

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

Цель работы

1. Изучить теоретический материал по теме работы.
2. Получить представление об углеродистых сталях, как самом распространённом конструкционном материале. Изучить взаимосвязь между составом, структурой и механическими свойствами углеродистых сталей. Усвоить маркировку сталей.
3. Научиться выбирать сталь с необходимыми свойствами для конкретного назначения.
4. Выполнить индивидуальное задание.

Основные сведения по теме работы

Сталь – важнейший материал современной техники. Уникальное сочетание прочности, твёрдости и пластичности обусловлено особенностями строения этого сплава: наличием в структуре отожжённой стали перлита, в котором пластинки мягкого, вязкого феррита чередуются с твёрдыми и прочными пластинками цементита. Возможность значительного упрочнения в результате закалки и легирования, технологичность и недефицитность исходного сырья делают сталь незаменимой для изготовления многих деталей и конструкций. Объём выплавки стали в мире непрерывно растёт; количество марок стали превышает 2000.

Примерно 80 % от всего объема выплавляемой стали составляют углеродистые стали, содержащие только железо, углерод и небольшую долю компонентов, неизбежно попадающих в сталь при выплавке: кремний, марганец, серу и фосфор.

Влияние углерода на свойства стали

Углерод – не случайная примесь, а важнейший компонент углеродистой стали, создающий её свойства.

Машиностроительные заводы получают сталь с металлургических предприятий в отожжённом или горячекатаном состоянии. Структура конструкционных сталей (доэвтектоидных) состоит из феррита и перлита, инструментальных – из перлита и цементита.

С увеличением содержания углерода в структуре стали увеличивается количество цементита – очень твёрдой и хрупкой фазы. Твёрдость цементита превышает твёрдость феррита примерно в 10 раз (800 *HV* и 80 *HV* соответственно). Поэтому прочность и твёрдость стали растут с повышением содержания углерода, а пластичность и вязкость, наоборот, снижаются (рис. 5.1).

При повышении содержания углерода до 0,8 % увеличивается доля перлита в структуре (от 0 до 100 %), поэтому растут и твёрдость, и прочность. Но при дальнейшем росте содержания углерода появляется вторичный цементит по границам перлитных зерен. Твёрдость при этом почти не увеличивается, а прочность снижается из-за повышенной хрупкости цементитной сетки.

Кроме того, увеличение содержания углерода приводит к повышению порога хладноломкости: каждая десятая доля процента повышает t_{50} примерно на 20°. Это значит, что уже сталь с 0,4 % С переходит в хрупкое состояние примерно при 0 °С, т. е. менее надежна в эксплуатации.

Влияет содержание углерода и на все технологические свойства стали: чем больше в стали углерода, тем она труднее обрабатывается резанием, хуже деформируется (особенно в холодном состоянии) и хуже сваривается.

Влияние постоянных примесей на свойства стали

Полезные примеси, марганец и кремний, попадают в сталь из исходного материала – чугуна, а также при раскислении.

Марганец, содержащийся в углеродистой стали в количестве 0,3-0,8 %, повышает предел прочности, немного снижает вязкость. Он связывает серу в сульфид MnS , в этом его главная польза.

Содержание **кремния** в углеродистой стали не должно превышать 0,4 %. Растворяясь в феррите, кремний значительно повышает предел текучести. При этом ухудшается штампуемость стали: листовая сталь может давать надрывы при глубокой вытяжке. Сталь, предназначенную для получения деталей холодной листовой штамповкой, кремнием (ферросилицием) не раскисляют.

Сера – вредная примесь. Она вызывает *красноломкость* стали: хрупкость при горячей обработке давлением. В сталь попадает, в основном, из доменного топлива – кокса. Сера с железом образует сульфид FeS , а FeS с железом, в свою очередь, образует легкоплавкую эвтектику с температурой плавления 988 °С. Под ковку и прокатку стальные слитки нагревают до 1200 °С. Поэтому при повышенном

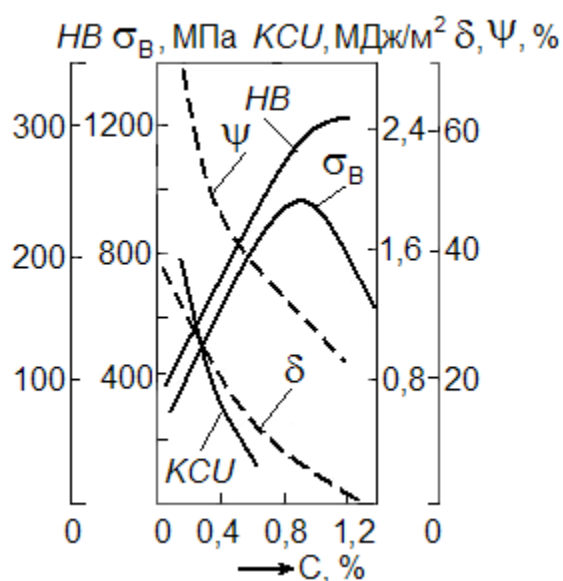


Рис. 5.1. Влияние углерода на механические свойства стали

содержании серы в металле границы зёрен могут оплавиться, и заготовка разрушится.

