**Стали**

Согласно действующей классификации сталь по составу делится на углеродистую и легированную. Решающее влияние на механические свойства углеродистых сталей оказывает содержание в них углерода. При увеличении содержания углерода повышаются прочность, твердость и износоустойчивость, но понижаются пластичность и ударная вязкость, а также ухудшается свариваемость.

Примесь фосфора вызывает хладноломкость, а примесь серы – красноломкость. Для различных марок стали допустимое содержание фосфора составляет 0,04–0,09 %, а серы 0,04–0,07 %. Вредное влияние на свойства стали оказывает кислород; если его содержание превышает 0,03 %, он вызывает старение стали, а более 0,1 % – красноломкость. Примеси Mn и Si в пределах 0,8–1 % не оказывают практически влияния на механические свойства углеродистых сталей. В стали, предназначенной для сварных конструкций, содержание кремния не должно превышать 0,12–0,25 %. Содержание азота повышает прочность и твердость стали, но снижает пластичность.

При обозначении марок стали могут быть указаны: группы, по которым сталь поставляется (А – по механическим свойствам, Б – по химическому составу, В – по механическим свойствам и дополнительному требованию в отношении химического состава); метод производства (М – мартеновский, Б – бессемеровский, К – кислородно-конверторный); дополнительные индексы (сп – спокойная сталь, пс – полуспокойная сталь, кп – кипящая сталь). В группе А обозначение «М » часто опускается, однако имеется в виду сталь мартеновская, а при отсутствии обозначений сп, пс, кп подразумевается сталь спокойная.

Спокойная сталь более качественная, однако по стоимости она дороже кипящей. Полуспокойная сталь занимает по свойствам промежуточное положение между спокойной и кипящей, но в результате незначительного расхода раскислителей стоимость ее меньше, чем спокойной.

Механические характеристики стали зависят также от формы и толщины проката.

Углеродистые стали обыкновенного качества применяются без термообработки. Углеродистую сталь обыкновенного качества группы А изготовляют следующих марок: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6, Ст7. По мере увеличения номера стали повышается содержание углерода, а также прочность и твердость, но снижается пластичность и ударная вязкость. Сталь группы Б изготовляют тех же марок, что и сталь группы А, но перед маркой стали ставят букву Б (БСт0, БСт1кп). Сталь группы В изготовляют следующих марок: ВСт2, ВСт3, ВСт4 и ВСт5.

*Качественная конструкционная углеродистая сталь* поставляется по химическому составу и механическим свойствам и выплавляется в кислородных конверторах и мартенах. Установлены следующие марки качественной конструкционной углеродистой стали: 05кп, 08кп, 08сп, 08, 10кп, 10сп, 10пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58, 60. Две цифры в марках показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента.

К конструкционным углеродистым сталям относится и автоматная; она с повышенным содержанием серы. Марки этой стали: А12, А20, А30, А35, А40. Буква А обозначает автоматную сталь; число, стоящее за буквой А – содержание углерода в сотых долях процента. Содержание серы от 0,06 до 0,2 %, фосфора от 0,06 до 0,15 %. Из этой стали изготовляют на станках-автоматах крепежные детали.

*Инструментальные* углеродистые стали содержат углерода более 0,65 %. В зависимости от содержания примесей S и Р и способа производства они делятся на качественные и высококачественные, содержащие не более 0,03% S и 0,035% Р. Инструментальные стали могут быть качественные: У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13; высококачественные, с той же маркировкой и добавлением буквы А, например, У7А, У8А и т. д. В строительстве инструментальная сталь применяется с обязательной термической обработкой (закалкой с последующим низким или средним отпуском).



Структура сталей, содержащих до 0,006 % углерода, представляет собой чистый феррит (рис. 11.20, *а*) Такие стали при небольшой прочности обладают высокой пластичностью и ударной вязкостью. При содержании в сталях углерода от 0,006 до 0,025 % структура сталей состоит из феррита и расположенных по его границам зерен цементита (рис. 11.20,*б*). Хрупкая цементитная сетка снижает ударную вязкость сталей.

