, то есть когда бетон сжат вложенными в конструкцию стальными стержнями, металл испытывает значительные напряжения. В таких конструкциях применяют высокопрочные стальные стержни или проволоку. В конструкциях ненапряженных применяют сталь обыкновенного качества (Ст3, С5), а в напряженных предварительно – среднеуглеродистые и высокоуглеродистые стали в горячекатанном состоянии, а также упрочненные термической обработкой.

Арматурная сталь делится на классы по прочности. В табл. 11 приведена классификация арматурных сталей в соответствии с ГОСТ 5781-82. Маркируется арматурная сталь буквой А, за которой следует римская цифра, показывающая класс по прочности: сталь А-III – сталь арматурная, III класс по прочности.

Арматурную сталь классов А-I, А-II, А-III применяют для ненапряженных конструкций, а сталь более высоких классов - для предварительно напряженных конструкций.

Таблица 11

Классификация арматурных сталей

Класс стали	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение, δ , %	Марка стали	
				в горячекатанном состоянии	в термо-упрочненном состоянии

	не менее				
A-I	372	235	25	Ст3	-
A-II	490	294	19	Ст5	-
A-III	585	390	14	35ГС*	-
A-IV	880	585	6	80С**	Ст5
A-V	1030	780	6	-	Ст5, 35ГС
A-VI	1170	980	5	-	Ст6, 35 ГС
A-VII	1370	1170	5	-	45 С
A-VIII	1560	1370	4	-	45 ГС

* Стали с повышенным содержанием марганца и кремния.

** Стали с повышенным содержанием кремния.

Свойства, соответствующие классам A-IV ,A-V , могут быть получены в углеродистых сталях марок Ст5, Ст6 после упрочняющей термической обработки (закалка в воде и отпуск при 400°С). Арматура более высоких классов (A-VI - A-VIII) изготавливается с применением упрочняющей термической обработки. При содержании углерода менее 0,25% сталь хорошо сваривается контактной сваркой, при 0,3-0,4 % сваривается плохо, а при более высоком содержании углерода теряется пластичность в околошовной зоне. Для работы при низких температурах используются стали с низким содержанием углерода или после термической обработки.

Кроме стержней (прутков) железобетонные конструкции армируют проволокой. При этом проволока из стали с содержанием углерода 0,6-0,8% обладает высокой прочностью $\sigma_B = 1800$ МПа, приобретаемой благодаря наклепу или термической обработке.

1.5.4. Котельные стали

Сталь для изготовления деталей котлостроения должна выдерживать температуры до 450°С и значительное давление. Котельные стали поставляются в соответствии с ГОСТ 5520-79 в виде толстых листов. Они маркируются сочетанием цифр, указывающих содержание углерода в сотых долях процента и буквой К, следующей за цифрами. Сталь 15К – сталь котельная с содержанием углерода в среднем 0,15%.

Химический состав котельных сталей приведен в табл. 12, механические свойства - в табл. 13.

Котельные стали марок 12К, 16К, 18К используются для изготовления деталей, частей котлов и сосудов, работающих под давлением при комнатной, повышенных и криогенных температурах.

Стали марок 15К, 20К, 22К идут на изготовление днищ, фланцев цельнокованных, сварных барабанов паровых котлов, полумуфт, патрубков и других деталей, работающих при температурах от -40 до +450°С под давлением.

Таблица 12

Химический состав котельных сталей.

Марка стали	Содержание элементов, %							
	углерод	кремний	марганец	сера	фосфор	никель	медь	мышьяк
				не более				
12К	0,08-0,16	0,17-0,37	0,40-0,70	0,040	0,04	0,30	0,30	0,08
15К	0,12-0,20	0,15-0,30	0,35-0,65	0,040	0,04	0,30	0,30	0,08
16К	0,12			0,040	0,04	0,30	0,30	0,08
18К				0,040	0,04	0,30	0,30	0,08
20К				0,040	0,04	0,30	0,30	0,08
22К				0,035	0,04	0,30	0,30	0,08

Таблица 13

Механические свойства котельных сталей

Марка стали	Сечение, мм	Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Относительное удлинение, δ , %	Ударная вязкость, КСИ, МДж/м ²	
					при температуре 20°C	после механического старения
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
12К	До 20	225	350-440	24	78	39
	21-40	215				
	41-60	205				
15К	До 20	230	370-480	27	68	34
	21-40	225		26	64	29
	41-60	215		25	59	28

Окончание табл. 13

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
16К	До 20	255	400-450	22	67	34
	21-40	245				
	41-60	235				
18К	До 20	275	430-520	20	59	29
	21-40	265				
	41-60	255				
20К	До 20	245	400-510	25	59	29
	21-40	235		24	54	24
	41-60	225		23	49	24
22К	До 60	265	430-530	22	59	29

	Св.60	255				
--	-------	-----	--	--	--	--

1.5.5. Мостовые стали

Мостовая сталь предназначена для изготовления пролетных строений мостовых конструкций. Поставляется листовая, широкополосная, фасонная и сортовая. В мостостроении допускается использовать только спокойную сталь.

Сталь выплавляется двух марок:

– М16С – для сварных мостовых конструкций. В маркировке буква М показывает, что сталь мостовая, цифра показывает среднее содержание углерода в сотых долях процента, буква С, что сталь подвергается сварке.

