



Раздел I. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Тема 1.6. Легированные стали и специальные сплавы

Занятие №1.

Учебные вопросы:

1. Легированные стали, их преимущества по сравнению с углеродистыми сталями
2. Классификация легированных сталей, их маркировка
3. Влияние легирующих элементов на свойства сталей
4. Инструментальные легированные стали, металлокерамические и порошковые материалы

1. Легированные стали, их преимущества по сравнению с углеродистыми сталями

Легированными называются стали, в состав которых специально вводится один или несколько легирующих элементов для получения необходимых свойств (хром, никель, вольфрам и т. д.). Стали, в состав которых введен хром, называются хромистыми, вольфрамовыми, а в случае содержания в стали нескольких элементов ее называют соответственно хромоникелевой, хромоникелевольфрамовой и т. д.

Легирующие элементы изменяют механические свойства стали — прочность, вязкость, износостойкость, коррозионную стойкость, теплопроводность и т. д. Влияние легирующих элементов особенно сказывается после термической обработки. Все легирующие элементы, за исключением кобальта, уменьшают критическую скорость охлаждения, необходимую для получения мартенсита. Это дает возможность получить закалочные структуры в легированных сталях даже при охлаждении на воздухе.

По сравнению с углеродистыми сталями, легированные имеют ряд преимуществ: высокая прочность, хорошая прокаливаемость, высокая износостойчивость, высокая усталостная прочность, коррозионная стойкость. Кроме того, некоторые легированные стали обладают специальными свойствами — жаропрочностью и жаростойкостью. Эти преимущества имеют большое практическое значение.

В связи с ростом мощности авиационных двигателей и увеличением полетной массы самолета требуются материалы высокой прочности. Увеличение размеров деталей, широкое применение кованных деталей и профилей с большой площадью поперечного сечения вызывают необходимость применения материалов с хорошей прокаливаемостью. В связи с повышением частоты вращения роторов двигателей и широким внедрением подшипников качения возникла необходимость применения материалов с высокой износостойчивостью для изготовления валов, осей, шестерен и других деталей, работающих на трение. Увеличение скорости самолетов, мощности и частоты вращения роторов авиационных двигателей вызывает необходимость применения материалов с максимальным пределом выносливости.

2. Классификация легированных сталей, их маркировка

Большое разнообразие химического состава сталей, структуры, свойств приводит к сложной классификации по признакам:

1. Классификация по химическому составу. В зависимости от состава легированные стали классифицируют как хромистые, никелевые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые, марганцовистые и т. д. Классификационный признак — наличие в стали тех или иных основных легирующих элементов.

2. По количеству легирующих элементов. Стали подразделяют на низколегированные (до 3% легирующих элементов), среднелегированные (3...10%), высоколегированные (свыше 10%).

3. Классификация по структуре после охлаждения на воздухе.

Легированные стали подразделяют на классы:

- 1) перлитный;
- 2) мартенситный;
- 3) аустенитный;
- 4) ферритный;
- 5) карбидный.

Получение этих классов стали обусловлено тем, что по мере увеличения содержания легирующих элементов устойчивость аустенита в перлитной области возрастает, а температурная область мартенситного превращения понижается.

4. Классификация по назначению. В зависимости от назначения стали подразделяют на конструкционные, инструментальные и с особыми свойствами (рис. 1.1).

