

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

1 Цель работы

- 1 Ознакомиться с основами легирования. Изучить влияние легирующих элементов на структуру и свойства легированных сталей.
- 2 Изучить маркировку и классификацию легированных сталей, научиться по марке стали определять ее химический состав.
- 3 Приобрести навыки анализа микроструктур легированных сталей.

2 Основные сведения

Легированными называют стали, в которые для изменения структуры и свойств вводят легирующие элементы. Основными легирующими элементами являются: хром, никель, вольфрам, кобальт, титан, ванадий, цирконий и другие, а также марганец и кремний при их повышенном, против обычного, содержании. В легированных сталях, также как и в конструкционных сталях, содержатся постоянные примеси: марганец, кремний, фосфор, сера и другие.

Легирование применяется в двух основных направлениях:

- а) для повышения технологичности термической обработки конструкционных и инструментальных сталей (закаливаемость в масле, прокаливаемость и др.);
- б) для получения сталей особого назначения, обладающих тем или иным комплексом специальных характеристик (коррозионной стойкостью, жаропрочностью, особыми магнитными свойствами и т.д.).

2.1 Влияние легирующих элементов на свойства стали

Преимущества легированных сталей, а также характерные для них специальные свойства проявляются только после соответствующей термической обработки. Поэтому из легированных сталей изготавливают детали, обязательно подвергаемые термической обработке. Улучшение механических свойств обусловлено влиянием легирующих элементов на свойства феррита, дисперсность карбидной фазы, устойчивость мартенсита при отпуске, прокаливаемость, размер зерна.

Для достижения высокой прокаливаемости сталь чаще легируют более дешевыми элементами - марганцем, хромом, бором, а также более дорогими и дефицитными - никелем и молибденом.

Хром (вводят в количестве до 2 %) растворяется в феррите и цементите, оказывая благоприятное влияние на механические свойства, что предо-

пределило его широкое применение. Он способствует получению высокой и равномерной твердости, повышает жаропрочность, жаростойкость, коррозионную стойкость.

Никель (вводят в количестве от 1 % до 5 %) наиболее резко снижает порог хладноломкости и увеличивает сопротивление распространению трещины, увеличивая пластичность и вязкость. Кроме того, он повышает электропроводность.

Марганец (вводят в количестве до 1,5 %) заметно повышает предел текучести стали, однако делает сталь чувствительной к перегреву, содействует росту зерна. Содержание в стали хрома или марганца до 1 % практически не влияет на порог хладноломкости. Однако при больших их концентрациях порог хладноломкости повышается. Вместе с марганцем вводят карбидообразующие элементы для измельчения зерна.

Кремний (количество ограничивают 2 %) сильно повышает предел текучести, несколько затрудняет разупрочнение стали при отпуске; снижает вязкость и повышает порог хладноломкости при содержании свыше 1 %.

Вольфрам и молибден - дорогие и дефицитные карбидообразующие элементы, которые большей частью растворяются в феррите. Вольфрам (0,8-1,2 %) уменьшает величину зерна, повышает твердость и прочность, улучшает режущие свойства при повышенных температурах.

Молибден (0,2-0,4 %) действует так же, как и вольфрам, повышает статическую, динамическую и усталостную прочность стали, а также повышает коррозионную стойкость.

Легирование стали в небольших (от 0,05 до 0,15 %) количествах ванадием, титаном, ниобием и цирконием, образующих труднорастворимые в аустените карбиды, измельчает зерно, что понижает порог хладноломкости.

Бор в микродозах (0,002-0,005 %) вводят для увеличения прокаливаемости. Так как бор оказывает существенное влияние на свойства стали, то он указывается в маркировке стали (например, 20ХГР содержит 0,001- 0,005 % В).

2.2 Маркировка легированных сталей

Маркировка легированной стали состоит из сочетания букв и цифр, обозначающих ее химический состав. В соответствии со стандартной маркировкой основные легирующие элементы обозначаются следующими буквами: А - азот, В - ниобий, В - вольфрам, Г - марганец, Д - медь, Е - селен, К - кобальт, Н - никель, М - молибден, П - фосфор, Р - бор, С - кремний, Т - титан, Ф - ванадий, Х - хром, Ц - цирконий, Ч - редкоземельные элементы, Ю - алюминий.