– Ст3 мост. – для клепаных конструкций. Цифра в марке означает номер группы механических свойств стали. Химический состав мостостроительных сталей приведен в табл. 14.

Таблица 14

Химический состав мостовых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %				
	углерод	марганец	кремний	сера	фосфор
М16С	0,12-0,20	0,4-0,7	0,12-0,25	0,045	0,040
Ст3 мост	0,14-0,22	0,4-0,7	0,15-0,30	0,050	0,045

Механические свойства мостовой стали должны быть не менее указанных ниже:

- временное сопротивление разрыву 380 МПа;
- предел текучести 230-240 МПа;
- относительное удлинение 24-28 %;
- относительное сужение 50%.

По сравнению с клепаными конструкциями сварные более жесткие, не обладают внутренней податливостью, сглаживающей распределение напряжений, очень чувствительны к концентрации напряжений и появлению остаточных напряжений, поэтому трещины в них образуются легче. К свариваемой мостовой стали предъявляются повышенные требования по качеству в части ужесточения норм: по химическому составу, раскислению, загрязнению неметаллическими включениями.

Сталь М16С дополнительно раскисляется алюминием, а содержание в ней хрома, никеля и меди не должно превышать 0,3% каждого. Сталь испытывается на изгиб на 180° в холодном состоянии и на ударную вязкость при температуре +20 и -20°С. Сталь М16С, идущая на изготовление ответственных сварных конструкций, оценивается на чувствительность к старению. Для этого ударные образцы изготавливают из предварительно холоднодеформированных и отпущен-

ных заготовок. Потеря ударной вязкости после старения должна составлять не более 50% исходного значения.

Ударная вязкость мостостроительной стали должна соответствовать:

- при 20°C – $0,8 \text{ МДж/м}^2$;
- при -20°C – $0,4 \text{ МДж/м}^2$;
- после старения при 20°C – $0,4 \text{ МДж/м}^2$.

Предъявляются высокие требования к качеству проката. На кромках листов и полос не должно быть расслоений, а заварка и заделка дефектов не допускаются.

1.5.6. Рельсовая сталь

Материалом для рельсов служит специальная рельсовая сталь. Рельсы изготавливают двух групп: 1-я группа – из спокойной мартееновской стали, раскисленной в ковше комплексными раскислителями без применения алюминия или других раскислителей, образующих в стали вредные строчечные неметаллические включения; 2-я группа – из спокойной мартееновской стали, раскисленной алюминием или марганцем.

Рельсовые стали маркируются буквой М, которая указывает мартееновский способ выплавки, за которой следует цифра, указывающая содержание углерода в сотых долях процента. Качество стали определяется ее химическим составом (табл. 15).

С повышением в стали углерода повышается прочность рельсов при изгибе, твердость и износостойкость. Марганец увеличивает твердость, износостойкость и вязкость рельсовой стали, а кремний – твердость и износостойкость, фосфор и сера – вредные примеси. При низких температурах рельсы с большим содержанием фосфора становятся хрупкими, а серы – красноломкими (при прокатке образуются трещины). Ванадий, титан и цирконий – микролегирующие и модифицирующие добавки, улучшающие структуру и качество сталей.

Макроструктура современной рельсовой стали представляет пластинчатый перлит с небольшими прожилками феррита на границах перлитных зерен. Высокая твердость, сопротивление износу и вязкость рельсовых сталей достигаются получением однородной сорбитной структуры с помощью специальной термической обработки. Механические свойства стали для рельсов 1-й и 2-й групп при испытании на растяжение должны соответствовать данным табл. 16.

Таблица 15

Химический состав рельсовой стали

Группа рельсов	Тип рельсов	Марка стали	Массовая доля, %				
			углерод	марганец	кремний	фосфор	сера
1	P75 P65	M76 M76T	0,71-0,82	0,25-0,45	0,18-0,40	Не более	0,045

2		M76BT M76Ц		0,75-1,05		0,035	
	P50	M74T M74Ц	0,69-0,80				
	P75 P65	M76	0,71-0,82				
	P50	M 74	0,69-0,80				

Примечания:

1. Буквы В, Т, Ц указывают повышенное содержание ванадия, титана, циркония.
2. Массовая доля ванадия в рельсовой стали колеблется от 0,01 до 0,07 %, титана от 0,005-0,02, циркония 0,001-0,050%.

Таблица 16

Механические свойства рельсовой стали

Марка стали	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Относительное удлинение, δ , %
	не менее	
М 76	90	4,0
М 74	86	5,0

Данные табл. 16 соответствуют рельсам, изготовленным из мартеновской стали, не закаленным по всей длине. Термическая обработка рельсов производится двумя способами:

– объемная закалка в масле с последующим отпуском с охлаждением в печи;

– закалка токами высокой частоты (ТВЧ).

Макроструктура закаленной головки рельса – сорбит закалки. Твердость по Бринеллю на поверхности катания головки закаленных рельсов в пределах 341-388 НВ, шейки и подошвы – не более 388 НВ.

Механические свойства объемно-закаленных рельсов должны быть (не менее):

– временное сопротивление разрыву 1200 МПа;

– предел текучести 810 МПа;

– относительное удлинение 6 %;

– ударная вязкость при 20°C – 0,25 МДж/м².

