

14. Легированные стали и сплавы

14.1. Классификация примесей

В соответствии с классификацией все примеси в стали можно разделить на четыре группы:

1. *Постоянные или обыкновенные примеси.* К этой группе относятся марганец, кремний и алюминий, которые применяются в качестве раскислителей, потому что введение их в металл необходимо при производстве стали.

2. *Скрытые примеси.* Это кислород, водород и азот, присутствующие в любой стали в очень малых количествах.

3. *Случайные примеси.* К этой группе относятся примеси, попадающие в сталь из шихтовых материалов или случайно.

4. *Легирующие элементы.* Элементы, специально вводимые в сталь в определенных концентрациях с целью изменения ее строения и свойств, называются *легирующими элементами*.

В связи с этим стали, в которые для получения требуемых свойств специально вводят легирующие элементы, называются *легированными сталями*.

14.2. Распределение легирующих элементов в стали

В промышленных легированных сталях, которые являются многокомпонентными системами, легирующие элементы могут находиться:

- в свободном состоянии;
- в форме интерметаллических соединений и других неметаллических включений;
- в карбидной фазе: в виде раствора в цементите или в виде самостоятельных соединений с углеродом – специальных карбидов;
- в форме раствора в железе.

Рассмотрим перечисленные возможности.

1. Свинец, серебро, медь не образуют соединений с железом. Поэтому наличие в стали даже весьма малых количеств этих элементов, приведет к тому что они будут находиться в свободном состоянии в виде металлических включений.

2. Образовывать интерметаллические соединения может большинство применяемых легирующих элементов. Однако эти соединения образуются лишь при таких содержаниях легирующих элементов, которые практически не встречаются в обычных промышленных сталях. В высоколегированных сталях и сплавах образуются интерметаллические соединения, что имеет большое значение для этих сплавов.

3. Образовывать оксиды и другие неметаллические соединения могут многие элементы, имеющие большее сродство к кислороду, чем железо. Кроме этого некоторые элементы имеют большее сродство к сере, чем железо, и при введении их образуют сульфиды.

Количество окислов, сульфидов и других неметаллических включений в обычных промышленных сталях невелико и зависит от метода ведения плавки.

4. Растворяясь в цементите или образовывая самостоятельные карбидные фазы могут многие элементы, имеющие сродство к углероду. Карбидо-

образующими элементами являются элементы, расположенные в периодической системе элементов левее железа.

5. Растворяясь в железе в значительных количествах может большинство легирующих элементов, кроме углерода, азота, кислорода, бора и металлоидов, удаленных в периодической таблице от железа. Элементы, расположенные в периодической системе левее железа, распределяются между железом (основой) карбидами; элементы, расположенные правее железа (кобальт, никель, медь и др.), образуют только растворы с железом и не входят в карбиды.

14.3 Влияние легирующих элементов на феррит.

Растворение легирующих элементов в Fe_α происходит в результате замещения атомов железа атомами этих элементов. Атомы легирующих элементов, отличаясь от атомов железа размерами и строением, создают в решетке напряжения. Естественно, что изменение размеров α -решетки вызывает и изменение свойств феррита – прочность повышается, а пластичность уменьшается. В подтверждение этого можно привести график влияния легирующих элементов на свойства феррита (слайд). Как видно из диаграмм, хром, молибден, вольфрам упрочняют феррит меньше, чем никель, кремний и марганец. Хром уменьшает вязкость значительно слабее перечисленных элементов, а никель вообще не снижает вязкости феррита. Таким образом, из перечисленных шести наиболее распространенных легирующих элементов особенно ценным является никель.

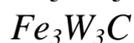
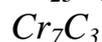
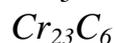
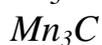
14.4 Карбидная фаза в легированных сталях

Рассмотрим влияние легирующих элементов на образование карбидной фазы, как упрочняющей в большинстве легированных сталях.

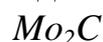
Карбиды в сталях могут образовывать металлы, расположенные в таблице Менделеева левее железа: титан, ванадий, хром, марганец, цирконий, ниобий, молибден, тантал, вольфрам.

