

**Влияние легирующих элементов на отпуск стали**

Алимбабаева З.Л.

Филиал Российского Государственного Университета нефти и газа (НИУ) имени И.М.

Губкина в городе Ташкенте, Узбекистан,

Камилова Г.М.,

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,

Узбекистан

Легирующие элементы специально вводят в сталь с целью изменения ее структуры и свойств в отличие от примесей, попадающих в сталь при выплавке из руд, шихты. Стали, содержащие легирующие элементы, называются легированными. В зависимости от содержания легирующих элементов (указанного в скобках) различают низколегированные (до 2...3 %), среднелегированные (3... 10%) и высоколегированные стали (более 10%). Изменение структуры и свойств сталей возможно лишь в том случае, если элементы, вводимые в сталь, взаимодействуют с железом или углеродом, тогда эти элементы и являются легирующими.

Легирующие элементы замедляют процесс распада мартенсита: никель, марганец – незначительно; хром, молибден, кремний – заметно. Это связано с тем, что процессы при отпуске имеют диффузионный характер, а большинство элементов замедляют карбидное превращение. Легированные стали сохраняют структуру мартенсита отпуска до температуры 400...500°C. Так как в легированных сталях сохраняется значительное количество остаточного аустенита, то превращение его в мартенсит отпуска способствует сохранению твердости до высоких температур. Таким образом, легированные стали при отпуске нагревают до более высоких температур или увеличивают выдержку. Влияние легирующих элементов на отпуск стали выражается количественно и качественно.

Влияние легирующих элементов – уменьшение скорости превращений и повышение температуры превращений. Это наиболее заметно проявляется при введении хрома, ванадия, титана, вольфрама, молибдена, кремния. Температурные интервалы всех видов отпуска легированных сталей на 100–150 °C выше по сравнению с углеродистыми. Влияние легирующих элементов – карбидные превращения и влияние вторичной твердости.

При отпуске происходит распад мартенсита и остаточного аустенита, зафиксированного закалкой. Большинство легирующих элементов замедляет распад мартенсита при отпуске. Элементы, не образующие карбидов (за исключением кремния), и марганец слабо влияют на распад мартенсита и практически не задерживают выделение из него углерода. Кремний сильно задерживает распад мартенсита, что отражается на изменении твердости (и других свойств стали) при отпуске, а также повышает устойчивость стали против отпуска. Для получения одного и того же значения твердости сталь, более легированную кремнием, подвергают отпуску при более высокой температуре, чем сталь с малым содержанием кремния. Легирование, изменяя скорости и температуру превращений, а также тепловые свойства стали, существенно влияет на режимы термической обработки. Нагрев изделий производится с меньшей скоростью в связи с уменьшением теплопроводности сталей. Пониженная теплопроводность увеличивает перепад температур по сечению изделий, а следовательно, повышает и напряжения, вызывающие коробление и трещинообразование.

Температура нагрева для получения аустенита при введении карбидообразующих элементов повышается. Охлаждение изделий возможно со значительно меньшей скоростью, так как процесс распада переохлажденного аустенита замедляется. Уменьшение критической скорости закалки позволяет охлаждать изделия в более мягком охладителе. Это уменьшает внутренние напряжения, коробление деталей, вероятность образования трещин. Увеличивается прокаливаемость сталей, что позволяет упрочнять закалкой крупные изделия во всем сечении. Приведенные данные показывают, что влияние легирующих элементов на прокаливаемость стали, так же как и на устойчивость переохлажденного аустенита, не аддитивно, т.е. не может быть просуммировано а эффективность действия какого либо элемента зависит от комбинации и количества легирующих элементов в каждой стали.

В основу классификации легированных сталей заложены четыре принципа: равновесная структура, структура после охлаждения на воздухе, состав и назначение сталей.

В сталях с небольшим и средним содержанием углерода (до 0,6 %) во многих структурных состояниях содержится большое количество феррита, поэтому свойства стали существенно зависят от его свойств. Прочность и твердость феррита больше всего повышаются при увеличении содержания в нем марганца и кремния и в меньшей степени никеля. Наиболее слабо на твердость феррита влияют Mo, W и Cг. Небольшие количества хрома немного повышают ударную вязкость, а при дальнейшем увеличении содержания — снижают ее. Ударная вязкость феррита резко снижается под влиянием молибдена, вольфрама, марганца (более 1 %), кремния (более 0,5 %), но повышается при легировании никелем.

Эвтектоидные стали имеют перлитную структуру; доэвтектоидные и заэвтектоидные наряду с перлитом содержат феррит или вторичные карбиды типа  $Me_3C$ . В структуре литых ледобуритных сталей присутствует эвтектика, образованная первичными карбидами с аустенитом.

При охлаждении на спокойном воздухе образцов небольшой толщины можно выделить три основных класса сталей: перлитный, мартенситный, аустенитный.

Получение трех классов стали обусловлено тем, что по мере увеличения содержания легирующих элементов устойчивость аустенита в перлитной области возрастает, а температурная область мартенситного превращения понижается. Это отражено на диаграммах изотермического распада аустенита. Стали перлитного класса характеризуются относительно малым содержанием легирующих элементов, и для них кривая скорости охлаждения на воздухе будет пересекать область перлитного распада и будут получаться структуры – перлит, сорбит, троостит.

Карбидообразующие легирующие элементы Cг, Mo, W, V, Nb значительно замедляют распад мартенсита при отпуске. Это объясняется тем, что указанные элементы тормозят карбидное превращение и особенно коагуляцию частиц карбидов, образовавшихся в результате распада мартенсита. Поэтому сталь, легированная карбидообразующими элементами, обладает повышенной устойчивостью против отпуска.

Большинство легирующих элементов повышает температурный интервал распада остаточного аустенита. Если при отпуске углеродистой стали остаточный аустенит распадается в интервале 200-300 °C, то в легированной стали он сохраняется до 500-600 °C. В закаленной высоколегированной высокоуглеродистой стали, например в быстрорежущей, содержится большое количество остаточного аустенита. Если такую сталь отпустить при 500-600 °C, то остаточный аустенит приобретает способность к мартенситному превращению при охлаждении с температуры отпуска. Причиной этого является выделение карбидов из остаточного аустенита и обеднение его углеродом и легирующими элементами при высокотемпературном отпуске. В результате мартенситная точка  $M_n$  повышается и остаточный аустенит становится способен к мартенситному превращению при охлаждении с температуры отпуска.

У сталей мартенситного класса, характеризующихся большим содержанием легирующих элементов, область перлитного распада значительно сдвинута вправо – аустенит переохлаждается без распада до температур мартенситного превращения, образуется мартенсит.

Дальнейшее увеличение содержания углерода и легирующего элемента не только сдвигает область перлитного распада, но и переводит начало мартенситного превращения в область отрицательных температур, поэтому такая сталь, охлажденная на воздухе при комнатной температуре, сохранит аустенитное состояние.

**Никель** - дорогой и дефицитный легирующий элемент, вводится в аустенитные жаропрочные стали в количестве не менее 9 % для получения аустенитной структуры. Вместе с никелем вводится хром. Для снижения склонности к межкристаллитной коррозии в аустенитные стали вводится титан и ниобий, которые связывают практически весь углерод в термически устойчивые карбиды. Избыточное содержание титана и ниобия приводит к образованию интерметаллических соединений и, как следствие, к охрупчиванию стали. Никель повышает коррозионную стойкость аустенитных сталей.

**Хром** - повышает жаростойкость и коррозионную стойкость стали, увеличивает ее электрическое сопротивление и уменьшает коэффициент линейного расширения, увеличивает сопротивление ползучести (до 2 % без снижения пластичности), повышает твердость и прочность, незначительно уменьшая пластичность.

**Кремний** - широко используется при выплавке стали как раскислитель. Легирование кремнием углеродистых и хромистых сталей способствует повышению прочности и снижению пластичности. Увеличивается их жаростойкость. Уменьшая подвижность углерода в феррите, кремний тем самым затрудняет формирование и рост цементитных частиц, что проявляется в повышении устойчивости структуры стали при отпуске. Содержание кремния в стали ограничивают, поскольку он повышает склонность стали к тепловой хрупкости.

**Марганец** - в количестве до 0,8 % остается в стали после раскисления и уменьшения вредного влияния серы (технологическая примесь). При большем содержании - легирующий элемент; способствует стабилизации аустенитной структуры, увеличивает прочность и прокаливаемость стали; снижение пластичности стали наблюдается при содержании марганца более 1,5

**Молибден и вольфрам** - повышают прокаливаемость стали особенно в присутствии никеля, способствуют измельчению зерна и подавлению отпускной хрупкости. Молибден повышает жаропрочность сталей всех структурных классов; наиболее благоприятное влияние на жаропрочность оказывает, находясь в твердом растворе; повышает коррозионную стойкость аустенитных сталей в ряде высокоагрессивных сред. Вольфрам увеличивает жаропрочность высоколегированных сталей и сплавов.

**Ванадий** - способствует повышению прочности в условиях длительной эксплуатации при высоких температурах. Ванадий измельчает зерно стали и образует очень устойчивые карбиды.

**Медь** - увеличивает антикоррозионные свойства, она вводится главным образом в строительную сталь.

Анализируя влияние легирующих элементов на структуру, прокаливаемость и свойства стали, следует учитывать, что их содержание должно быть оптимальным для обеспечения предъявляемых к конкретной стали требований по свойствам.

#### Список использованных источников

1. Физическое металловедение: справ. Т. 1, 2, 3; под ред. У. Р. Кана и П. Хайзена. – М.: Металлургия, 1987.
2. Металловедение и термическая обработка стали: справ. Т. 1, 2, 3; под ред. М. Л. Бернштейна и Рахштадта. – М. : Металлургия, 1983.
3. Термическая обработка в машиностроении: справ.; под ред. Ю. М. Лахтина и Рахштадта. – М. : Машиностроение, 1980. – 783 с.