Условия эксплуатации рельсов на дорогах Сибири вдвое тяжелее, чем в европейской части России. Созданы рельсы низкотемпературной надежности Р65, объемно-закаленные 1-й группы, выплаваемые из ванадий - ниобий - борсодержащей стали с использованием для легирования азотированных ферросплавов. Для этих рельсов используется электросталь, выплавка которой производится в дуговых печах. При температуре -60°C рельсы из электростали выдерживают ударные нагрузки вдвое больше, чем рельсы из мартеновской стали.

1.6 Легированные стали

Легированные стали получают путем добавления легирующих элементов. Цифры, стоящие в начале маркировки, указывают на среднее содержание углерода в долях процента. Легирующие элементы в маркировке сталей обозначаются буквами русского алфавита. Цифры после букв обозначают примерное содержание легирующего элемента в процентах (при отсутствии цифры – не более 1,5%). Условные обозначения наиболее часто встречающихся легирующих элементов при маркировке сталей приведены в табл. 17.

Таблица 17

Условное обозначение легирующих элементов в маркировках сталей

Наименование легирующего элемента	Химический знак	В маркировках сталей	Наименование легирующего элемента	Химический знак	В маркировках сталей
Азот	N	А	Никель	Ni	Н
Алюминий	Al	Ю	Ниобий	Nb	Б
Ванадий	V	Ф	Хром	Cr	Х
Вольфрам	W	В	Цирконий	Zr	Ц
Кремний	Si	С	Кобальт	Co	К
Марганец	Mn	Г	Селен	Se	Е
Медь	Cu	Д	Бор	B	Р
Молибден	Mo	М	-	-	-

Сталь легированная поставляется:

- горячекатаная, без термообработки и термообработанная (отожженная или нормализованная) – Т;
- калиброванная со специальной обработкой поверхности (серебрянка):
 - термообработанная (отожженная, отпущенная, нормализованная или закаленная) – Т;
 - нагартованная – Н.

В зависимости от основных легирующих элементов стали делятся на группы:

- хромистая – 15Х, 15ХА, 30ХРА, 40Х, 45Х и др.;
- марганцовистая – 15Г, 15Г2, 10Г2, 45Г, 50Г2 и др.;
- хромомарганцовистая – 15ХГ, 18ХГТ, 20ХГМ, 25ХГМ, 35ХГФ и др.;
- хромоникелевая – 20ХН, 20ХНР, 20ХНЗА, 12ХНЗ, 45ХН и др.;
- хромокремистая – 33 ХС, 40ХС и др.;
- хромомолибденовая, хромованадиевая, хромоалюминиевая – 15ХМ, 4ХМФА, 30ХЗМФ, 35ХФМА, 35ХМ10А и др.

Всего стандартизировано до 100 марок легированных сталей.

В зависимости от содержания вредных примесей (серы и фосфора) различают стали:

- качественные (12ХНЗ), S и P <0,35%;
- высококачественные (30ХГСА) – индекс А в конце марки, S и P <0,025%;
- особо высококачественные, в конце маркировки стали ставится буква Д – полученная электродуговым переплавом, в конце марки стали ставится буква Ш – полученная электрошлаковым способом (12Х18Н9Т-Д, ШХ15СГ-Ш).

Индекс Ч в конце марки стали указывает на то, что сталь легирована редкоземельными элементами (титан, ниобий, цирконий, кальций) – эти стали применяются в нефтегазовой промышленности.

Буква А в начале марки означает, что сталь автоматная, то есть повышенной обрабатываемости резанием на станках автоматах (ГОСТ 1414-75)-АС35Г2, АС30М.

Буква Л в конце марки обозначает, что сталь предназначена для изготовления деталей литьем (ГОСТ 977-88)- 30 ГСЛ.

Индекс Ш в начале марки стали – сталь шарикоподшипниковая (ШХ9) ГОСТ 801-78. Хром представлен в десятых долях процента – 0,9% Сг.

Если после буквы в маркировке стали стоит цифра, она означает целые доли процента, если цифра после буквы не стоит, то легирующего элемента до 1,5%.

Цифры, стоящие перед маркировкой стали означают:

- две цифры – содержание углерода в сотых долях процента;
- одна цифра – содержание углерода в десятых долях процента;
- цифры отсутствуют – содержание углерода до одного процента.

14Г2СФ – сталь легированная, строительная, содержит 0,14% углерода, 2 % процента марганца, около 1% кремния, около 1 % ванадия.

Пример обозначения марки стали в технической документации:

Сталь 45ХФА ГОСТ 4543-85 – сталь легированная, конструкционная, хромованадиевая, с содержанием углерода около 0,45%, хрома и ванадия до 1,5% , высококачественная (А), без термообработки.

1.6.1. Строительные стали (низколегированные)

Строительные стали делятся по применению на три группы:

- стали для металлических конструкций марок 14Г, 14Г2, 18Г2, применяются для производства фасонного проката (швеллер, уголок, двутавр), балок, труб;
- стали для корпусов аппаратов марок 16ГС, 10Г2С1 – для корпусов, днищ паровых котлов и сосудов;

09Г2С, 10ХСНД – для производства строительных ферм, конструкций мостов, осей, тяг. Они обладают высокой стойкостью против коррозии в атмосфере;

– стали для железобетонных конструкций марок 18Г2С, 25Г2С, 35ГС для производства арматуры разного профиля и сечения.

