

- измельчение аустенитного зерна диффузионного слоя и получение структуры скрытогидратного мартенсита при непосредственной закалке наследственно крупнозернистой стали без существенного увеличения массоотдачи углерода из атмосферы в сталь;

увеличение массоотдачи углерода из атмосферы в сталь по сравнению с изотермическим процессом и получение мелкого аустенитного зерна по всей толщине диффузионного слоя при непосредственной закалке.

На основании проведенных исследований установлены оптимальные режимы химико-термоциклической обработки деталей и инструментов, разработаны технологические процессы нитроцементации сталей в условиях циклического теплового воздействия.

#### Список литературы

1. Кристал М.А. Механизм диффузии в железных сплавах. М. – Металлургия. – 1972. – с. 399.

### ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ СОЧЕТАНИЯМИ КАРБОНИТРИДОБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ВЯЗКОСТЬ СТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Григорович К.В., Арсенкин А.М., Демян К.Ю.

*ИМЕТ РАН, Москва, Россия,  
alex\_arsenkin@yahoo.com*

Для повышения комплекса механических свойств (прочности, пластичности, вязкости) эффективным приемом оказалось микролегирование углеродистых сталей карбонитридообразующими элементами. Наиболее распространенными элементами, используемыми при микролегировании (содержание не более 0,15%), являются ванадий, ниобий, титан, а также алюминий. Как известно, данные элементы могут влиять на механические свойства путем упрочнения твердого раствора, дисперсионного упрочнения и торможения роста зерна аустенита и феррита наноразмерными частицами карбидов, нитридов и карбонитридов. Кроме этого, микролегирующие добавки используются в нормализуемых сталях для строительных конструкций. Добавки ниобия приводят к измельчению зерна в таких сталях благодаря образованию карбонитридов ниобия. Для свариваемых конструкций эффективны добавки титана, образующего термодинамически прочные нитриды. Присутствие таких нитридов в зоне термического влияния способствует повышению её вязкости [1].

Введение ниобия способствует повышению прочности и пластичности двухфазных и листовых сталей, применяемых в автомобильной промышленности, за счет измельчения зерна [1].

Совместное микролегирование ниобием и ванадием значительно повышает конструктивную прочность и вязкость в сталях для трубопроводов [2]. Повышение прочности от выделения карбонитридов при сохранении пластичности позволило уменьшить толщину труб в трубопроводах большого диаметра, и тем самым сократить расход металла [1].

Для углеродистых сталей с концентрацией углерода более 0,45% микролегирование карбонитридообразующими элементами не столь распространено. Это в первую очередь связано с присущей таким материалам прочностью благодаря высокому содержанию углерода. Однако малые добавки карбонитридообразующих элементов в первую очередь будут эффективны для торможения роста аустенитного зерна, что позволит измельчить микроструктуру стали и повысить её вязкость.

Данный подход представляется перспективным в связи с повышением требований, предъявляемых к средне- и высокоуглеродистым сталям: наряду с высокой прочностью необходимо обеспечить удовлетворительную пластичность и вязкость таких материалов, а

также усталостную прочность. В частности углеродистые стали, применяемые для железнодорожного транспорта должны обладать вышеперечисленным комплексом механических свойств.

Однако выбор сочетания микролегирования углеродистых сталей осложнен отсутствием или недостаточностью информации о температурах образования карбонитридов, что необходимо для достижения желаемого эффекта.

В представленной работе проведен термодинамический расчет температур образования карбидов, нитридов и карбонитридов, на основании которого показана целесообразность введения в исследуемый материал КНО – элементов, о которых было упомянуто выше. На примере опытных образцов промышленных плавок показано влияние микролегирования ванадием, ниобием, а также влияние содержания алюминия на механические свойства углеродистой стали (~0,65% С).

Были исследованы образцы стали 65, применяемой для производства колес для железнодорожного транспорта. Для получения информации о температурах растворения упорочных дисперсных фаз для данного химического состава с помощью разработанного программного обеспечения был проведен термодинамический расчет, основанный на оценке температурной зависимости произведений растворимости карбидов и нитридов титана, ниобия, ванадия, а также азота и углерода в предположении, что система близка к термодинамическому равновесию [3].

Металлографические исследования микроструктуры и загрязненности стали неметаллическими включениями осуществлялись с помощью системы анализа изображений, включающей в себя оптический микроскоп OLYMPUS PME-3, цифровую камеру и специальную программу IA-32 (LECO). Выявление границ аустенитного зерна проводилось путем химического травления в теплом водном пересыщенном растворе пикриновой кислоты с добавлением ПАВ. Испытания на ударный изгиб проводились на маятниковом колпре RKP-450 с энергией молота 300 Дж.

Было получено, что микролегирование карбонитридообразующими элементами может быть перспективным приемом для повышения вязкости углеродистых сталей. Показано, что добавки титана являются неэффективным приемом, так как титан образует стойкие крупные нитриды, которые не стабилизируют зерно, но могут ухудшить, сопротивление стали разрушению.

Присутствие алюминия в углеродистой стали может сыграть положительную роль для измельчения структуры, однако есть опасность образования алюмосодержащих кислородных неметаллических включений, также приводящих к снижению сопротивления стали разрушению.

Микролегирование ниобием привело к падению ударной вязкости при широком разбросе её значений. Совместное микролегирование несколькими элементами показало большой разброс значений ударной вязкости, а наиболее эффективным оказалось микролегирование ванадием, позволившим повысить значения ударной вязкости при удовлетворительной стабильности результатов.

#### Список литературы

1. Ф. Хайстеркамп, К. Хулка, Ю.И. Матросов и др. Ниобийсодержащие низколегированные стали. М.: "СП Интернет инжиниринг" 1999;
2. Лагнеборг Р., Сивецки Т., Заяц С., Хатчинсон Б. Роль ванадия в микролегированных сталях. Екатеринбург: ГНЦ РФ «УИМ», 2001;
3. Снитко Ю.П., Введенский А.В., Королев Н.В. Расчет растворимости карбонитридов в рельсовой стали // Сб. докладов юбилейной рельсовой комиссии. Новокузнецк: ОАО «КМК», 2002.