Марганец активнее железа взаимодействует с серой и связывает её в сульфид MnS , который эвтектики не образует. Но сульфиды, как любые неметаллические включения, являются концентраторами напряжений, снижают пластичность и вязкость. Поэтому содержание серы в стали должно быть ограничено.

Фосфор, напротив, вызывает хладноломкость стали, сдвигая порог хладноломкости в область более высоких температур. Каждая сотая доля процента фосфора повышает t_{50} примерно на 25° ! Это значит, что фосфор еще опаснее, чем сера. Его содержание еще более ограничено. Для снижения содержания фосфора в стали нужно повышать качество шихты, применять флюсы, удаляющие фосфор.

При выплавке в сталь попадают *газы* (азот, кислород, водород). Это тоже вредные примеси. Они снижают пластичность, увеличивают склонность к хрупкому разрушению. Оксиды являются местами зарождения трещин. Азот делает сталь непригодной для холодной штамповки. Водород вызывает охрупчивание закалённой стали. Он восстанавливает металлы из оксидов с образованием воды, а вода испаряется при нагреве и вызывает внутренние надрывы в металле – флокены. Содержание газов в стали ограничивается тысячными долями процента.

Классификация углеродистых сталей

Стали можно подразделять на группы по различным классификационным признакам.

1) *По химическому составу* стали делятся на углеродистые и легированные. В свою очередь, углеродистые стали можно подразделить на низкоуглеродистые (до 0,3 % C), среднеуглеродистые (от 0,3 до 0,6 % C) и высокоуглеродистые (свыше 0,6 % C).

2) *По структуре* стали классифицируют на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные, о чем уже говорилось при рассмотрении диаграммы железо – углерод.

3) *По степени раскисления* стали подразделяются на спокойные, полуспокойные и кипящие.

Раскислением называют последний этап выплавки стали, когда в расплав добавляют элементы, более активные, чем железо, чтобы восстановить его из оксида FeO . Марганец и кремний вводятся в жидкую сталь в виде ферросплавов – ферромарганца и ферросилиция, алюминий – в виде металла технической чистоты. Недостаточно раскисленная сталь в изложнице «кипит»: из нее выделяются пузырьки CO , так как идет процесс восстановления железа углеродом, поэтому её называют кипящей.

Спокойная сталь – это хорошо раскисленная сталь. При выплавке спокойной стали в конце процесса последовательно осуществляется её раскисление марганцем, кремнием и алюминием.

Полуспокойная сталь раскисляется только марганцем и алюминием. Поэтому из неё в меньшей степени удалён кислород.

Кипящая сталь – это плохо раскисленная сталь. Раскисление в этом случае осуществляется только марганцем. В стали к моменту разливки остается кислород, образующий с углеродом газообразный оксид СО. Пузырьки СО поднимаются в жидкой стали к поверхности, создавая видимость «кипения» расплава в изложнице. Они сохраняются в слитке стали при кристаллизации, ухудшая механические свойства.

4) Классификация сталей *по качеству* лежит в основе маркировки углеродистых сталей. *Качество стали* – это металлургическое понятие. Оно определяется содержанием вредных примесей: серы, фосфора и газов. Чем этих примесей меньше, тем качество стали выше. Дальнейшая обработка, механическая или термическая, не способна изменить качество стали, сложившееся в процессе выплавки. Выделяют четыре группы сталей по качеству (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Классификация сталей по качеству

Группа	Стали обыкновенного качества	Качественные стали	Высококачественные стали	Особо высококачественные стали
Номер ГОСТа	ГОСТ 380-94	ГОСТ 1050-88		
Содержание вредных примесей	$\leq 0,05 \% S$; $\leq 0,04 \% P$	$\leq 0,04 \% S$ $\leq 0,035 \% P$	$\leq 0,025 \% S$ и P	$\leq 0,015 \% S$ и P