1.6.2 Конструкционные легированные стали

Конструкционные легированные стали подразделяются на группы в зависимости от химико-термической и термической обработок.

1. Стали подвергаются химико-термической обработке:

а) стали цементуемые с неупрочняемой сердцевиной марок 15Х, 15ХА, 12ХЗН4А, 18ХГТ применяются для деталей, работающих на износ, с незначительными ударными нагрузками – шестерни, колеса маломощных машин и механизмов, поршневые пальцы и кольца, копиры, ролики толкателей;

б) стали азотируемые марок 38Х2МЮА, 38Х2Ю для ответственных деталей турбин и моторостроения. Гильзы цилиндров ДВС, распределительные валы, шпиндели, втулки, толкатели игл форсунок. Применяются, где требуется большая поверхностная твердость, износостойкость и высокий предел выносливости.

2. Стали, упрочняемые поверхностной закалкой токами высокой частоты (индукционный нагрев) 40Х, 40ХФА для валов, шестерен, деталей сложной формы. Стали 55ПП, 58ПП, 47ГТ (стали пониженной прокаливаемости) для деталей, подверженных высоким изгибающим, крутящим и контактным нагрузкам – зубчатые колеса, крестовины, полуоси, поршневые пальцы, торсионы.

3. Улучшаемые стали:

а) стали марок 35Г2, 45Г2, 30Х, 40Х, 45Х, 33ХС, 40ХС, 40ХФА прокаливаются на глубину 25-35 мм и применяются для производства коленчатых валов, полуосей, цапф, фланцев, червяков, распределительных валов;

б) стали марок 40ХН, 25ГСА, 30ХГС, 35ХГСА, 35ХМ прокаливаются на глубину 50-75 мм и применяются для изготовления тормозных лент моторов, корпусов, лопаток компрессоров, деталей сварных конструкций, шатунов, зубчатых колес, подвергающихся вибрационным и динамическим нагрузкам;

в) стали марок 30ХН3А, 40ХН2МА прокаливаются на глубину 75-120 мм. Из них производят венцы колес тяговых зубчатых передач, шатуны, клапаны, шпильки, муфты. Они работают в большом диапазоне температур (от -80 до +450°С).

1.6.3. Стали машиностроительные специализированные

Подразделяются на группы в зависимости от сфер применения. Сюда входят стали высоко- и сложнолегированные, особовысококачественные.

1. Стали особо высокой прочности и вязкости отличаются сочетанием наибольшего значения прочности, высокой пластичности, вязкости, упругости, выносливости, хладостойкости, коррозионной стойкости. Эти мартенситно-стареющие стали обладают высокими технологическими свойствами: хорошо штампуются, свариваются, обрабатываются резанием:

а) сталь H18K9M5T – для производства шестерен, валов, корпусов ракет;

б) сталь M10X12D2T – для деталей химической аппаратуры и пружин, работающих в агрессивной среде;

в) сталь H4X12K15M4T – для деталей, работающих при высоких температурах и в агрессивной среде (штампы горячего деформирования, детали химической аппаратуры и теплоэнергетических установок).

Углерода в них не более 0,03%, а предел прочности достигает 2000МПа. Использование дорогих мартенситно-стареющих сталей эффективно при изготовлении ответственных упругих элементов, нагруженных деталей криогенной техники, атомного, медицинского, ракетно-космического приборостроения.

2. Жаростойкие стали характеризуются высоким сопротивлением действию химической коррозии, развивающейся в сухих газах и жидкостях при высоких температурах с образованием на поверхности слоя оксидов и иных соединений. Для придания жаростойкости в сталь вводят Cr, Al, Si, что создает на поверхности прочные пленки сложных оксидов. Они защищают сталь от окисления:

а) стали X5 X6CM, 3XBN7C2, X17, X28 применяются для изготовления деталей, работающих в окислительной среде: деталей котельных установок, клапанов автомобильных и тракторных двигателей, труб теплообменников и пиролизных установок, интенсивное окисление которых происходит при 600...1150°C;

б) сталь X20H14C2 – для деталей, стойких в окислительной и науглероживающих средах (печные конвейеры, ящики для цементации).

3. Жаропрочные стали и сплавы обладают способностью в течение длительного времени сопротивляться деформации и разрушению под действием внешних сил при высоких температурах. Влияние этих факторов может вызвать медленную пластическую деформацию металла при напряжениях ниже предела текучести, что называется *ползучестью*. Напряжение, соответствующее разрушению в данных условиях, характеризует длительную прочность. Для достижения жаропрочности стали легируют хромом, никелем и другими карбидообразующими элементами Mo, V, W, Nb, Si, Ti, Al. Стали 12X1MФ, 12X2MФCP сохраняют прочность до температуры 500°C; 15X11MФ, 40X10C2M – жаропрочность до 600°C; 40X15H7Г7Ф2МС с карбидным упрочнением жаропрочна до 700°C. Никелевые сплавы «нимоники» типа ХН77ТЮР, ХН65ВМТЮ жаропрочны до 850°C. Эти стали и

сплавы используются для деталей электронной техники, нагревательных устройств, ДВС, паровых и газовых турбин.

