



Раздел I. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Тема 1.4. Углеродистые стали и чугуны

Занятие №1.

Учебные вопросы:

1. Влияние углерода и неизбежных примесей на свойства стали
2. Классификация, марки и расшифровка маркировки углеродистых сталей

Основной продукцией черной металлургии является углеродистая сталь. Это сплав железа с углеродом, в котором содержание углерода достигает 2,14%.

В углеродистой стали промышленного производства присутствуют различные примеси, которые по условиям появления в стали подразделяют на постоянные (всегда присутствующие в стали) и случайные. Постоянные элементы — связаны с существующей технологией производства стали (Mn, Si) и невозможностью полного удаления — P, S, O₂, N₂, P₂. Случайные элементы определяются составом руды металлического лома Cr, Ni, Cu, As.

Свойства сталей определяются содержанием углерода и примесей.

1. Влияние углерода и неизбежных примесей на свойства стали

Влияние углерода на свойства стали

Структура стали после медленного охлаждения состоит из двух фаз — феррита и цементита. Количество цементита возрастает в стали прямо пропорционально содержанию углерода (0,38% C — 5% Fe₃C; 0,7% C — 10% Fe₃C; 2% C — 30% Fe₃C). Твердые и хрупкие пластинки цементита повышают сопротивление движению дислокаций и тем самым повышают прочность, твердость, растет электросопротивление, коэрцитивная сила; понижаются пластичность, вязкость, теплопроводность, магнитная проницаемость. Повышение содержания углерода облегчает переход стали в хладноломкое состояние, каждые 0,1% C повышают температуру порога хладноломкости в среднем на 20°C.

Хладноломкость — склонность металла растрескиваться и ломаться при холодной механической обработке.

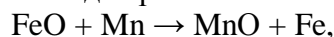
Недостаток этот не мешает железу выносить различные механические формоизменения в нагретом состоянии, коваться, свариваться и т. д.

Влияние постоянных примесей на свойства стали

Содержание постоянных примесей обычно ограничивается следующими верхними пределами: 0,8% Mn; 0,5% Si; 0,05% P; 0,05% S. При большем их содержании сталь следует относить к легированным, куда эти элементы введены специально.

Раскисление металлов — процесс удаления из расплавленных металлов (главным образом стали и других сплавов на основе железа) растворённого в них кислорода, который является вредной примесью, ухудшающей механические свойства металла.

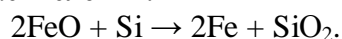
Марганец. Его вводят в любую сталь для раскисления:



т. е. для устранения оксида железа. Марганец хорошо растворяется в феррите и цементите. Он повышает прочность стали, практически не снижает пластичности, резко уменьшает красноломкость, т. е. хрупкость при высоких температурах, вызванную влиянием серы.



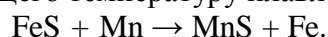
Кремний. Вводят в сталь для раскисления:



Кремний полностью растворим в феррите; сильно повышает предел текучести стали, что снижает способность стали к пластической деформации. В сталях, предназначенных для холодной штамповки и вытяжки, содержание кремния должно быть минимальное.

Фосфор. Железные руды, топливо, флюсы содержат какое-то количество фосфора, которое в процессе производства чугуна остается в нем в той или иной степени и затем переходит в сталь. Фосфор хорошо растворяется в феррите и аустените, а при высоком содержании образует фосфид Fe_3P (15,62% P). Растворяясь в феррите, фосфор искажает кристаллическую решетку и увеличивает пределы прочности и текучести стали, сильно уменьшает пластичность и вязкость; каждые 0,01% P повышают порог хладноломкости на 20...25°C. Фосфор является вредной примесью в сталях.