Маркировка углеродистых сталей

Стали обыкновенного качества изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6 и Ст3Г, Ст5Г с повышенным содержанием марганца. Буквы Ст обозначают «сталь», цифры – условный номер марки в зависимости от химического состава. С увеличением номера марки увеличивается содержание углерода и марганца в стали (табл. 5.2). Например, в стали марки Ст1 содержится 0,06-0,12 % С и 0,25-0,5 % Мп; в стали марки Ст6 – 0,38-0,49 % и 0,5-0,8 % Мп. Стали Ст3Г и Ст5Г содержат около 1 % Мп. Чем больше номер марки, тем выше прочностные свойства и ниже пластичность стали (табл. 5.3). Например, сталь марки Ст1 имеет $\sigma_b = 320-400$ МПа и $\delta > 33 \%$, а сталь марки Ст6 – $\sigma_b = 600-720$ МПа и $\delta = 11-16 \%$.

Таблица 5.2

*Массовая доля элементов (%) в углеродистых сталях
обыкновенного качества*

Сталь	C	Mn	Si в стали			S	P
			кп	пс	сп		
Ст0	≤ 0,23	–	–	–	–	0,06	0,07
Ст1	0,06–0,12	0,25–0,5	0,05	0,05–0,17	0,12–0,3	0,05	0,04
Ст2	0,09–0,15	0,25–0,5	0,05	0,05–0,17	0,12–0,3	0,05	0,04
Ст3	0,14–0,22	0,3–0,65	0,07	0,05–0,17	0,12–0,3	0,05	0,04
Ст4	0,18–0,27	0,4–0,7	0,07	0,05–0,17	0,12–0,3	0,05	0,04
Ст5	0,28–0,37	0,5–0,8	–	0,05–0,17	0,15–0,35	0,05	0,04
Ст6	0,38–0,49	0,5–0,8	–	0,05–0,17	0,15–0,35	0,05	0,04

Таблица 5.3

Механические свойства углеродистых сталей обыкновенного качества

Сталь	σ_b , МПа	σ_t , МПа	δ , %
		Не менее	
Ст0	≥ 310	–	20
Ст1	320–420	–	31
Ст2	340–440	200	29
Ст3	380–490	210	23
Ст4	420–540	240	21
Ст5	500–640	260	17
Ст6	600	300	12

Примечание. Механические свойства приведены для спокойных и полуспокойных сталей. В сталях Ст1кп – Ст4кп значения σ_b на 10–20 МПа и σ_t на 10 МПа меньше, а значения δ на 1 % больше, чем в спокойных и полуспокойных сталях того же номера.

В конце марки ставятся буквы «кп», «пс» или «сп», показывающие степень раскисления стали при выплавке. Они означают соответственно «кипящая», «полуспокойная» и «спокойная». Например, Ст3кп, Ст4пс, Ст5Гсп.

Содержание кремния в стали определяется степенью раскисления. Кипящая сталь почти не содержит кремния (не более 0,05 %). В полуспокойной стали доля кремния составляет 0,05–0,15 %, в спокойной – 0,15–0,3 %.

Степень раскисления сказывается на свойствах стали и её стоимости. Кипящие стали самые дешевые, но у спокойных более высокие механические свойства, меньшая склонность к хладноломкости. Зато кипящие стали можно использовать для получения деталей листовой штамповкой с глубокой вытяжкой. У спокойных сталей с повышенным содержанием кремния сопротивление

деформированию возрастает, сталь сильно упрочняется, и возможно появление надрывов при штамповке.

Стали обыкновенного качества поставляются в горячекатаном состоянии. Их структура и свойства заданы при получении изделий на металлургическом заводе. Поэтому при изготовлении деталей на предприятиях-потребителях металла без применения горячей обработки механические свойства стали будут соответствовать уровню, гарантированному Государственным Стандартом (ГОСТ 380-94) для данной марки.

Если из этих сталей получают изделия с применением горячей обработки (ковки, штамповки), то структура и, следовательно, свойства стали меняются. Для улучшения структуры и свойств после изготовления изделия горячей обработкой давлением может проводиться термическая обработка – отжиг или нормализация.

Металлургические заводы выпускают стали обыкновенного качества в виде проката самого различного профиля и размеров. Это могут быть прутки круглого, квадратного, шестигранного сечения; уголки, швеллеры, листы, трубы, балки и т. д.

Стали обыкновенного качества, особенно стали марок Ст2, Ст3, применяются для изготовления сварных конструкций (фермы, рамы).

В сельскохозяйственном машиностроении из сталей Ст3, Ст4 делают валики, оси, рычаги, получаемые холодной штамповкой, цементируемые шестерни, червяки, поршневые кольца.