4. Стали для работы при низких температурах (криогенные стали) ниже -183°C – точка кипения кислорода. Происходит увеличение прочности стали с заметным уменьшением пластичности и переход в хрупкое состояние при напряжениях ниже предела текучести. Склонность стали к хрупкому разрушению оценивается порогом хладноломкости – температурой $t_{-50}^{\circ}\text{C}$.

По величине порога хладноломкости стали можно условно разделить на две группы:

- хладостойкие с величиной $t_{-50}^{\circ}\text{C} > -60^{\circ}\text{C}$ для условий естественного холода;

- криогенные, где $t_{-50}^{\circ}\text{C} < -183^{\circ}\text{C}$ для условий искусственного холода.

Для крупных конструкций используются свариваемые низколегированные стали 9Г2С, 14Г2АФ. Для изделий, работающих при температуре до -50°C , годятся улучшаемые стали 40Х, 65Г, 60С2А.

Высокую хладостойкость имеют стали, легированные никелем: 0Н16А и 0Н9А. Высокопрочные мартенситно-старееющие стали, такие как 03Х9К14Н6МЗТ, после термического упрочнения приобретают мелкозернистую структуру с высокой хладостойкостью. Их используют в изделиях, работающих до температуры -196°C и относящихся к авиационной, ракетной и космической технике.

При исследовании в области физики низких температур, для деталей холодильной техники, использующей сжиженные газы, применяют стали 12Х18Н10Т, 07Х21Г7АН5, 10Х14Г14Н4Т с порогом хладноломкости до -235°C .

5. Износостойкие стали обладают высоким сопротивлением к силам трения в условиях действия больших контактных давлений и ударных нагрузок. Это достигается созданием аустенитной структуры, способной к упрочнению за счет деформационного наклепа в процессе эксплуатации деталей с ударными и кавитационными нагрузками. Это рабочие элементы дробилок, мельниц, насосов, смесителей.

Сталь 110Г13Л с плохой обрабатываемостью резанием предусматривает получение деталей литьем, для тяжелых условий абразивно-ударного изнашивания, крестовин железнодорожных стрелок, щек дробилок, траков гусеничных машин, ножей отвалов бульдозера, черпалок землеройных машин.

Стали марок 08Х18Н9Т, 30Х10Г10, 08Х14Г12, 08Х14АГ12М применяются для деталей гидротурбин и гидронасосов, работающих в условиях эрозийного износа.

6. Пружинно – рессорные стали общего назначения применяются для изготовления силовых, жестких, упругих элементов, которые должны иметь

минимальную упругую деформацию. Это обеспечивается высоким модулем упругости сталей, которые должны обладать высокими значениями предела упругости и предела выносливости, пластичности, релаксационной стойкости. Релаксация напряжений – самопроизвольное снижение их значений при постоянной степени деформации, вследствие дислокационного перехода части упругой деформации в пластическую. Из-за этого упругий элемент после снятия нагрузки получает изменение размеров и формы с потерей упругих свойств.

Указанные свойства сталей формируются при содержании в них углерода более 0,5% , в результате закалки и среднего отпуска для получения троостита. Троостит характеризуется высокими упругими свойствами, достаточной прочностью и пластичностью, стабильностью дислокационного состояния. Основные легирующие элементы Si и Mn, дополнительно вводятся Cr, V, Ni, чем достигается повышение прокаливаемости, предела выносливости, релаксационной стойкости.

Стали 50ХГ, 55ХГР, 55С2, 60С2, 60СГА применяют для изготовления рессор автомобилей, пружин железнодорожного транспорта.

Сталь 50ХФА – пружины ответственного назначения.

Сталь 55ХГСФ – пружины станков и прессов.

Стали 60С2ХФА, 65С2ВА – пружины станков и прессов, работающих до температуры 250°C.

45ХНМФА – клеммовые пружины и торсионные валы.

Предел выносливости пружинно-рессорных сталей снижается при наличии поверхностных дефектов – концентраторов напряжений, царапин, вмятин, забоин. Для снижения чувствительности готовых изделий к концентраторам напряжений их подвергают поверхностному упрочнению гидроабразивной обработкой.

7. Подшипниковые стали предназначены для изготовления шариков, роликов, колец подшипников качения, которые в работе при небольших динамических нагрузках испытывают значительные циклические контактные напряжения сжатия, приводящие к возникновению усталостных трещин в поверхностных слоях деталей подшипников и последующему выкрашиванию частиц металла (образование питтинга).

8. Сплавы высокой стойкости против коррозии:

а) 08Х22Н6Т – камеры сгорания и другие конструктивные элементы газовых турбин, сварных корпусов, днищ, фланцев, деталей внутренних устройств аппаратов, турбинных дисков, работающих при температурах от -10 до +300°C, под давлением и в агрессивной среде;

б) 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ – сварные конструкции, работающие при температурах до +80°C в серной кислоте различных концентраций;

в) Н70М20 – сварные конструкции, работающие в среде соляной и фосфорной кислот, а также в серной кислоте с концентрацией до 60%.

2. ЧУГУНЫ

Железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода более 2,14%, - это чугуны. Они в качестве структурной основы имеют эвтектику, поэтому обладают хорошими литейными свойствами и широко применяются для изготовления литых изделий. Свойства чугуна определяются концентрацией и структурным состоянием графита, которые зависят от содержания в чугуне кремния и от скорости охлаждения металла в литейной форме. Увеличение концентрации углерода и кремния, а также замедление охлаждения повышают степень графитизации чугуна – кристаллизацию свободного графита из жидкого сплава.