Сера. Как и фосфор, сера попадает в металл из руд, а также из печных газов — продукт горения топлива (SO_2). Сера весьма ограниченно растворима в феррите, и практически любое ее количество образует с железом сернистое соединение — сульфид железа FeS , который входит в состав эвтектики, имеющей температуру плавления 988°C. Она располагается преимущественно по границам зерен. При нагреве стали до температуры прокатки,ковки (1000...1200°C) эвтектика расплавляется, нарушая связь между зернами. В процессе деформации в этих местах образуются надрывы и трещины. Это явление носит название **красноломкости**. Введение марганца в сталь уменьшает вредное влияние серы, так как при введении его в жидкую сталь идет образование сульфида марганца, имеющего температуру плавления 1620°C:



Частицы MnS располагаются в виде отдельных включений и при деформации вытягиваются в строчки вдоль прокатки.

Сернистые соединения сильно снижают механические свойства стали при статическом и циклическом нагружении, особенно вязкость, пластичность, предел выносливости. Сера является вредной примесью в сталях.

Азот, кислород. Содержатся в стали в небольших количествах, зависящих от способа производства. Они могут в газообразном состоянии находиться в различных несплошностях, в α -твердом растворе, присутствовать в стали в виде хрупких **неметаллических** включений: оксидов (FeO , SiO_2 , Al_2O_3 и др.), нитридов (Fe_2N , Fe_4N , Mn_4N и др.). Азот, кислород и их соединения резко повышают порог хладноломкости, уменьшают ударную вязкость, понижают сопротивление хрупкому разрушению.

Водород. С железом гидридов не образует. Поглощенный при выплавке водород не только охрупчивает сталь, но приводит к образованию **флокенов** — тонких трещин овальной или округлой формы. Кроме того, водород в металл может попасть в процессе нанесения гальванических покрытий, при сварке, при контакте с водородсодержащими средами. Для снижения **водородной хрупкости** (удаления водорода) металл нагревают до 150...180°C, желательнее в вакууме при давлении порядка 10^{-2} ... 10^{-3} мм рт. ст.

Улучшение качества стали. Для удаления из жидкой стали растворенных в ней газов и неметаллических включений применяют ее **вакуумную обработку**. Для этого ковш с жидкой сталью помещают в герметически закрытую камеру, где создается разрежение 267...667 Па (2...5 мм рт. ст.). Бурно выделяющиеся газы увлекают с собой и выносят из металла неметаллические включения. В течение 10...15 мин количество растворенных газов уменьшается в 3...5 раз, количество неметаллических включений — в 2...3 раза.

Для защиты металла от окисления разливку стали ведут в **инертной атмосфере**, например аргона, под слоем **синтетического шлака**. Для получения сталей особо высокого качества применяют электрошлаковый переплав (**ЭШП**), **плазменно-дуговой** переплав, электронно-лучевой переплав, электродуговой вакуумный переплав. Металл хорошо очищается (рафиниру-

ется) от газов и неметаллических включений обработкой шлаком и направленной кристаллизацией жидкого расплава, созданием глубокого вакуума.

2. Классификация, марки и расшифровка маркировки углеродистых сталей

В зависимости от условий и степени раскисления различают:

1) **спокойные** — это сталь, у которой практически не происходит выделения газов при затвердевании слитка после его разливки. Это обеспечивается полным раскислением стали — полным удалением из нее кислорода и образованием усадочной раковины в верхней части слитка. К маркировке стали добавляют буквы «сп».

2) **кипящие** — сталь характеризуется: большой степенью выделения газов при затвердевании стали в изложнице; заметным различием химического состава по поперечному сечению слитка и между верхней и нижней частями слитка.

Выделение СО в виде пузырьков создает эффект кипения стали. В процессе кристаллизации газовые пузырьки могут остаться в слитке. Это наиболее дешевые стали с низким качеством. К маркировке стали добавляют буквы «кп».

3) **полуспокойные** — в стали выделение газов при ее раскислении подавляется не полностью, так как сталь раскисляется только частично.

По качеству и стоимости занимает промежуточное положение между спокойными и кипящими. К маркировке стали добавляются буквы «пс».

Классификация углеродистых сталей по назначению. Схема классификации приведена на рис. 1.1.