Установлено, что в сталях могут образовываться следующие карбидные соединения:

Карбиды 1 группы:



Карбиды 2 группы (фазы внедрения):



Карбиды, отнесенные в 1 группу, имеют сложную кристаллическую структуру. Типичным представителем карбидов этого типа является цементит.

Особенность строения карбидов 2 группы как фаз внедрения заключается в том, что они имеют простую кристаллическую решетку и кристаллизуются обычно со значительным дефицитом по углероду.

Следует отметить, что фазы внедрения трудно растворимы в аустените. Это значит, что при нагреве (даже очень высоком) они могут не перейти в твердый раствор. В этом их отличие от карбидов 1 группы, которые легко растворяются при нагреве. Все карбидные фазы обладают высокой температурой плавления и высокой твердостью.

14.5 Влияние легирующих элементов на превращения в сталях

Влияние легирующих элементов на кинетику распада аустенита

Влияние легирующих элементов на кинетику превращения аустенита очень велико.

Элементы, которые только растворяются в феррите или цементите, не образуя специальных карбидов, оказывают лишь количественное влияние на процессы превращения. Кобальт ускоряет процесс распада аустенита, а большинство элементов, в том числе марганец, никель, медь замедляют его.

Карбидообразующие элементы вносят не только количественные, но и качественные изменения в кинетику изотермического превращения по-разному влияют на скорость распада аустенита: 700-500 °С (образование перлита) – замедляют превращение; 500-400 °С – весьма значительно замедляют превращение; 400-300 °С (образование бейнита) – ускоряют превращение.

Практически наиболее важной является способность легирующих элементов замедлять скорость распада аустенита в районе перлитного превращения, что выражается в смещении линии вправо на диаграмме изотермического распада аустенита. Это способствует более глубокой прокаливаемости и переохлаждению аустенита до интервала мартенситного превращения при более медленном охлаждении, например при охлаждении в масле или на воздухе, что естественно связано с уменьшением критической скорости закалки.

Наиболее сильно увеличивают прокаливаемость хром, никель, молибден, марганец, поэтому они входят в состав большинства конструкционных легированных сталей.

Прокаливаемость стали может быть особенно увеличена при совместном легировании несколькими элементами. Таково, например, совместное действие никеля и хрома. Очень эффективно действует молибден при введении его в хромоникелевую сталь.

Своеобразно влияют на кинетику распада такие сильные карбидообразующие элементы, как ванадий, титан, ниобий и частично вольфрам. Так как элементы образуют труднорастворимые карбиды, то при обычных температурах закалки (800-900 °С) они остаются связанными в карбиды и не переходят в аустенит. В результате этого прокаливаемость стали уменьшается, так как карбиды действуют как готовые центры кристаллизации перлита. При высокой температуре нагрева под закалку эти карбиды уже растворяются; аустенит содержит эти элементы в растворе, что увеличивает прокаливаемость.

Влияние легирующих элементов на мартенситное превращение

Некоторые элементы повышают мартенситную точку и уменьшают количество остаточного аустенита (алюминий, кобальт), другие не влияют на

нее (кремний), но большинство снижает мартенситную точку и увеличивает количество остаточного аустенита (**слайд**).

Влияние легирующих элементов на рост зерна аустенита

Все легирующие элементы уменьшают склонность аустенитного зерна к росту. Исключение составляют марганец и бор, которые способствуют росту зерна. Остальные элементы, измельчающие зерно, оказывают различное влияние: никель, кобальт, кремний, медь относительно слабо влияют на рост зерна; хром, молибден, вольфрам, ванадий, титан сильно измельчают зерно (перечислены в порядке роста силы их действия).

Влияние легирующих элементов на превращения при отпуске

Легирующие элементы замедляют процесс распада мартенсита. Некоторые элементы, такие как никель или марганец, влияют незначительно, тогда как большинство (хром, молибден, кремний и др.) – весьма заметно. Это связано с тем, что процессы при отпуске имеют диффузионный характер и большинство легирующих элементов замедляют карбидное превращение, в особенности на стадии коагуляции.

15 Классификация и маркировка легированных сталей

15.1 Классификация легированных сталей

Легированные стали могут быть классифицированы по четырем признакам: по равновесной структуре, по структуре после охлаждения на воздухе, по составу и по назначению.