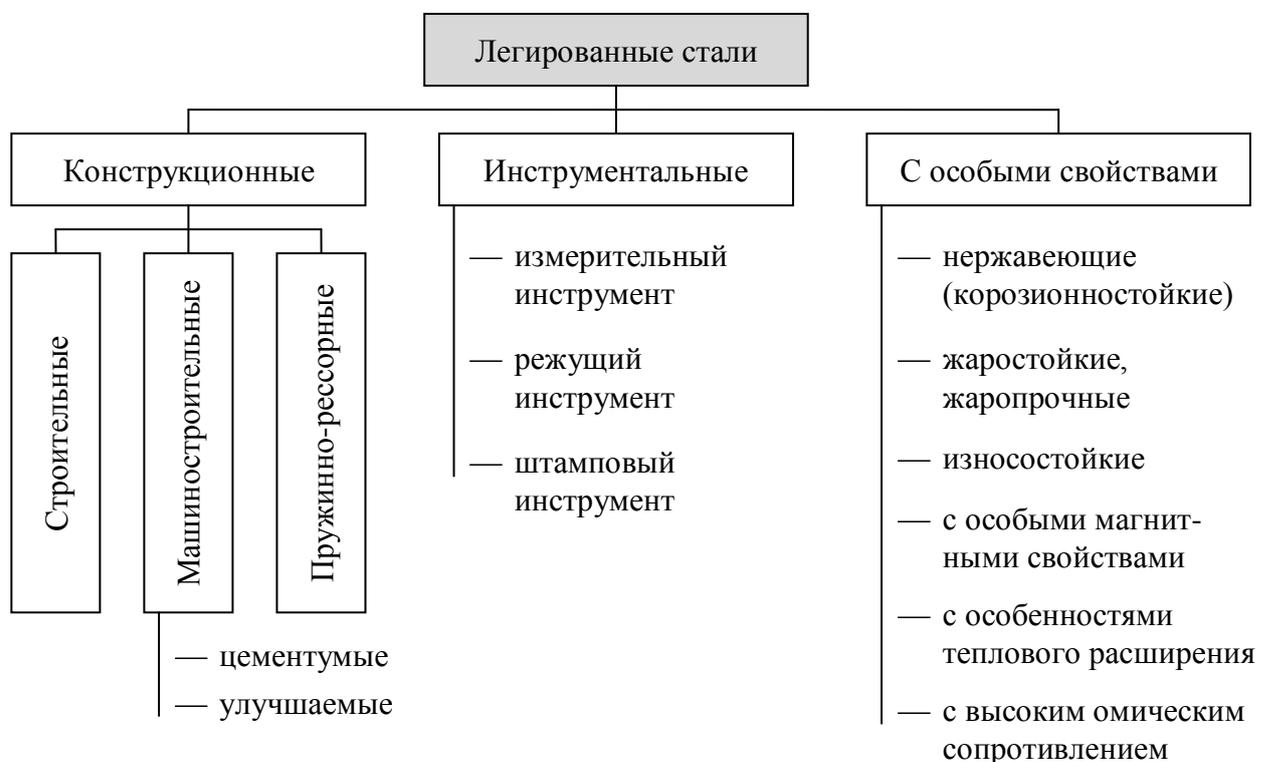


Рис. 1.1. Классификация легированных сталей по назначению

Для обозначения марок сталей в нашей стране принята буквенно-цифровая система. Каждому легирующему элементу соответствует буква русского алфавита:

Хром — Х	Никель — Н	Марганец — Г
Кобальт — К	Титан — Т	Цирконий — Ц
Медь — Д	Ниобий — Б	Вольфрам — В
Бор — Р	Фосфор — П	Азот — А (если стоит внутри маркировки)
Ванадий — Ф	Алюминий — Ю	
Кремний — С	Молибден — М	



Высококачественные легированные стали обозначаются буквой «А», помещенной в конце марки (например, 30ХГСА).

Особовысококачественная сталь обозначается буквой «Ш», располагаемой в конце марки (например, 30ХГС-Ш, 30ХГСА-Ш).

Если буква «А» расположена в середине марки (например, 16Г2АФ), то сталь легирована азотом.

Первые цифры в обозначении показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента в конструкционных сталях и в десятых долях процента — в инструментальных сталях, при содержании углерода в инструментальных сталях более 1% цифру не пишут.

Цифры, стоящие после буквы, указывают на примерное содержание данного легирующего элемента в процентах. При содержании легирующего элемента до 1% цифра отсутствует.

3. Влияние легирующих элементов на свойства сталей

Для улучшения физических, химических, технологических свойств стали легируют, вводя в их состав различные легирующие элементы. Стали могут содержать один или несколько легирующих элементов, которые придают им специальные свойства.

Влияние легирующих элементов. Легирующие элементы вводят в сталь для повышения ее конструкционной прочности. Основной структурной составляющей в конструкционной стали является феррит, занимающий в структуре не менее 90% объема. Растворяясь в феррите, легирующие элементы упрочняют его. Твердость феррита (в состоянии после нормализации) наиболее сильно повышают кремний, марганец и никель. Молибден, вольфрам и хром влияют слабее.

Большинство легирующих элементов, упрочняя феррит и мало влияя на пластичность, снижают его ударную вязкость (за исключением никеля). При содержании до 1% марганец и хром повышают ударную вязкость. Свыше этого содержания ударная вязкость снижается.

Увеличение содержания углерода в стали усиливает влияние карбидной фазы, дисперсность которой зависит от термической обработки и состава стали. В значительной степени повышению конструктивной прочности при легировании стали способствует увеличение прокаливаемости. Наилучший, результат по улучшению прокаливаемости стали достигают при ее легировании несколькими элементами, например Cr + Mo; Cr + Ni; Cr + Ni + Mo и другими сочетаниями различных элементов.