Чугуны имеют низкую пластичность, обладают пониженной температурой плавления и хорошими литейными свойствами. Отливки из чугуна выполняются более сложной формы, чем из стали.

Благодаря сочетанию высоких литейных свойств, достаточной прочности, износостойкости, а также относительной дешевизне, чугуны широко применяются в машиностроении. Детали машин, полученные из чугуновых отливок, дешевле, изготовленных обработкой резаньем из горячекатаных стальных профилей, поковок, штамповок. Хорошая жидкотекучесть и малая усадка позволяют получать качественные отливки сложной формы при малой толщине стенок.

Выплавляют чугуны в доменных печах, в которых получают перedельные (белые), специальные (ферросплавы) и литейные (серые) чугуны. Литейные переплавляют в вагранках или электропечах. В процессе переплавки из чугуна путем окисления удаляется некоторое количество серы и фосфора. В химический состав чугуна кроме железа и углерода входят марганец, кремний, сера и фосфор.

Классификация чугунов в зависимости от химического состава, количества цементита, структуры свободного графита и уровня механических свойств:

1. Белые чугуны – весь углерод в связанном состоянии в виде цементита, имеющий в изломе белый блестящий цвет.
2. Серые чугуны, в которых весь углерод или большая его часть находится в виде графита пластинчатой формы, придающий излому серый цвет.
3. Высокопрочные чугуны, имеющие частицы графита шаровидной формы.
4. Ковкие чугуны с хлопьевидными частицами графита.
5. Специальные чугуны с легирующими добавками и особыми свойствами.

2.1. Белый чугун

Такое название он получил по виду излома, который имеет матово-белый цвет. Белые чугуны образуют структуру при ускоренной кристаллизации соглас-

но диаграмме Fe – Fe₃C. Весь углерод находится в связанном состоянии, в основном в виде цементита. Белые чугуны в зависимости от содержания углерода могут быть доэвтектические (перлит + ледебурит + цементит вторичный), эвтектическими (ледебурит) и заэвтектическими (цементит первичный + ледебурит). Эти чугуны имеют высокую твердость (HB 450-550) из-за большого количества цементита, вследствие этого они хрупкие и для изготовления деталей машин не используются.

Белый чугун служит для получения ковкого чугуна с помощью графитизирующего отжига.

Ограниченное применение находят чугунные отливки с отбеленной поверхностью. Высокая поверхностная твердость дает высокую износостойкость. Их применяют для изготовления валков прокатных станков, шаров мельниц для размола породы, тормозных колодок.

2.2. Серый чугун

Он имеет в металлической основе включения пластинчатого графита, образовавшегося в процессе графитизации. Излом от наличия графита имеет серый цвет. При определенном содержании углерода и кремния графитизация протекает тем полнее, чем медленнее идут кристаллизация и охлаждение в литейной форме, что определяется и толщиной стенок отливки.

Поскольку структура чугуна состоит из металлической основы и графита, то и свойства зависят от них.

Графит по сравнению с матрицей (основой) обладает низкими механическими свойствами и, в известной степени, можно считать его как пустоты и трещины. Количественное соотношение основы и пустот влияет на механические свойства чугуна, с увеличением последних свойства ухудшаются.

При действии растягивающих напряжений образуются центры разрушения на краях графитных включений. Значительно лучше ведет себя чугун при напряжениях сжатия и изгиба. Серые чугуны содержат железо, углерод, кремний, марганец и вредные примеси – серу и фосфор. Фосфор частично растворяется в феррите (≈0,3%) и, кроме того, входит в тройную эвтектику (Fe-C-P) с температурой плавления 950°C. Это улучшает литейные свойства чугуна. Эвтектика тверда и хрупка, что увеличивает износостойкость, а хорошие литейные свойства позволяют получать отливки сложной формы.

Сера снижает механические и литейные свойства чугунов и повышает склонность к образованию трещин.

Кремний входит в состав серых чугунов (1 - 3,0%) и обладает сильным графитизирующим действием.

Марганец (0,2 - 1,1%) положительно влияет на механические свойства чугуна, затрудняет графитизацию и способствует отбеливанию чугуна.

Устанавливая содержание углерода (2,2 - 3,7%) и кремния (1 - 3,0%) в чугуне, задавая скорость охлаждения металла в форме, можно изменять сте-

пень графитизации и получать структуру отливки с определенными свойствами.

В небольшом количестве в серые чугуны могут попасть из руды хром, никель, медь, которые также влияют на условия графитизации. Количество графитных включений и структура матрицы отвечают за свойства серого чугуна.

По структуре металлической основы серые чугуны разделяют на три вида:

- серый перлитный со структурой перлит + графит. Количество связанного углерода составляет $\approx 0,8\%$;

- серый ферритно-перлитный со структурой феррит + перлит + графит. Количество связанного углерода $< 0,8\%$;

- серый ферритный со структурой феррит + графит. Весь углерод присутствует в виде графита.

Механические свойства серого чугуна зависят от свойств металлической основы и ее количества, формы и размера графитных включений (пустот).

В соответствии с ГОСТ 1412-95 серый чугун маркируют буквами СЧ и цифрой, обозначающей временное сопротивление при испытаниях на растяжение в МПа, уменьшенное в 10 раз.