Структура сталей с содержанием углерода свыше 0,025 % состоит из феррита и перлита (рис. 11.20, *в*). В структуре таких сталей при увеличении содержания углерода увеличивается количество перлита с соответствующим уменьшением феррита. Увеличение доли перлита ведет к повышению прочности и твердости стали с одновременным снижением ударной вязкости и относительного удлинения.

Структура стали, содержащей 0,8 % углерода, представляет собой чистый перлит (рис. 11.20, г). В структуре стали, содержащей свыше 0,8 % углерода, по границам зерен перлита располагается цементит. При содержании в стали 1 % углерода цементит образует хрупкую сетку, которая разобщает между собой зерна перлита (рис. 11.20, *д*). Прочность стали при этом снижается.

*Легированной* называется сталь, в которой, кроме обычных примесей, содержатся специально вводимые в определенных сочетаниях легирующие элементы (хром, никель, молибден, вольфрам, ванадий, алюминий, бор, титан и др.), а также марганец и кремний в количествах, превышающих обычное их содержание (1 % и выше). Легированная сталь в зависимости от содержания легирующих элементов делится на низколегированную (с содержанием легирующих элементов в сумме не более 3 %), легированную (с содержанием легирующих элементов 2,5–10%) и высоколегированную (с содержанием легирующих элементов свыше 10 %).

Легирующие элементы оказывают разностороннее влияние на свойства стали. Хром повышает твердость, уменьшает ржавление; никель создает прочность и пластичность, коррозионную стойкость; вольфрам увеличивает твердость и красностойкость; ванадий повышает плотность, прочность, сопротивление удару, истиранию; кобальт повышает жаропрочность, магнитопроницаемость; молибден увеличивает красностойкость, прочность, сопротивление окислению при высоких температурах; марганец при содержании свыше 1 % увеличивает твердость, износоустойчивость, стойкость против ударных нагрузок; титан повышает прочность, сопротивление коррозии; алюминий повышает окалиностойкость; ниобий повышает кислотостойкость; медь уменьшает коррозию. В сталь вводят также бор, селен, азот, цирконий. В легированной стали может находиться одновременно несколько легирующих элементов. По назначению легирования сталь делится на три группы: конструкционная, инструментальная и сталь с особыми физическими и химическими свойствами.

Легирующие элементы, растворяясь в железе, искажают и нарушают симметрию его кристаллической решетки и строение внешних электронных оболочек. Чаще всего увеличивается содержание карбидосодержащей фазы за счет уменьшения углерода в перлите, что соответственно увеличивает прочность стали.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Легирующий элемент | Входит в твердый раствор с Fe и упрочняетего | Увеличивает ударную вязкость | Расширяет область аустенита | Сужает область аустенита | Увеличивает прокаливаемость | Способствует раскислению | Образует устойчивые карбиды | Повышает сопротивление коррозии |
| NiCrMn (более1%)Si (более0,8%)WCu (0,3–0,5%) | ++++-+ | +-++-- | +-+--- | -+-+-- | +-+--- | --++-- | -++-+- | +++--+ |

Многие легирующие элементы способствуют измельчению зерен феррита и перлита в стали, что значительно увеличивает вязкость стали. Некоторые легирующие элементы расширяют область аустенита, а другие, наоборот, сужают эту область. Большое значение на практике имеет способность ряда легирующих элементов повышать прокаливаемость стали на значительную толщину, задерживая переход аустенита в другие структуры, что создает возможность закаливать стали при умеренных скоростях охлаждения. При этом уменьшаются внутренние напряжения, и снижается опасность появления закалочных трещин. В табл. 11.5 показано влияние главнейших легирующих элементов на свойства стали.

В маркировке легированной стали, приняты следующие буквенные обозначения легирующих элементов: X – хром, Н – никель, А – азот, В – вольфрам, Е – селен, Г – марганец, Д – медь, Б – ниобий, Р – бор, П – фосфор, Ю – алюминий, М – молибден, К – кобальт, Ц – цирконий, Ф – ванадий. Эти буквы в сочетании с цифрами образуют марку стали.