Хром оказывает благоприятное влияние на механические свойства конструкционной стали. Его вводят в сталь в количестве до 2%. Он повышает прочность, твердость и одновременно незначительно понижает пластичность и вязкость, увеличивает прокаливаемость стали.

Никель — наиболее ценный легирующий элемент, его вводят в сталь в количестве от 1 до 5% для повышения коррозионной стойкости, прочности и пластичности. Он увеличивает прокаливаемость стали, измельчает структуру зерна стали, повышает сопротивление удару, уменьшает коэффициент теплового расширения.

Марганец вводят в сталь до 1,5%. Он распределяется между ферритом и цементитом, повышает твердость, износостойкость, стойкость против ударных нагрузок, не уменьшая плотности, способствует глубокой прокаливаемости стали и придает немагнитность.

Кремний вводят в сталь не более 2%. Он повышает прочность, увеличивает упругость, электросопротивление и магнитопроницаемость.

Молибден вводят в сталь не более 0,6%. Он повышает прочность и твердость, незначительно снижает пластичность и вязкость, уменьшает отпускную хрупкость.

Вольфрам вводят в сталь не более 1,5%. Он образует в стали очень твердые химические соединения — карбиды, резко увеличивающие твердость и краснеломкость стали. Вольфрам препятствует росту зерен при нагреве, способствует устранению хрупкости при отпуске стали.

Ванадий повышает твердость стали, способствует образованию мелкозернистой структуры с повышенной упругостью и сопротивлением усталости; вводят в сталь в количестве не более 0,3%.



Титан повышает прочность и плотность стали, способствует измельчению зерен, является хорошим раскислителем, улучшает технологические свойства, повышает коррозионную стойкость.

Бор вводят в сталь до 0,005%. Он увеличивает прокаливаемость, повышает ударную вязкость после низкого отпуска.

Медь повышает стойкость к коррозии.

4. Инструментальные легированные стали, металлокерамические и порошковые материалы

Легированные инструментальные стали (ГОСТ 5950—73)

Легированные элементы, вводимые в инструментальные стали, увеличивают их теплостойкость (вольфрам, молибден, кобальт, хром), закаливаемость (марганец), вязкость (никель) и износостойкость (вольфрам).

В сравнении с углеродистыми легированные инструментальные стали имеют следующие преимущества: хорошую прокаливаемость, повышенную пластичность в отожженном состоянии, значительную прочность в закаленном состоянии, более высокие режущие свойства.

Низколегированные инструментальные стали содержат до 2,5% легированных элементов, имеют высокую твердость, значительную износостойкость, но малую теплостойкость (200—260°C). В отличие от углеродистых сталей их используют для изготовления инструмента более сложной формы. В низколегированных сталях X, 9XC, XBГ, XBСГ основной легирующий элемент — хром.

Сталь X легирована только хромом, повышенное содержание которого увеличивает прокаливаемость. Сталь X прокаливается в масле полностью в сечении до 25 мм, а сталь У10 — только до 5 мм. Применяют сталь X для изготовления токарных, строгальных и долбежных резцов.

Сталь 9XC по сравнению со сталью X имеет большую прокаливаемость — до 35 мм; повышенную теплостойкость — до 250—260°C (сталь X — до 200—210°C) и лучшие режущие свойства. Из стали 9XC изготавливают сверла, развертки, фрезы, метчики, плашки.

Сталь XBГ имеет прокаливаемость на глубину до 45 мм, используется для производства крупных и длинных протяжек, длинных метчиков, разверток и т. д.

Сталь XBСГ по сравнению со сталями 9XC и XBГ лучше закаливается и прокаливается. При охлаждении в масле она прокаливается полностью в сечении до 80 мм, меньше чувствительна к перегреву. Применяется для изготовления круглых плашек, разверток, крупных протяжек и другого режущего инструмента.

Высоколегированные инструментальные стали содержат вольфрам, хром и ванадий в большом количестве (до 18% основного легирующего элемента); имеют высокую теплостойкость (600—640°C). Применяются для изготовления высокопроизводительного режущего инструмента, предназначенного для обработки высокопрочных сталей и других труднообрабатываемых материалов. Такие стали называют инструментальными быстрорежущими (ГОСТ 19265—73). Быстрорежущие стали обозначают буквой P, цифра после которой указывает процентное содержание вольфрама. Содержание хрома (4%) и ванадия (2%) в марках быстрорежущих сталей не указывают. В некоторые быстрорежущие стали дополнительно вводят молибден, кобальт и большое количество ванадия. Марки таких сталей содержат соответственно буквы M, K, Ф и цифры, указывающие их процентное содержание. Наиболее распространены **P18**, **P9**, **P10K5Ф5** и др.