Пример маркировки:

СЧ10 – чугун серый, временное сопротивление при испытании на растяжение (предел прочности) $\sigma_B = 100$ МПа.

Серый чугун характеризуется низкими механическими свойствами при растяжении, хорошей жидкотекучестью, легко обрабатывается резаньем, обладает хорошими антифрикционными свойствами, гасит вибрации и резонансные колебания, обладает плохой свариваемостью.

Графит способствует измельчению стружки при обработке резаньем и оказывает смазывающее действие, что повышает износостойкость чугуна.

Ферритные серые чугуны марок СЧ10, СЧ15 используются для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, суппорты, тормозные барабаны, диски сцепления и т.д.

Ферритно-перлитные серые чугуны марок СЧ20, СЧ25 применяются для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: картеры двигателей, поршни цилиндров, тормозные барабаны, станины станков.

Перлитный чугун применяют для отливки станин прессов, станов, молотов. Используют перлитные серые модифицированные чугуны. Их получают при добавлении в жидкий чугун перед разливкой специальных добавок – ферросилиция (0,3 - 0,6%) или силикокальция (0,3 - 0,5% от массы шахты).

Это СЧ40 и СЧ45, обладающие более высокими механическими свойствами благодаря измельченным графитным включениям. Изготавливают корпуса насосов, компрессоров и гидроприводов.

Для деталей, работающих при повышенных температурах, применяют легированные серые чугуны, содержащие хром, никель, молибден и алюминий.

2.3. Высокопрочный чугун

Высокопрочный чугун имеет графит шаровидной (глобулярной) формы. Его получают модифицированием серого чугуна магнием. Магний увеличивает поверхностное натяжение графита с образованием пузырьков пара, в которые диффундирует углерод. После затвердевания графит приобретает округлую форму. Этот процесс сопровождается возгоранием, поэтому чистый магний заменяют лигатурами (сплав магния и никеля).

После модифицирования чугун имеет химический состав: 3,0 - 3,6% С; 1,8 - 2,9% Si; 0,4 - 0,7% Mn; 0,02 - 0,08% Mg; <0,15% P; <0,03% S. По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть ферритным, ферритно-перлитным или перлитным. Ферритный чугун состоит из феррита и шаровидного графита и около 20% перлита. Перлитный чугун состоит из сорбитообразного или пластинчатого перлита, шаровидного графита и около 20% феррита.

Шаровидный графит меньше концентрирует напряжение, чем пластинчатый, и, следовательно, менее активно влияет на механические свойства металлической основы. Чугуны с шаровидным графитом имеют более высокую прочность и несколько пластичны.

В соответствии с ГОСТ 7293-95 высокопрочный чугун маркируют буквами ВЧ и цифрой, обозначающей временное сопротивление при испытании на растяжение (МПа), уменьшенное в 10 раз.

Пример маркировки:

ВЧ45 – чугун высокопрочный, временное сопротивление при испытании на растяжение (предел прочности) $\sigma_B = 450$ МПа.

Высокопрочный чугун имеет высокую коррозионную стойкость и жаростойкость, хорошие антифрикционные и литейные свойства, достаточную износостойкость, легко обрабатывается резаньем.

Из высокопрочных чугунов изготавливают ответственные детали, работающие в условиях знакопеременных нагрузок: зубчатые колеса, коленчатые валы, кронштейны, ступицы, суппорты тормозных систем, шестерни главной передачи, шатуны, тормозные барабаны, детали картеров, поршневые кольца, подвески рессор, блоки цилиндров и т.д. В тяжелом машиностроении из чугуна производят: шаботы молотов, детали турбин, прокатные валки; в металлургии – изложницы; в транспортном и сельскохозяйственном машиностроении – прицепные скобы, шестерни и звездочки, ступицы колес, диски муфт, рычаги, педали, шкивы, зубья борон, стойки корпусов плугов, опорные катки.

Иногда для улучшения механических свойств применяют термическую обработку отливок: закалку и отпуск при 500...600°C, для увеличения пластичности – отжиг, способствующий сфероидизации перлита.

2.4. Ковкий чугун

В ковком чугуне графит имеет хлопьевидную форму. Его получают в результате специального графитизирующего отжига доэвтектического белого чугуна.

Химический состав ковкого чугуна: 2,2 - 3,0% С; 0,7 - 1,5% Si; 0,2 - 0,6% Mn; 0,2% P; 0,1% S. Выплавляют чугун в электропечах, затем разливают в формы, а отливки подвергают длительному отжигу.

При производстве ковкого чугуна важно, чтобы отливки белого чугуна, подвергаемые отжигу, были тонкостенными. Иначе в сердцевине при кристаллизации будет выделяться пластинчатый графит, и чугун станет не пригодным для отжига.

По структуре металлической основы после отжига ковкие чугуны бывают ферритными и перлитными.

Излом чугуна, структура которого состоит из графита и феррита, будет темным, такой чугун называют черносердечным. Если в структуре чугуна в результате быстрого охлаждения сохранится перлит, чугун называют светлосердечным.

Согласно ГОСТ 1215-95, ковкий чугун обозначают буквами КЧ и двумя цифрами, первая из которых означает минимальный предел прочности (σ_B , МПа), уменьшенный в 10 раз, а вторая – минимальное относительное удлинение (δ) в процентах.

