

таких профилей следует учитывать зависимость их свойств от расположения армирующих волокон в сечении и способ передачи на них нагрузок при эксплуатации.

Список литературы

1. Ставров, В.П. Формообразование изделий из композиционных материалов. – Минск: БГТУ, 2006. – 482 с.
2. Карпович, О.И. Консолидация стренг из армированных термопластов / О.И. Карпович, А.В. Марков, В.П. Ставров // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2001 – Т.6, № 1 – С. 40–44.
3. Наркевич, А.Л. Трансформация структуры профиля из однонаправленно армированного термопласта при одностадийной пултрузии / А.Л. Наркевич, В.П. Ставров // Труды БГТУ Сер. IV, Химия и технология органических веществ. – 2001. – Вып. IX. – С. 127–129.4.
4. Наркевич, А. Л. Влияние структуры и режимов охлаждения на кристаллизацию вторичного стеклонаполненного ПЭТФ в изделиях / А.Л. Наркевич, В.П. Ставров // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2009. – Т.14, № 2. – С. 65–71

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛИ

Бахрачева Ю. С., Николаева Е.В.

*Московский университет путей сообщения (МИИТ), Волгоградский филиал
bakhracheva@vandex.ru*

Знание качественных и количественных закономерностей формирования структурно-фазовых состояний при нитроцементации лежит в основе усовершенствования технологий химико-термической обработки, повышающей износостойкость и прочность деталей машин, эксплуатирующихся при повышенных нагрузках. В отличие от других видов термообработки, структурные и фазовые превращения при термоциклической (ТЦО) и химико-термоциклической обработке (ХТЦО) совершаются многократно при изменяющейся температуре нагрева-охлаждения. Необходимость многократного повторения обработки, как правило, обусловлена стремлением накопить изменения, которые коренным образом улучшают качество изделий и придают им свойства, не достижимые при одноразовой термической обработке.

В настоящей работе была поставлена задача исследования структуры и диффузионных процессов нитроцементации стали 20X в условиях термоциклирования.

В процессе ХТЦО после происходит образование в диффузионном слое четко выраженных характерных структурных зон.

Формирование этих зон можно объяснить исходя из различного содержания в них углерода и, как следствие, термоциклирования в различных областях диаграммы Fe–Fe₃C. Содержание углерода в слое изменяется от 0,2 до 2 %.

В сердцевине и в переходном слое с содержанием углерода 0,2 – 0,4 % температура нагрева 900 °С выше A_{c3} для стали 20X. Поэтому в процессе ХТЦО происходят неоднократные α↔γ превращения, способствующие протеканию процессов накопления искажений кристаллической решетки и сопровождающиеся развитием релаксационных процессов, заканчивающиеся рекристаллизацией аустенита с формированием очень мелкого зерна размером менее 0,2 мкм. Мелкое аустенитное зерно обеспечивает получение после закалки скрытоугольчатого мартенсита 1 балла.

Применение выдержки при верхней температуре циклирования способствует растворению цементита. Углерод цементита, растворяясь в аустените, получает возможность

участвовать в диффузионном процессе. В этом случае цементит как бы становится внутренним источником углерода.

Было исследовано распределение концентрации углерода после 5 циклов с выдержкой при верхней температуре в каждом цикле в течение 30 минут и после 5 циклов с выдержкой при верхней температуре в первых 4 циклах 30 минут, а в пятом цикле 2 часа. Было показано, что, выдержка в последнем цикле приводит к уменьшению содержания углерода в поверхностной зоне и увеличению его концентрации на глубине 0,4-1,0 мм. В результате чего толщина эвтектоидной зоны диффузионного слоя возрастает. Толщина слоя до содержания углерода 0,4%, т.е. до середины переходного слоя возрастает с 0,7 мм в первом случае до 1,0 мм в случае применения длительной выдержки в последнем цикле.

Проведенное металлографическое исследование показало, что применение выдержки в последнем цикле в течение 2 часов приводит к уменьшению количества цементита в поверхностной зоне и размеров выделений. Мелкокристаллическое строение мартенсита наблюдается по всей толщине диффузионного слоя.

Таким образом, применение в процессе ХТЦО длительной выдержки в последнем цикле значительно увеличивает массоперенос углерода в стали. Это можно объяснить тем, что наиболее существенный вклад в увеличение скорости диффузии вносят подвижные дислокации, особенно подвижная диффузионная сеть. Многократное полиморфное превращение может вызвать движение сети дислокаций. При полигонизации и движении границ зерен также возможно движение сети дислокаций. Движущаяся дислокационная сеть не только переносит атомы растворенного вещества в движущейся дислокационной «трубке», но и сами подвижные дислокации могут быть источником различных дефектов типа вакансий, ускоряющих диффузионные процессы. Поэтому можно предположить, что выдержка при верхней температуре циклирования, приводя к развитию релаксационных процессов в какой-то момент полигонизации, приводит в движение дислокационную сеть, которая, перемещаясь по диффузионному слою, переносит углерод из поверхностной зоны вглубь, при этом измельчается структура всего слоя, в том числе и бывшей эвтектоидной зоны. Отток дислокаций и углерода из поверхностной зоны приводит к растворению части цементитных включений в этой зоне.

При насыщении поверхности концентрация диффундирующего вещества изменяется по закону [1]:

$$c(x, \tau) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \Phi \left(\tau - \frac{h^2}{4D\mu^2} \right)^{0,5} e^{-\mu^2} d\mu$$

где $\Phi(\tau)$ – концентрация на поверхности как функция времени; μ – переменная интегрирования, h – глубина диффузионной зоны, D – коэффициент диффузии углерода, τ – время насыщения.

Расчеты показали, что, нитроцементация с выдержкой при верхней температуре в четырех циклах 30 минут, в пятом – 2 часа существенно влияет на энергию активации углерода. Каждый цикл нагрева и охлаждения, в результате фазовых превращений, протекающих в присутствии потока углерода из внешнего источника, приводит к наклепу твердого раствора и развитию релаксационных процессов, направленных на установление равновесия и нейтрализации внешних воздействий. Степень развития релаксационных процессов определяется технологическими параметрами процесса. В каждом последующем цикле частично наследуется структура и свойства предыдущего цикла и вновь формирующаяся структура, таким образом, определяется развитием процессов упрочнения - разупрочнения во всех циклах.

Как следует из рассмотренных результатов проведенных исследований в зависимости от технологического параметров ХТЦО: количества циклов и времени выдержки при верхней температуре циклирования можно достигнуть следующие результаты:

- 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