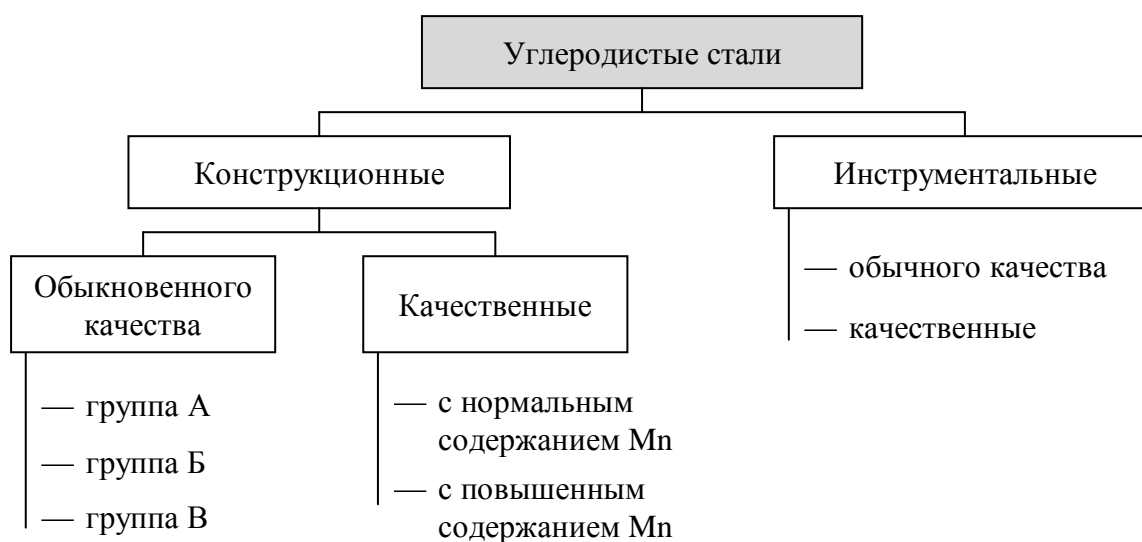


Рис. 1.1. Схема классификации углеродистых сталей

Стали обыкновенного качества

Эти стали менее очищены от вредных примесей, содержат больше серы и фосфора, чем конструкционные качественные стали, и являются наиболее дешевыми. Стали обыкновенного качества маркируют буквами «Ст», что обозначает «сталь», после которых ставят цифры от 0 до 7 — условный номер марки стали. Затем ставят степень раскисления.

В зависимости от гарантируемых свойств и назначения стали делят на три группы.

Группа А — поставляется с гарантируемыми механическими свойствами. Не рекомендуется применять для изготовления ответственных сварных конструкций и деталей, подвергаемых термической обработке. Из сталей этой группы изготовляют детали крепежа (болты, гайки, шайбы и т. д.), неответственные элементы металлоконструкций (настилы, арматура, обшивки и т. д.). Марки сталей, например, Ст2пс, Ст3кп, Ст4сп. Чем больше номер, тем выше прочность и ниже пластичность.



Группа Б — поставляется с гарантируемым химическим составом. Перед маркой стали ставится буква «Б». Применяются для изготовления деталей, подвергаемых термической обработке (валы, оси, шестерни и др.). Для ответственных сварных конструкций — не рекомендуются, так как значения механических свойств в этой группе сталей не гарантируются. С увеличением порядкового номера стали содержание углерода в ней повышается.

Группа В — поставляется с гарантируемыми механическими свойствами и химическим составом по нормам групп А и Б. Перед маркой стали ставится буква «В». Применяется для изготовления сварных металлоконструкций (трубопроводы пара, воды, горючего газа; резервуары; газгольдеры; котельные аппараты; вспомогательное оборудование и др.), сортового и фасонного проката (швеллеры, уголки, тавры, двутавры и др.), деталей, подвергаемых термической обработке (валы, оси, втулки и др.).

Качественные углеродистые стали

К этим сталям предъявляются более высокие требования по химическому составу и структуре: ограничены пределы по содержанию углерода, меньше неметаллических включений, серы и фосфора ($S < 0,04\%$; $P < 0,035 \dots 0,04\%$).