Пример маркировки:

КЧ 33-8 – чугун ковкий, временное сопротивление при испытании на растяжение (предел прочности) $\sigma_B = 330$ МПа, относительное удлинение $\delta = 8\%$.

Отсутствие литейных напряжений, снижаемых за счет длительного отжига и разобшенности графитовых включений, обуславливает высокие механические свойства ковких чугунов.

Ковкий чугун пригоден для деталей высокой прочности, которые подвержены сильному истиранию и ударным знакопеременным нагрузкам.

Отливки из ковкого чугуна применяют в сельскохозяйственном машиностроении (шестерни, звенья цепей, звездочки, храповики, ступицы); в автомобиле- и тракторостроении (задние мосты, ступицы, тормозные колодки, картеры дифференциалов, детали рулевого управления, втулки); вагоно- и судостроении (кронштейны, детали тормозной системы, сцепки, подшипники); в электротехнической промышленности станкостроении, текстильном машиностроении; для изготовления строительного оборудования.

Большая плотность отливок позволяет изготавливать детали водо- и газопроводных установок.

Стоимость же ковкого чугуна достаточно высокая из-за продолжительного дорогостоящего отжига.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Материаловедение [Электронный ресурс]: Учебное пособие/Давыдова И. С., Максина Е. Л., 2-е изд. - М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 228 с. [ЭБС ИНФРА-М]
2. *Материаловедение и технология металлов* [Электронный ресурс]: Учебник / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифулин. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2014. - 397 с. [ЭБС ИНФРА-М].
3. *Материалы и их технологии. В 2 ч. Ч. 1.* [Электронный ресурс]: Учебник / В.А. Горохов, Н.В. Беляков, А.Г. Схиртладзе; Под ред. В.А. Горохова. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2014. - 589 с. [ЭБС ИНФРА-М]
4. *Галимов Э.Р.* Материаловедение для транспортного машиностроения [Электронный ресурс]: учебное пособие / Э.Р. Галимов, Л.В. Тарасенко, М.В. Унчикова [и др.]. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2013. – 443 с. [ЭБС Лань]
5. *Алексеев Г.В.* Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Материаловедение»: учебное пособие / Г.В. Алексеев, И.И. Бриденко, С.А. Вологжина. – СПб. : Лань, 2013. – 208 с.
6. *Адашкин А.М.* Материаловедение (металлообработка): учеб. для нач. проф. образования / А.М. Адашкин, В.М. Зуев. – М.: ИРПО, ПрофОбрИздат, 2001. – 240 с.
7. *Материаловедение и технология конструкционных материалов.* Под редакцией В.С. Чередниченко. М.: Омега – Л. 2006 – 752с.
8. *Оськин В.А.* Материаловедение. Технология конструкционных материалов/ В.А. Оськин и др. Кн. 1 – М.: КолосС, 2008 – 447с.4.
9. *Ржевская С.В.* Материаловедение: учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Моск. гос. гор. ун-та, 2003. – 456 с.
10. *Дальский А.М.* технология конструкционных материалов./А.М. Дальский и др.-М.: Машиностроение; 2005. - 592с.
11. *Конструкционные материалы:* справочник / под. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 687 с.
12. *Марочник сталей и сплавов/* под ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2001. – 671 с.
13. Журавлев В.Н. Машиностроительные стали: справочник. – 4-е изд., перераб. и доп. /В.Н. Журавлев, О.И. Николаева. – М.: Машиностроение, 1992. – 480с.
14. Буговский К.Г. Материалы приборостроения/ К.Г. Буговский, А.В. Лясникова, Н.В. Протасова, В.Н. Лясников. – Саратов: СГТУ, 2005.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Углеродистые стали	3
1.1. Классификация углеродистых сталей.....	4
1.2. Стали обыкновенного качества.....	6
1.3. Углеродистые качественные конструкционные стали.....	10
1.4. Углеродистые инструментальные стали.....	13
1.5. Специальные стали.....	14
1.5.1. Автоматные стали.....	14
1.5.2. Литейные стали.....	16
1.5.3. Арматурные стали.....	16
1.5.4. Котельные стали.....	17
1.5.5. Мостовые стали.....	19
1.5.6. Рельсовая сталь.....	20
1.6. Легированные стали.....	22
1.6.1. Строительные стали (низколегированные).....	24
1.6.2. Конструкционные легированные стали.....	24
1.6.3. Стали машиностроительные специализированные.....	25
2. Чугуны	28
2.1. Белый чугун.....	29
2.2. Серый чугун.....	29
2.3. Высокопрочный чугун.....	31
2.4. Ковкий чугун.....	32
Библиографический список.....	33

Составители:

Агафонова Екатерина Васильевна

Куроедов Юрий Борисович

Коноводов Виталий Васильевич

КЛАССИФИКАЦИЯ, НАЗНАЧЕНИЕ, МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор

Компьютерная верстка

Н.К. Крупина

Е.В. Агафонова

Подписано в печать

Формат 60х84. $\frac{1}{16}$ Объем 2,5 уч.- изд. л., 5,2 усл. печ.л.

Тираж 100 экз. Бумага офсетная. Изд. № 111. Заказ № ____

Отпечатано в издательстве НГАУ

630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, офис 106.

Тел. факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru

