

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЯХ

*Физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь*

Содержание легирующих элементов в стали определяет её механические свойства (обрабатываемость, хладноломкость и др), которые могут быть изменены последующей термической или химико-термической обработкой. Но, кроме влияния на механические свойства стали, легирующие элементы очень сильно изменяют свойства диффузионного слоя, образующегося в процессе химико-термической обработки. Так, например, наличие в стали таких легирующих элементов как Al, Ti, Cr значительно увеличивает твердость диффузионного слоя, что связано с образованием нитридов этих элементов – AlN, TiN, CrN, обладающих высокой твердостью [1] (см. рисунок 1).

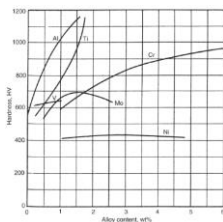


Рис. 1. Влияние легирующих элементов на поверхностную твердость азотированного слоя

Кроме того, концентрация легирующих элементов влияет на глубину азотированного слоя, поскольку растворимость азота $S_{\alpha-Fe}$ и коэффициент диффузии азота $D_{\alpha-Fe}$ в твердом растворе $\alpha-Fe$ тоже зависят от концентрации легирующих элементов [2, 3], что оказывает значительное влияние на технологический цикл ионного азотирования. При расчетах растворимости и коэффициента диффузии, как правило, используют среднее значение концентрации из диапазона, приведенного в соответствующем ГОСТе. По этой причине

для расчетов параметров процесса ионного азотирования [4], желательно знать реальную концентрацию легирующих элементов в данном изделии, подлежащем обработке.

В качестве исследуемых материалов использовались стали Ст.45 (ГОСТ 1050-2013), 40X, 40XH, 38X2МЮА (ГОСТ 4543-2016), как наиболее часто используемые для изготовления различного рода деталей на предприятиях РБ и упрочняемые методом ионного азотирования. Применение этих сталей в первую очередь обусловлено их механическими свойствами после термической обработки (улучшения) и значительным улучшением поверхностных свойств после ионного азотирования.

Измерения концентрации легирующих элементов проводились на атомно эмиссионном спектрометре с искровым возбуждением SPECTROTTEST, измерения проводились непосредственно на деталях, выборка составила: С45 – 20 об., 40X – 47 обр., 40XH – 33 обр., 38X2МЮА – 37 обр.

Одной из наиболее часто применяемых для азотирования сталей, является 40X, которая после азотирования имеет достаточно высокую поверхностную твердость – 550–620 HV₃₀ (эквивалентно 50–54 HRC), что обеспечивает значительный прирост износостойкости изделия после азотирования.

При химическом анализе образцов из данной марки стали было получено следующее распределение концентрации легирующих элементов (см. рисунок 2).

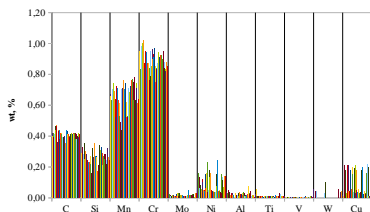


Рис. 2. Распределение концентрации легирующих элементов в образцах из стали 40X

Разброс значений концентрации легирующих элементов занимает всю область допустимых значений по ГОСТ 4543-2016, к тому же в стали присутствуют следовые количества Mo, Al, Ti, V и W. При этом Mo, Al, Ti, V присутствуют во всех образцах, а их концен-

трация находится на постоянном уровне, кроме W, который был обнаружен в 25 % всех образцов.

Если усреднить полученные результаты и сравнить их со значениями, приведенными в ГОСТ 4543-2016, то получим значение концентраций легирующих элементов, характерное для большинства возможных вариантов плавок названных марок сталей.

Анализ полученных результатов показывает, что концентрация C и Si соответствует среднему значению ГОСТ, однако такие легирующие элементы, как Mn, Cr, Mo, Ni и Al всегда находятся почти на нижнем пределе значения ГОСТ или превышают его на $\approx 10\%$.

Наличие в сталях в виде микролегирования элементов Mo – 0,021 %, Al – 0,024 %, Ti – 0,01 %, V – 0,004 % говорит о том, что их необходимо учитывать при моделировании технологических процессов, в частности, при расчете прироста твердости, а также при расчете растворимости азота и коэффициента диффузии. Обнаружено так же присутствие W – 0,049 %, однако в отличие от Mo, Al, Ti и V, он присутствовал только примерно в трети всех исследованных образцов, а в стали Ст45 был обнаружен только в одном образце и не учитывался в дальнейших расчетах для этой марки стали.

Согласно моделям [3], конечная твердость азотированного слоя определяется суммой твердости сердцевины стали, полученной предшествующей термической обработкой, и приростом твердости, которую добавляет образование нитридов легирующих элементов. Тогда конечная твердость азотированного слоя может быть выражена через сумму данных компонентов.

Таким образом, с использованием полученных данных о реальном содержании легирующих элементов в сталях Ст45, 40X, 40XH, 38X2МЮА можно рассчитать твердость азотированного слоя для приведенных марок сталей согласно имеющимся в литературе методикам [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. К.Е. Thelning. Nitriding, Steel and its Heat Treatment, 2nd ed., Butterworths, 1984. – P 492–544.
2. Лахтин Ю.М. Расчет влияния легирующих элементов на растворимость и диффузию азота в стали при азотировании в α и ϵ – фазах / Лахтин Ю.М., Коган Я.Д., Булгач А.А. – Труды МАДИ. Азотирование в машиностроении, 1974, № 174. – С. 42–59.

3. Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган, Г.И. Шпис и др. Теория и технология азотирования // М.: Metallurgia. – 1991. – 320 с.

4. Босяков М.Н., Моисеенко А.Н. Выбор режима обработки на установках ионного азотирования. Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. научн. трудов в 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / редкол.: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2016. – С. 50–58.

УДК 620.2;621.785

Вегера И.И., Гайлевич Э.В., Ходюш В.Е.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

*Физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь*

Технология индукционного нагрева позволяет осуществлять высокопроизводительный бесконтактный нагрев в разнообразных процессах обработки токопроводящих материалов. В число данных типов обработки входят упрочнение, термообработка, сварка, пайка, плавка, нагрев под оплавление и деформацию металлов и т.д. Основными преимуществами нагрева токами высокой частоты являются высокая производительность и энергоэффективность, локализация нагрева в зоне индуктора, нагрев в любой среде (вакуум, газы и т.д.), экологическая чистота нагрева, отсутствие окалины [1, 2].

В настоящее время в виду повышения требований к качеству обрабатываемых деталей, а также повышения производительности оборудования остается открытым вопрос повышения уровня автоматизации процессов индукционного нагрева. Основная задача автоматизации – повышение эффективности, максимальное устранение участия человека в технологическом процессе. Для решения данной задачи необходимо создание современных систем управления установками индукционного нагрева [3].

В данный момент уровень автоматизации индукционного оборудования на многих предприятиях находится на низком уровне, установки индукционного нагрева имеют высокий износ и уста-