Классификация по равновесной структуре

1. Доэвтектоидные стали, имеющие в структуре избыточный феррит;
2. Эвтектоидные стали, имеющие перлитную структуру;
3. Завтектоидные стали, имеющие в структуре избыточные (вторичные) карбиды;
4. Ледебуритные стали, имеющие в структуре первичные карбиды, выделившиеся из жидкой стали.

Классификация по структуре после охлаждения на воздухе

Учитывая структуру, получаемую после охлаждения на спокойном воздухе образцов небольшой толщины, можно выделить три основных класса сталей:

- перлитный;
- мартенситный;
- аустенитный.

Стали перлитного класса характеризуются относительно малым содержанием легирующих элементов, мартенситного – более значительным и, наконец, аустенитного – высоким содержанием легирующих элементов.

Превращения в этих сталях можно представить в виде следующих диаграмм распада аустенита (**рис. 9.3**). Для легированных сталей перлитного класса кривая скорости охлаждения на воздухе (**рис. 9.3, а**) будет пересекать область перлитного распада и будут получаться структуры – перлит, сорбит, тростит.

У сталей мартенситного класса область перлитного распада уже значительно сдвинута вправо (**рис. 9.3, б**). Поэтому охлаждение на воздухе не приводит к превращению в перлитной области – аустенит здесь переохлаждается до температур мартенситного превращения.

С увеличением содержания легирующих элементов (аустенитный класс) не только сдвигает вправо область перлитного распада, но и снижает мартенситную точку в область отрицательных температур (**рис. 9.3, в**). В этом случае сталь, охлажденная на воздухе до комнатной температуры, сохранит аустенитное состояние.

Классификация по составу

В зависимости от состава легированные стали классифицируются как никелевые, хромистые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые и тому подобные стали. Классификационный признак – наличие в стали тех или иных легирующих элементов.

Классификация по назначению

В зависимости от назначения стали можно объединить в следующие группы.

Конструкционная сталь, идущая на изготовление деталей машин. Эта сталь, как правило, у потребителя подвергается ТО. Поэтому конструкционные стали подразделяются на цементируемые и улучшаемые.

Строительные (низколегированные) стали, близкие по составу к конструкционным, но не предназначенные для ТО у потребителя.

Инструментальная сталь, идущая на изготовление режущего, измерительного, штампового и прочего инструмента. Инструментальные стали условно подразделяются на следующие четыре категории: углеродистые, легированные, штамповые и быстрорежущие.

Стали и сплавы с особыми свойствами. К ним относятся стали, обладающие каким-нибудь резко выраженным свойством: нержавеющие, жаропрочные и теплоустойчивые, износостойкие, с особенностями теплового расширения, с особыми магнитными и электрическими свойствами и т.д.

15.2 Маркировка легированных сталей

Для обозначения марок сталей разработана система, принятая в ГОСТах. Обозначения состоят из небольшого числа цифр и букв, указывающих на примерный состав стали.

Каждый легирующий элемент обозначается буквой: Н – никель, Х – хром, К – кобальт, М – молибден, Г – марганец, Д – медь, Р – бор, Б – ниобий, Ц – цирконий, С – кремний, П – фосфор, Ч – редкоземельные металлы, В – вольфрам, Т – титан, Ф – ванадий, Ю – алюминий. Буква А, если она стоит внутри маркировки обозначает азот, В конце марки стали обозначает, что сталь высококачественная (малое содержание серы и фосфора), и если в начале марки – автоматная сталь.

Первые цифры в обозначении показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента (конструкционные стали) и в десятых долях (высокоуглеродистые, инструментальные стали). Цифры, идущие за буквой, ука-

зывают примерное содержание данного легирующего элемента (при содержании элемента менее 1 % цифра отсутствует).

Пример: 12Г2 – 0,10-0,15 % С, 1,3-1,7 % Мn;

30ХГС – 0,28-0,35 % С, 0,8-1,1 % Cr, 0,9-1,2 % Мn, 0,8-1,2 % Si.

Иногда при маркировке инструментальных сталей опускают первую цифру, которая обозначает процентное содержание углерода, поскольку подразумевается, что в этих сталях углерода всегда около 1 %.

Пример: Х12М – 1,45-1,7 % С, 11,0-12,5 % Cr, 0,5-0,8 % Мо.