Сочетание букв и цифр дает характеристику легированной стали. Если впереди марки стоят две цифры, они указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Одна цифра в начале марки означает среднее содержание углерода в десятых долях процента. Если в начале марки нет цифры, то количество углерода составляет 1 % и выше. Цифры, следующие за буквами, показывают среднее содержание данного элемента в процентах. Если за буквой отсутствует цифра, то содержание данного элемента около 1 %. Буква А в конце марки обозначает высококачественную сталь, содержащую меньше серы и фосфора. Например, 12Х2Н4А – это легированная сталь, высококачественная, с содержанием углерода 0,12 %, хрома 2 %, никеля 4 %; Г13 – легированная сталь с содержанием углерода 1 % и более, марганца 13%.

Низколегированная сталь изготовляется в виде листов, полос, сортового и фасонного проката. Она обладает рядом преимуществ по сравнению с обычной углеродистой сталью. Предел текучести ее превышает на 30 % и более предел текучести обычной углеродистой стали марки СтЗ. Отношение предела текучести к пределу прочности низколегированной стали обычно составляет 0,65–0,75, а углеродистой стали – 0,55–0,6. Пластичность низколегированной стали достаточно высока.

Низколегированная сталь обладает меньшей чувствительностью к старению и меньшей склонностью к хладноломкости. Критическая температура перехода в хрупкое состояние низколегированной стали лежит ниже – 40 °С, а отдельных марок стали ниже –60 °С. Низколегированная сталь хорошо сваривается. Для сварных соединений не требуется ни предварительного подогрева, ни последующей термической обработки для снятия напряжений. Коррозионная стойкость в атмосферных условиях и других средах в 1,5 раза выше, чем углеродистой стали марки Ст3.

К легированным сталям с особыми физическими и химическими свойствами относятся жаростойкие, жаропрочные, коррозионностойкие, износоустойчивые и магнитные стали.

*Жаростойкими* (окалиностойкими) считаются стали, которые способны сопротивляться химическому разрушению (окислению) в газовых средах при температуре выше 550 °С. Для повышения окалиностойкости стали легируют элементами, которые изменяют состав и строение окалины, образуя тонкие защитные пленки.

*Жаропрочными* являются стали, способные противостоять механическим нагрузкам при высоких температурах. В настоящее время жаропрочность материала оценивается пределом ползучести (напряжением, вызывающим заданную скорость деформации при данной температуре) и длительной прочностью (способностью материала сопротивляться  напряжению,  вызывающему разрушение при определенной температуре за определенный промежуток времени). Для снижения пластических деформаций в материале, сопровождающих его ползучесть, в сплав вводят хром, никель, молибден и другие легирующие элементы.

*Коррозионностойкими* называются стали, которые сопротивляются разрушению под воздействием внешней агрессивной среды. К коррозионностойким сплавам относятся хромистые нержавеющие (Х13, Х17), хромоникелевые нержавеющие (Х14Г4Н, Х18Н9) стали. Например, введение 12 % хрома делает сталь коррозионностойкой в атмосфере и промышленных средах, а при введении 25 % хрома сталь не ржавеет на воздухе, в воде, в ряде кислот, солей и щелочей. Коррозионностойкие стали широко используются для изготовления строительных конструкций и изделий, работающих в агрессивных средах (грунтовых водах, газах, морской воде и др.).

В строительстве наиболее широко используют низкоуглеродистые и низколегированные стали. Они применяются для изготовления металлических конструкций мостов, опор, транспортных галерей, подкрановых балок, мостовых кранов, шпунтовых свай, для армирования железобетонных конструкций и др. Строительные стали применяют в горячекатаном состоянии и после термической обработки, включающей одно- или двукратную закалку в воде с последующим высокотемпературным отпуском. Наиболее эффективна термическая обработка строительных низколегированных сталей. Для низкоуглеродистых нелегированных сталей она повышает предел прочности на 20–25 %, что снижает расход стали на металлические конструкции примерно на 13–18%. Экономическую эффективность использования строительных сталей повышают, применяя стали высокой прочности (60–100 МПа). Для этого их дополнительно легируют карбидообразующими элементами (например, хромом, молибденом, вольфрамом, ниобием). Строительные стали поставляют в виде прутков, профилей, листов и широких полос.