В конструкционных сталях две цифры в начале марки обозначают содержание (массовую долю) углерода в сотых долях процента (например, в стали 30ХН3А около 0,30 % углерода); в высокоуглеродистых инструментальных сталях - в десятых долях процента (сталь 9ХС - 0,9 % углерода). Если сталь имеет 1,0 % углерода и выше, то цифра, характеризующая содержание (массовую долю) углерода, опускается (сталь Х12М). Цифры, следующие после бук-

вы, указывают на примерной содержание (в процентах) данного легирующего элемента. При содержании элемента менее 1,0-1,5 % цифра отсутствует (например, сталь ХВГ), за исключением бора и ванадия.

Быстрорежущие стали принято маркировать буквой Р, после которой идет цифра, указывающая на содержание (в процентах) главного легирующего элемента таких сталей - вольфрама (например, Р9), среднее содержание кобальта обозначают цифрой после буквы К, а ванадия ~ после буквы Ф (Р6К5Ф2) и т.д.

В шарикоподшипниковых сталях в начале маркировки ставится буква Ш, а содержание хрома указывается в десятых долях процента (ШХ15).

Автоматные стали маркируют буквой А, после которой следует цифра, указывающая среднее содержание углерода в сотых долях процента, при повышенном содержании в стали марганца в конце марки добавляется буква Г (А40Г).

Допускаются нестандартные обозначения легированных сталей и сплавов, в частности, опытные марки стали, выплавляемые на заводе «Электро-сталь», обозначаются «Э» и буквами «И» - исследовательская, «П» - пробная и порядковым номером, например ЭИ612, ЭП658.

Примеры обозначения и расшифровки некоторых марок сталей:

- 40ХГТР - сталь конструкционная низколегированная, качественная, содержит 0,38-0,45 % углерода; 0,8-1,1 % хрома; 0,7-1,0 % марганца, 0,03 - 0,09 титана, остальное - железо и технологические примеси;

- ХВГ - сталь инструментальная низколегированная, содержит 0,9-1,05 % углерода; 0,9-1,2 % хрома; 1,2-1,6 % вольфрама; 0,8-1,1 % марганца, остальное - железо и технологические примеси;

- ШХ15СГ — сталь шарикоподшипниковая, качественная, содержит 0,95-1,05 % углерода; 1,3-1,65 % хрома; 0,4-0,65 % кремния; 0,9-1,2 % марганца, остальное - железо и технологические примеси;

- Р6М5 - сталь быстрорежущая, инструментальная, качественная, содержит около 1 % углерода, 3,8 - 4,4 % хрома, 5,5 - 6,6 % вольфрама, 5,0 - 5,5 % молибдена, 1,7 - 2,1 % ванадия, остальное - железо и технологические примеси.

2.3 Классификации легированных сталей

Легированные стали классифицируют по химическому составу, назначению и структуре.

В зависимости от наличия тех или иных легирующих элементов стали подразделяются на хромистые, хромоникелевые, хромоникельвольфрамовые, марганцовистые, кремнистые и многие другие. По количеству введенных элементов их подразделяют на низколегированные, среднелегированные, высоколегированные.

Стали, в которых суммарное содержание легирующих элементов не превышает 2,5 % , относятся к низколегированным; содержащие 2,5-10 %- к среднелегированным, а более 10 % - к высоколегированным.

По назначению легированные стали подразделяются на группы:

а) конструкционные: строительные низколегированные, цементуемые, улучшаемые (среднеуглеродистые, 0,3-0,5 % углерода, подвергаемые закалке и отпуску), высокопрочные, шарикоподшипниковые, рессорно-пружинные и другие;

б) инструментальные: для режущих и измерительных инструментов, штамповые;

в) стали и сплавы с особыми свойствами: нержавеющие, жаростойкие, жаропрочные, с особыми магнитными и электрическими свойствами и т.д.

Легированные стали классифицируют по структуре в равновесном (отожженном) состоянии и по структуре в нормализованном состоянии. По структуре в равновесном состоянии стали с определенной степенью условности подразделяются на следующие классы: перлитный, ледебуритный (карбидный), ферритный, аустенитный и феррито-аустенитный. Классификация сталей в нормализованном состоянии производится по структуре образцов небольшого сечения, охлажденных после нагрева выше критических точек на воздухе. В основу такой классификации положено влияние легирующих элементов на диаграмму изотермического распада переохлажденного аустенита и температуру начала и конца мартенситного превращения.

По структуре в нормализованном состоянии стали подразделяются на классы - перлитный, мартенситный и аустенитный. Кроме того, могут быть стали аустенитно-мартенситного (переходного), мартенсито-ферритного класса и другие.

Перлитные стали после отжига содержат в структуре или только перлит или, кроме него, еще феррит (доэвтектоидные стали) либо вторичные карбиды (заэвтектоидные стали). Стали перлитного класса содержат сравнительно небольшое количество легирующих элементов.

В перлитных низколегированных сталях после нормализации получается структура перлитного типа (перлит, сорбит, троостит) с возможными включениями феррита у доэвтектоидных и цементита у заэвтектоидных сталей. К перлитному классу относятся большинство марок конструкционных (20Х, 30ХГСА, ШХ15 и др.) и инструментальных сталей (9ХС, ХВГ и др.).

При содержании легирующих элементов примерно 4-10 % «С» - образные кривые на диаграмме распада аустенита сдвигаются вправо настолько, что после нормализации структура стали получается преимущественно мартенситная. Поэтому такие среднелегированные стали относятся к мартенситному классу.

Сталями мартенситного класса являются некоторые конструкционные (18Х2Н4ВА, 38ХШМФА и др.), хромистые нержавеющие (30Х13, 20Х13 и др.), жаропрочные (15Х11МФ, 40Х9С2) и другие стали.

Легированные стали перлитного класса в отличие от простых углеродистых выгодно отличаются тем, что для получения мартенситной структу-

ры могут закаливаться в масле, тогда как углеродистые стали должны закаливаться в воде. Резкое охлаждение при закалке углеродистых сталей ведет к короблению деталей.

Самыми лучшими в этом отношении являются стали мартенситного класса. В них мартенсит образуется при закалке на воздухе. Коробление в этом случае наименьшее. Кроме того, с увеличением содержания легирующих элементов увеличивается прокаливаемость, что позволяет производить упрочнение путем закалки и отпуска изделий больших сечений.

У простых углеродистых сталей прокаливаемость очень низкая. Так, для стали У10 прокаливаемость составляет примерно 10 мм; у легированных сталей перлитного класса прокаливаемость умеренная, а у сталей мартенситного класса - большая.

Как указывалось выше, стали мартенситного и перлитного классов в равновесном состоянии могут быть доэвтектоидными, эвтектоидными и заэвтектоидными в зависимости от содержания углерода. Однако в связи с тем, что все легирующие элементы сдвигают влево точку S (указывающую содержание углерода в эвтектоиде) и точку E (указывающую максимальную растворимость углерода в аустените) диаграммы железо-углерод, эвтектоидная концентрация у легированных сталей всегда меньше, чем 0,8 %. Поэтому у отожженных доэвтектоидных легированных сталей, при равном с углеродистыми сталями содержании углерода, площадь, занятая перлитом на микрошлифе, оказывается всегда больше, чем у углеродистых.

Ледебуритные стали - это инструментальные стали с высоким содержанием углерода и карбидообразующих элементов (Cr, W, Mo и др.), например, P9, X12M. После литья структура таких сталей состоит из ледебурита, перлита и вторичных карбидов. При ковке крупные ледебуритные (первичные) карбиды раздробляются на более мелкие.

В отожженном послековки состоянии структура стали состоит из сорбитообразного перлита, первичных (более крупных) и вторичных (более мелких) карбидов, общее количество которых может достигать 30-35 %. Поэтому стали иногда называют карбидными.

В нормализованном состоянии многие ледебуритные стали являются сталями мартенситного класса или сталями перлитного класса. Однако на практике классификация по структуре в нормализованном состоянии для ледебуритных сталей используется редко.

2.4 Взаимодействие легирующих элементов с углеродом и железом

Структура высоколегированных сталей зависит от типа легирующих элементов, их количественного соотношения между собой и содержания (массовой доли) углерода в стали.

Легирующие элементы по взаимодействию с углеродом разделяются на некарбидообразующие Ni, Co, Si, B, Al и другие, карбидообразующие Mn, Cr, Mo, W, V, Nb, Zr, Ti (элементы перечислены в порядке возрастания их карбидообразующей способности). Карбидообразующие элементы могут растворяться в цементите или образовывать собственные более стойкие и твердые карбиды, чем цементит.

Рассмотрим характер взаимодействия легирующих элементов с железом. Существуют два взаимно различных типа такого взаимодействия.

Равновесные температуры A_3 и A_4 для чистого железа равны соответственно 911 °C и 1392 °C. В интервале указанных температур устойчивая модификация Fe, с ГЦК решеткой. Никель, марганец, кобальт и другие понижают температуру A_3 и повышают температуру A_4 . В сплавах железа с этими элементами γ -область "открывается", т.е. в определенном интервале температур существует неограниченная растворимость компонентов в твердом состоянии - твердые растворы с ГЦК решеткой. При этом температура A_3 при определенной концентрации добавки понижается ниже нуля.

В сплавах с концентрацией добавки, равной или превышающей концентрацию, соответствующую точке M, ГЦК решетка устойчива при температуре 20-25 °C (рисунок 10.1 а). Такие сплавы называют аустенитными сталями. Таким образом, аустенитом называют не только твердый раствор углерода в Fe, но и любые твердые растворы на основе Fe,

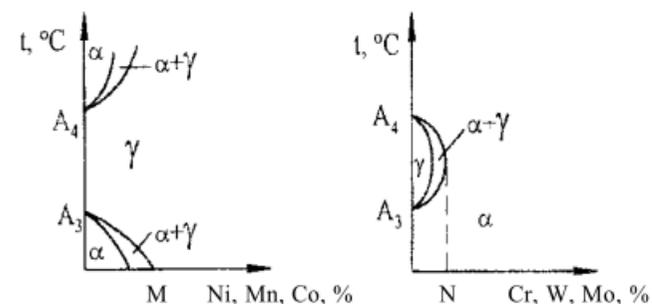


Рисунок 10.1 - Схемы диаграмм "железо - легирующий элемент"

Если сталь легировать элементами, расширяющими область существования аустенита (аустенизаторами), Ni, Mn, Co др., то при определенном их содержании можно получить аустенитную структуру для всех температур твердого состояния выше 20 °C.

Cr, Mo, W, V, Ti, Si и другие элементы повышают температуру A_3 и понижают температуру A_4 . В этом случае температурный интервал устойчивости аустенита уменьшается и соответственно расширяется температурный интервал устойчивости Fe_α. Все перечисленные элементы образуют с железом диаграммы с "замкнутой" γ -областью (рисунок 10.1 б).

Концентрация, соответствующая точке N, для большинства элементов невелика (до 1,5 %), лишь для хрома аустенитная область простирается до 12 %. Из перечисленных элементов, дающих "замкнутую" область, только Cr и V не образуют с железом промежуточных фаз. Наблюдается неограниченная растворимость хрома и ванадия в железе с ОЦК решеткой.

Остальные легирующие элементы, замыкающие область, образуют с железом промежуточные фазы; поэтому при определенных концентрациях добавки на диаграммах появляется линия, ограничивающая растворимость, правее которой расположены двухфазные области.

Однофазные сплавы с ОЦК решеткой, устойчивой при всех температурах, вплоть до солидуса, называют ферритными сталями. Таким образом, ферритом называют не только твердый раствор углерода в Fe_α, но и любые твердые растворы на основе Fe_α. При достаточно большом легировании малоуглеродистой стали хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием и другими (ферризаторами), она во всем диапазоне температур твердого состояния будет иметь структуру феррита и относится к ферритному классу.

Высоколегированные стали одними только аустенизаторами обычно не легируют. Как правило, в них содержится то или иное количество компонентов ферризаторов, прежде всего хрома. При определенном их сочетании сталь будет аустенитно-ферритного класса, аустенитномартенситного и мартенситно-ферритного классов.

2.5 Характеристика основных структурных классов сталей

Стали ферритного, аустенитного, аустенитно-ферритного, аустенитномартенситного и мартенситно-ферритного классов относятся в большинстве своем к коррозионно-стойким и жаропрочным и содержат не менее 12 % хрома.

При низком содержании углерода и большом количестве легирующего элемента, ограничивающего область существования аустенита (Cr, W, Mo, V и др.), образуется сталь, относящаяся к ферритному классу. Сталями ферритного класса являются хромистые нержавеющие стали 08X13, 15X25T и другие. Они не имеют фазовых превращений в твердом состоянии и поэтому не упрочняются термической обработкой.

При увеличении содержания углерода или аустенизаторов в хромистых нержавеющих сталях (12X13, 20X13 и др.) при нагреве часть феррита превращается в аустенит, который при быстром охлаждении переходит в мартенсит. Такие стали являются мартенситно-ферритными и, следовательно, могут упрочняться термической обработкой.

Аустенитные стали обычно легированы хромом и никелем (или марганцем). Самую большую группу высоколегированных сталей составляют хромоникелевые и хромоникельмарганцевые стали. В равновесном состоянии они имеют легированный аустенит, а также некоторое количество карбидов и интерметаллидов. При закалке с 1000-1100 °C в них получается чис-

то аустенитная структура, так как вторые фазы (карбиды, интерметаллиды) растворяются при нагреве под закалку. При этом получают наибольшую коррозионную стойкость и высокую пластичность, а упрочнения не происходит. Последнее резко отличает аустенитные стали от низко- и среднелегированных.

Однако, если в результате закалки аустенит достаточно пересыщен углеродом и другими легирующими элементами, то старение при 650-700 °C может вызвать упрочнение за счет выделения вторых фаз в мелкодисперсном виде. Таким образом, аустенитные стали могут быть гомогенными, неупрочняемыми термической обработкой (12X18H9 и др.) и дисперсионно-твердеющими, упрочняемыми закалкой и старением (например, 40X14H14B2M).

Микроструктура аустенита у нержавеющих и жаропрочных сталей весьма характерна. В светлых довольно крупных и резко очерченных зернах (полиэдрах) наблюдаются линии двойникования, не выходящие за пределы зерна, и двойниковые области, ограниченные двумя параллельными линиями.

Стали переходного аустенитно-мартенситного класса (09X15H9T и др.) при высоких температурах являются полностью аустенитными и при охлаждении до 20 °C сохраняют это состояние, которое является неустойчивым. Это достигается подбором химического состава и, главным образом, путем снижения содержания никеля, по сравнению со сталями аустенитного класса. Неустойчивый после закалки аустенит при обработке холодом частично (до 50-70 %) превращается в мартенсит, сообщая тем самым стали более высокие прочностные свойства. Дополнительное упрочнение стали происходит при старении при 350-500 °C. Эти стали, как и аустенитные, обладая высокими технологическими свойствами, имеют более высокие прочностные свойства. Они используются как нержавеющие для работы при обычных и высоких температурах (до 500-550 °C).

Нержавеющие стали аустенитно-ферритного класса (12X22H5T и др.) в связи с более высоким содержанием хрома и пониженным содержанием никеля имеют двухфазную структуру при всех температурах твердого состояния. Количественное соотношение аустенита и феррита в них зависит не только от химического состава, но и температуры нагрева под термическую обработку и может меняться в широких пределах. Стабильность механических свойств этих двухфазных сплавов достигается только при относительно небольших колебаниях химического состава.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Изучить микроструктуры образцов легированных сталей в отожженном и термообработанном состояниях. Схематически зарисовать каждую исследованную микроструктуру.

3.2 Измерить твердость отожженных и закаленных образцов сталей У10, 9ХС, ХВГ, ХВ5, Х12 в центре и с краю.

3.3 Провести отпуск предварительно закаленных по оптимальным режимам сталей У10, 9ХС, Х12 при температурах 300 °С и 500 °С в течение 30 мин.

3.4 Измерить твердость образцов после отпуска.

3.5 Составить отчет о работе.

4 Содержание отчёта

4.1 Цель работы.

4.2 Основные преимущества легированных сталей и цели легирования.

4.3 Схемы микроструктур легированных сталей с указанием марок сталей, структурного класса, назначения.

4.4 Пример расшифровки химического состава двух-трех марок легированных сталей по индивидуальному заданию.

4.5 Заполненная таблица испытания на твердость.

Марка стали	Температура нагрева под закалку, °С	Твердость HRC закаленной стали	Твердость HRC стали после отпуска при	
			300 °С	500 °С
У10				
9ХС				
Х12				
ХВГ				
ХВ5				

4.6 Выводы из работы.

5 Контрольные вопросы

5.1 С какой целью производится легирование стали?

5.2 В каких количествах содержатся легирующие элементы в низколегированных, легированных и высоколегированных сталях?

5.3 Каково влияние легирующих элементов на свойства стали?

5.4 Как влияет большинство легирующих элементов на температуру перлитного превращения и содержание углерода в перлите?

5.5 В виде каких основных фаз находятся легирующие элементы в стали?

5.6 Основные преимущества легированной стали перед углеродистой?

5.7 Какие важнейшие факторы обуславливают изменение структуры и свойств легированных сталей?

5.8 Как маркируются легированные стали?

5.9 По каким основным признакам классифицируются легированные стали?

5.10 Что такое теплостойкость? Каково влияние легирования на указанную характеристику?

5.11 Перечислите особенности термической обработки легированной стали.

5.12 Место и значение термической обработки легированных сталей.

5.13 Чем объясняется высокая прокаливаемость легированных сталей и их способность закаливаться при охлаждении в масле?

5.14 В каком состоянии рационально использовать легированные стали?