Среднеуглеродистые стали Ст5 и Ст6 применяют для более нагруженных изделий: рельсов, валов, железнодорожных колес.

Качественные стали. ГОСТ 1050-88 регламентирует химический состав и механические свойства качественных сталей, поставляемых в виде проката и нормализованных поковок (табл. 5.4).

Марки *конструкционных* качественных сталей обозначаются содержанием углерода в сотых долях процента:

05, 08, 10, 15, 20, ... 45, 50, ... 85.

В марках спокойных качественных сталей степень раскисления не указывается. Кипящими (почти не содержащими кремния) могут быть стали марок 05, 08, 10, 15, 20; полуспокойными (около 0,17 % Si) – стали 08, 10, 15, 20.

Примеры марок качественных сталей: 35, 70, 08кп, 10пс.

Марки *инструментальных* качественных сталей обозначаются буквой «У» и содержанием углерода в десятых долях процента:

У7, У8, У9, ... У14.

Высококачественные стали содержат пониженное количество вредных примесей, благодаря чему менее склонны к хрупкому разрушению, более надёжны при эксплуатации. Обозначение марок

такое же, как и у качественных сталей, но в конце марки ставится буква «А»: 45А, У10А.

Особо высококачественные стали содержат еще меньше вредных примесей и неметаллических включений. Этого можно добиться только за счет двойного переплава. Способ переплава указывается в конце марки через дефис: «-Ш» – электрошлаковый, «-ВД» – вакуумно-дуговой, «-ШД» – электрошлаковый и вакуумно-дуговой и т. п. Именно это обозначение говорит об особо высоком качестве стали. Но углеродистые стали с таким уровнем качества не выплавляют, так как это делает сталь неоправданно дорогой. Только легированные стали для особо ответственных назначений подвергают двойному переплаву: 30ХГС-Ш, 5ХНТ-ВД, ШХ15-Ш.

Таблица 5.4

Свойства углеродистых качественных сталей (ГОСТ 1050-88)

Сталь	С, %	Свойства после нормализации*					НВ после отжиг а	KCU, МДж/м ^{2**}
		σ _B	σ ₀₂	δ	ψ	НВ		
		МПа		%				
08	0,05–0,12	320	200	33	60	131	—	—
10	0,07–0,14	340	210	31	55	143	—	—
15	0,12–0,19	380	230	27	55	149	—	—
20	0,17–0,24	420	250	25	55	163	—	—
25	0,22–0,3	460	280	23	50	170	—	0,9
30	0,27–0,35	500	300	21	50	179	—	0,8
35	0,32–0,4	540	320	20	45	207	—	0,7
40	0,37–0,45	580	340	19	45	217	187	0,6
45	0,42–0,5	610	360	16	40	229	197	0,5
50	0,47–0,55	640	380	14	40	241	207	0,4
55	0,52–0,6	660	390	13	35	255	217	—
60	0,57–0,65	690	410	12	35	255	229	—
65	0,62–0,7	710	420	10	30	255	229	—
70	0,67–0,75	730	430	9	30	269	229	—
75	0,72–0,8	1100	900	7	30	285	241	—
80	0,77–0,85	1100	950	6	30	285	241	—
85	0,82–0,9	1150	1000	6	30	302	255	—
60Г	0,57–0,65	710	420	11	35	269	229	—
65Г	0,62–0,7	750	440	9	—	285	229	—
70Г	0,67–0,75	800	460	8	—	285	229	—

* Механические свойства для сталей 75, 80, 85 гарантируются после закалки и среднего отпуска при температуре 480 °С.

** Ударная вязкость сталей 25 – 50 определяется после улучшения – закалки и высокого отпуска при температуре 600 °С.

5) По назначению можно выделить много различных групп. Основные группы – это строительные стали, конструкционные стали, инструментальные стали. В свою очередь, конструкционные стали

делятся на цементуемые стали, улучшаемые стали, рессорно-пружинные стали и т. д.

Строительные стали содержат не более 0,22 % С. Низкое содержание углерода необходимо для хорошей свариваемости, так как большинство строительных металлических конструкций соединяют различными способами сварки.

По содержанию вредных примесей это могут быть стали как обыкновенного качества, так и качественные. Стали поставляются в виде листов и сортового фасонного проката, иногда в нормализованном состоянии.

Во многие марки строительных сталей добавляют небольшое количество недефицитных легирующих элементов: Mn, Si, Cr, Ni, Cu, V, Ti. Такие стали прочнее углеродистых. Имеют низкий порог хладноломкости. Их применение позволяет экономить металл в строительных конструкциях.

Никель и медь добавляют потому, что они понижают порог хладноломкости и увеличивают коррозионную стойкость.

Конструкционные стали

Данная группа сталей применяется для изготовления деталей машин (валы, втулки, шестерни, рычаги, кулачки и т. п.).

По содержанию вредных примесей это качественные стали.

Среди материалов этой группы есть низкоуглеродистые стали, например: 08кп, 10, 15 (содержащие соответственно 0,08; 0,1; 0,15 % С) и среднеуглеродистые, примерами которых могут быть марки 40, 45, 50, 60 (в которых соответственно 0,4; 0,45; 0,5; 0,6 % С).

Низкоуглеродистые стали, вследствие их хорошей пластичности, широко применяются для изготовления изделий холодной пластической деформацией (например, штамповкой). В этом случае необходимо, чтобы металл выдерживал большие деформации без разрушения. Примерами подобных изделий могут быть детали кузова легковых автомобилей, корпуса или кожухи сложного профиля для различных изделий и т. п.

Стали марок 05, 08, 10 предназначены для получения деталей из листа холодной листовой штамповкой, в том числе глубокой вытяжкой.

Стали 15, 20, 25 используют для изготовления мелких деталей, работающих в нормализованном состоянии (крепеж, втулки, трубы, змеевики), а также для цементуемых деталей (кулачки, малонагруженные шестерни).

Среднеуглеродистые конструкционные стали используются для изготовления упрочняемых термической обработкой деталей. Чаще всего они подвергаются закалке и отпуску на твердость *HRC* 40–50.

Стали 30, 35, 40, 45, 50, 55 – улучшаемые стали. Они упрочняются закалкой с высоким отпуском. Детали работают в условиях

усталостного износа (шатуны, оси, маховики, зубчатые колёса, коленчатые валы).

Стали марок 50, 55 и 60 могут подвергаться нормализации и поверхностной закалке ТВЧ. Так упрочняют шейки коленчатых валов, кулачки распределительных валиков, зубья шестерен, длинные валы и ходовые винты.

Стали марок 60–85 и близкие к углеродистым стали 60Г, 65Г, 70Г применяют в качестве рессорно-пружинных.

Среди конструкционных углеродистых сталей есть так называемые *автоматные стали*. Это стали, которые за счет повышенного содержания серы и фосфора имеют хорошую обрабатываемость резанием. Используются они при массовом производстве деталей на станках-автоматах, автоматических линиях, т. е. там, где требуется высокая производительность обработки при достаточно хорошей стойкости режущего инструмента.

При обозначении автоматных сталей в начале марки ставится буква «А», например: А12, А20. Цифры показывают содержание углерода (0,12 и 0,20 %).

Эти стали имеют пониженную вязкость и пластичность, более низкую коррозионную стойкость, что связано с особенностями их состава. Широкое применение они находят при изготовлении крепёжных деталей типа гаек, болтов, шпилек.

Инструментальные стали

Эта группа сталей предназначена для изготовления различных видов инструмента: режущего, мерительного, штампового. Примеры инструмента из углеродистых инструментальных сталей: напильники, зубила, метчики, ножовочные полотна, мелкие штампы для холодного деформирования металла, шаберы, мерительные линейки и т. п.

Инструмент должен иметь высокую прочность, твёрдость и износостойкость, поэтому инструментальные стали упрочняют закалкой на мартенсит с последующим низкотемпературным отпуском. Они должны содержать большое количество углерода: 0,7–1,3 % С. Термическая обработка инструмента формирует мартенситную структуру с некоторым количеством избыточных карбидов (в заэвтектоидных сталях), что соответствует твёрдости 60–63 HRC.

Для инструмента, испытывающего при работе значительные динамические нагрузки, может производиться отпуск при более высокой температуре (270–350 °С). При этом изделию обеспечивается бо́льший запас вязкости и высокая работоспособность. Твёрдость получается на уровне 48–52 HRC.

При обозначении марок углеродистых инструментальных сталей в начале ставится буква У («углеродистая»), а затем цифра, показывающая содержание углерода в десятых долях процента, например: У8, У12. В этих сталях содержится соответственно 0,8 и 1,2 % С.

Выплавляются стали данной группы чаще всего как качественные. Но иногда инструментальные стали могут быть и высококачественными. В этом случае в конце марки ставится буква А. Например: У10А, У11А.

Следует иметь в виду, что из углеродистых инструментальных сталей изготавливают мелкий инструмент. Это связано с их низкой прокаливаемостью. Кроме того, такой инструмент должен работать с небольшим разогревом режущей кромки, не выше 200–250 °С, так как при более высоких температурах углеродистые стали быстро разупрочняются.