Для изготовления измерительного инструмента применяют X, XBГ и другие стали, химический состав которых приведен в ГОСТ 5950—73. Для измерительного инструмента большое значение имеет постепенное изменение размеров закаленного инструмента в течение длительного времени, что связано с уменьшением и перераспределением внутренних напряжений. Поэтому при термической обработке измерительного инструмента большое внимание уделяется стабилизации напряженного состояния. Это достигается соответствующим режимом низкого



отпуска при температуре 120—130°C в течение 15—20 ч и обработкой при температуре ниже нуля (до минус 60°C).

Штампы холодного деформирования небольших размеров (сечением 25—30 мм), простой формы, работающие в легких условиях, изготавливают из углеродистых сталей У10, У11, У12. Штампы сечением 75—100 мм более сложной формы и для более тяжелых условий работы изготавливают из сталей повышенной прокаливаемости Х, ХВГ.

Для изготовления инструмента с высокой твердостью и повышенной износостойкостью, а также с малой деформируемостью при закалке используют стали с высокой прокаливаемостью и износостойкостью, например высокохромистую сталь **X12Ф1**.

Для инструмента, подвергающегося в работе большим ударным нагрузкам (пневматические зубила, режущие ножи для ножниц холодной резки металла), применяют стали с меньшим содержанием углерода, повышенной вязкости **4ХС, 6ХС, 4ХВ2С** и др.

Молотовые штампы горячего деформирования изготавливают из сталей **5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ**. Эти стали содержат одинаковое количество (0,5—0,6%) углерода и легированы хромом. Такое содержание углерода позволяет получить достаточно высокую ударную вязкость; хром повышает прочность и увеличивает прокаливаемость сталей. Никель вводят в эти стали с целью повышения вязкости и улучшения прокаливаемости. Вольфрам и молибден повышают твердость и теплостойкость, уменьшают хрупкость, измельчают зерно и уменьшают склонность стали к перегреву. Марганец как более дешевый элемент является заменителем никеля.

Для сталей молотовых штампов характерна глубокая прокаливаемость. Например, стали 5ХНМ и 5ХГМ прокаливают в сечениях до 200—300 мм.

Стали **3Х2В8Ф, 4Х2В5МФ** и другие стали применяются для тяжело нагруженных мелких штампов, вставок окончательного ручья, матриц и пуансонов для горячего выдавливания. Из данных сталей изготавливают пресс-формы для литья под давлением. К этим сталям предъявляют повышенные требования по теплостойкости и меньшие требования по прокаливаемости.

Сплавы, получаемые методами порошковой металлургии

Методами порошковой металлургии можно получать сплавы из металлов, не растворяющихся друг в друге при расплавлении, а также сплавы из тугоплавких металлов и металлов особо высокой чистоты. Порошковой металлургией изготавливают как заготовки, так и разнообразные детали точных размеров. Порошковая металлургия позволяет получать пористые материалы и детали из них, а также детали, состоящие из двух или нескольких слоев различных металлов и сплавов. Методы порошковой металлургии позволяют получить материалы и детали, обладающие высокой жаропрочностью, износостойкостью, твердостью, с заданными стабильными магнитными свойствами, особыми физико-химическими и технологическими свойствами, которые невозможно получить методами литья или обработкой давлением.

Процесс производства деталей и изделий из порошковых материалов заключается в приготовлении металлического порошка, составлении шихты, прессовании и спекании заготовок. Металлические порошки получают механическими и физико-химическими методами.

Методами порошковой металлургии изготавливают твердые сплавы на основе тугоплавких карбидов, обладающих высокой твердостью, прочностью, износостойкостью, жаростойкостью. Эти свойства сохраняются высокими при нагреве до 800—1000°C. По способу производства твердые сплавы делят на литые и металлокерамические, получаемые спеканием порошков карбидов вольфрама, титана и тантала с кобальтом. Последний вводят для придания сплавам вязкости.