Качественные углеродистые стали маркируют цифрами, показывающими содержание углерода в сотых долях процента. В зависимости от содержания марганца стали делят на две группы: с нормальным и с повышенным содержанием марганца (до 1,2%, в этом случае к маркировке стали добавляют букву «Г»).

Стали I группы: 08, 10, 15, 20, 25, 30...85.

Стали II группы: 15Г, 20Г, 25Г, 30Г, 35Г...70Г.

Низкоуглеродистые стали 08 и 10 применяют без термической обработки для малонагруженных деталей, тонколистовую сталь используют для холодной штамповки изделий. Сталь 10 применяется для изготовления элементов сварных конструкций, корпусов и трубных пучков теплообменных аппаратов, трубопроводов, змеевиков и других деталей, работающих от минус 40 до плюс 450°C, к которым предъявляются требования высокой пластичности.

Сталь 15, 20, 25 чаще применяют без термической обработки или в нормализованном состоянии. Низкоуглеродистые качественные стали используют и для ответственных сварных конструкций, а также для деталей машин, упрочняемых цементацией. Сталь 20 применяется для изготовления трубопроводов, змеевиков, труб перегревателей, трубных пучков теплообменных аппаратов и других деталей, работающих от минус 40 до плюс 475°C.

Среднеуглеродистые стали 30...55 применяют после нормализации, улучшения и поверхностной закалки для самых разнообразных деталей во всех отраслях машиностроения. Прокаливаемость сталей невелика; критический диаметр после закалки в воде не превышает 10...12 мм. Для повышения прокаливаемости стали добавочно легируют марганцем (40Г, 50Г).

Высокоуглеродистые стали 60...85 обладают повышенной прочностью, твердостью, износостойкостью и упругими свойствами. Их применяют после закалки и отпуска, нормализации для деталей, работающих в условиях трения при наличии высоких статических, вибрационных нагрузок. Из этих сталей изготавливают пружины, рессоры, мембраны, шпиндели станков и т. д.

Углеродистые инструментальные стали

Маркируют стали буквой «У» (углеродистая), после которой ставят цифру, показывающую среднее содержание углерода в десятых долях процента. Для обозначения повышенного качества стали (пониженное содержание серы и фосфора $< 0,035\%$) в конце маркировки ставят букву «А»; в сталях особого качества ставят две буквы «АА» (P и $S < 0,02\%$). Марки инструментальных углеродистых сталей: У7, (У7А), У8 (У8А), У9 (У9А), У10 (У10А, У10АА), У11 (У11А), У12 (У12А), У13 (У13А).

Вследствие малой устойчивости переохлажденного аустенита эти стали имеют низкую прокаливаемость, поэтому их применяют для инструментов небольшого сечения.



Стали У7 и У8 (как менее хрупкие) применяются для изготовления инструментов, испытывающих динамические нагрузки: зубила, керны, бородки, топоры, отвертки и т. д. Структура стали — троостит отпуска. Под закалку сталь У7 нагревают до 800...820°C, охлаждают в воде или растворах солей, отпускают при 275...325°C. Твердость стали 48...58 HRC.

Стали У10...У13 применяют для изготовления фрез, зенкеров, ножовочных полотен, пил, напильников и т. д. Структура сталей — мартенсит отпуска. Под закалку сталь нагревают до температур 760...780°C, охлаждают в воде или водных растворах солей. Отпуск проводят при 150...170°C, твердость 62...63 HRC.

Достоинство этих сталей — хорошая обрабатываемость резанием и давлением в отожженном состоянии, низкая стоимость.

Недостаток — малая прокаливаемость, небольшой интервал закалочных температур (закалка в воде), что усиливает коробление (деформацию) инструмента. Их можно использовать в качестве режущего инструмента только для резания материалов с малой скоростью, так как при нагреве свыше 190...200°C начинается его разупрочнение (низкая красностойкость).