Литые твердые сплавы изготавливают в виде специальных электродов (ГОСТ 10051—75), пригодных для наплавки (наварки) на инструмент или детали. Сплавы В2К, В3К (стеллиты), сормайт относят к литым сплавам. Стеллиты представляют собой сплавы на основе вольфрама, хрома и кобальта. Эти сплавы наплавляют на рабочую поверхность новых или изношенных деталей и инструментов: штампов, ножей для резания металла, центров токарных станков и др. Наплавку осуществляют с помощью ацетиленкислородного пламени или электрической дуги. Наплавленный слой стеллита имеет структуру эвтектики, состоящей из твердого раствора и



карбидов хрома. Механические свойства наплавленного слоя будут тем выше, чем больше скорость его охлаждения, так как зерна будут получаться мельче. Наплавленный слой термической обработке не подвергают. Детали или инструмент, предназначенные для наплавки, изготавливают из углеродистой стали. Этим достигается экономия дорогостоящих легированных сталей. Наплавлять указанные сплавы можно как на стальные, так и на чугунные детали.

Сормайты — высокоуглеродистые хромистые сплавы на железохромовой основе. Они представляют собой либо заэвтектический высокохромистый чугун со структурой первичных карбидов и эвтектикой (сормайт №1), либо доэвтектический белый хромистый чугун со структурой перлита и карбидной эвтектикой (сормайт №2). Сормайты изготавливают в виде прутков $\varnothing 5$ —7 мм и применяют для наплавки чугунных и стальных деталей и инструментов, работающих при нормальных и высоких температурах в условиях трения, скольжения. Слой, наплавленный сормайтом №1, имеет твердость HRC 48—50. Термической обработке его не подвергают. Слой, наплавленный сормайтом №2, подвергают отжигу при температуре 850—900°C с последующей закалкой в масле и высоким отпускком. Стойкость деталей и инструмента, покрытых литыми твердыми сплавами, повышается в 12 и более раз.

Металлокерамические твердые сплавы представляют твердый раствор карбидов вольфрама (WC), титана (TiC), тантала (TaC) в металлическом кобальте (Co). Изделия из металлических сплавов выпускают в виде пластинок для оснащения рабочей части металлорежущего инструмента (резцов, сверл, фрез, разверток). Металлокерамические твердые сплавы (ГОСТ 3882—74) подразделяют на три группы: вольфрамовую, титановольфрамовую, титанотанталовольфрамовую.

Вольфрамовые твердые сплавы (например **ВК3**, **ВК3М**, **ВК6**, **ВК8В** и др.) применяют при обработке хрупких материалов: чугуна, бронзы, фарфора, стекла. Сплавом **ВК6М** оснащают режущий инструмент для чистовой и получистовой обработки отбеленных чугунов, жаропрочных сталей, пластмасс. Сплавом **ВК8В** оснащают инструмент для бурения, волочения, чернового точения жаропрочных и нержавеющей сталей. Буква В в конце марки указывает, что сплав крупнозернистый, буква М — что сплав мелкозернистый.

Мелкозернистые и крупнозернистые вольфрамовые высококобальтовые твердые сплавы **ВК20**, **ВК15**, **ВК30** и новые твердые сплавы **ВК15В**, **ВК20В** и **ВК25В**, обладающие высокой прочностью и ударной вязкостью, применяют для изготовления твердосплавных штампов, работающих в условиях больших ударных нагрузок. Стойкость твердосплавных штампов по сравнению со стальными возрастает в 30—50 раз, чем обеспечивается большой экономический эффект.

Титановольфрамовые твердые сплавы (**Т5К10**, **Т15К6**, **Т30К4** и др.) предназначены для обработки вязких материалов: стали, латуни. Сплавом **Т5К10**, например, оснащают режущий инструмент для чернового точения, а также чернового и чистового строгания сталей по корке и окалине (включая стальные поковки, штампованные заготовки и отливки).

Титанотанталовольфрамовые твердые сплавы **ТТ7К12** и **ТТ10К8В** используют для черновой обработки стальных поволоков. Эти сплавы имеют более высокую вязкость, износостойкость и прочность ($\sigma_b = 1550$ МПа), чем твердые титановольфрамовые и вольфрамовые сплавы.

Маркировка вольфрамовых твердых сплавов означает, например, для сплава ВК8, что в нем содержится примерно 92% карбидов вольфрама и 8% кобальта. В титановольфрамовом сплаве Т30К4 содержится примерно 30% карбидов титана, 4% кобальта, остальное — карбиды вольфрама (66%). В титанотанталовольфрамовом сплаве ТТ7К12 сумма содержания карбидов тантала и карбидов титана составляет примерно 7%, кобальта 12%, остальное — карбиды вольфрама (81%). Аналогично расшифровываются и остальные марки твердых сплавов.