

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

М.Ю. Смолякова¹), Д.С. Вершинин¹), И.М. Трегубов²)

¹) Научно-образовательный и инновационный центр «Наноструктурные материалы и нанотехнологии»; Белгородский государственный университет, ул. Королева, 2а, Белгород, Россия, e-mail: SmolyakovaMarina@bsu.edu.ru

²) Воронежский государственный технический университет, Московский проспект, 14, Воронеж, Россия

Исследовано изменение структурно-фазового состава аустенитной стали 12Х18Н10Т после азотирования в плазме несамостоятельного дугового разряда низкого давления при различных температурах. Показано, что в результате ионного азотирования удается повысить микротвердость и износостойкость исследуемой стали. Подобраны основные параметры процесса азотирования (температура и состав газовой смеси), которые позволяют улучшить механические свойства без существенного изменения магнитных характеристик.

Введение

Известно, что нержавеющая немагнитная инструментальная сталь 12Х18Н10Т обладает высокой коррозионной стойкостью, пластичностью, ударной вязкостью, хорошей свариваемостью. Данная сталь, в частности, нашла широкое применение в медицине и пищевой промышленности для изготовления деталей конструкций, функционирующих в контакте с агрессивными средами (растворы кислот, щелочей и солей) [1]. Однако износостойкости данной стали не достаточно для ее эффективного применения в узлах трения.

Одним из способов улучшения свойств поверхности и приповерхностных слоев материалов является низкотемпературное азотирование в плазме несамостоятельного дугового разряда низкого давления. Известно, что азот в небольших количествах всегда присутствует в сталях - его содержание зависит от способа выплавки и химического состава. При этом специальное введение азота в стали аустенитного класса приводит к ряду проблем, таких как образование нитридов легирующих элементов (хрома, титана и других) вследствие высокого сродства азота с указанными элементами. Например, известно, что в результате образования нитридов хрома происходит повышение твердости и износостойкости [2,3]. Однако при этом происходит обеднение твердого раствора по хрому, что приводит к снижению коррозионной стойкости и изменению магнитных свойств вследствие появления ферритной фазы.

В настоящей работе исследовано влияние параметров процесса низкотемпературного азотирования в плазме несамостоятельного дугового разряда низкого давления на структуру и свойства поверхностных и приповерхностных модифицированных слоев аустенитной стали 12Х18Н10Т.

Материал и методика эксперимента

Исследование проводили на инструментальной стали 12Х18Н10Т аустенитного класса. Азотирование выполняли на модернизированной

ионно-плазменной установке типа ННВ-6.6-И1 в плазме несамостоятельного дугового разряда низкого давления при различных температурах (460, 480, 500 и 530⁰С) в течение 60 минут. Исследования изменения структуры поверхностных и приповерхностных слоев после насыщения проводили на поперечных шлифах. С целью выявления структуры азотированных слоев поперечные шлифы подвергали электрохимическому травлению в насыщенном растворе щавелевой кислоты. Изменение морфологии поверхности и структуры модифицированных слоев стали 12Х18Н10Т после ионно-плазменной обработки исследовали с помощью оптического микроскопа Olympus GX 71 и растрового электронного микроскопа Quanta 600 FEG. Измерение микротвердости на поверхности, а также на поперечном шлифе образцов, осуществлялось с помощью автоматического микротвердомера DM-8B (Affri) с алмазной пирамидой при нагрузке на индентор соответственно 0.49 Н и 0.01 Н по ГОСТ 9450-76, погрешность измерений не превышала 3%. Для определения фазового состава модифицированных слоев использовался рентгеновский дифрактометр ARLX'TRA (Швейцария) на CuK_α-излучении. Рентгеновскую съемку образца стали в исходном состоянии проводили в геометрии Брегга-Брентано, а после азотирования – в режиме скользящего пучка с шагом 0,02⁰. Исследования магнитных характеристик аустенитной стали до и после азотирования производили с помощью вибрационного магнетометра. Трибологические характеристики исследовали с использованием автоматизированной машины трения (High-Temperature Tribometer, CSM Instruments, Швейцария) при схеме испытания «шарик-диск» [4]. В качестве контртела использовали корундовый шарик диаметром 6 мм. Испытания проводили в режиме сухого трения при нагрузке на держатель контртела 4 Н и скорости вращения образца 10 см/сек. При этом путь трения составлял 2000 метров. С помощью прецизионного контактного профилометра SURTRONIC измеряли поперечное сечение

дорожки износа образца после трибологических испытаний в пяти областях по трём точкам. На основании этих данных определяли среднее значение площади поперечного сечения. Анализ пятна износа на статическом партнере (шарике) проводили на оптическом микроскопе Olympus GX 71.

Результаты исследований и их обсуждение

В представленной работе рассмотрено влияние температуры обработки на структуру и свойства стали 12Х18Н10Т. Предварительные эксперименты по азотированию аустенитной стали показали, что оптимальным процентным соотношением газов азот-аргон является соотношение 50% – 50%. Исходя из этого, дальнейшие исследования проводили в газовой смеси 50%Ar + 50%N₂, но при различных температурах азотирования 460, 480, 500 и 530^oC.

В результате низкотемпературного азотирования стали удалось существенно повысить поверхностную микротвердость при всех исследуемых температурах процесса обработки (рис. 1). Полученные данные о толщинах модифицированных слоев согласуются с данными измерения распределения микротвердости на поперечных шлифах (рис. 1).

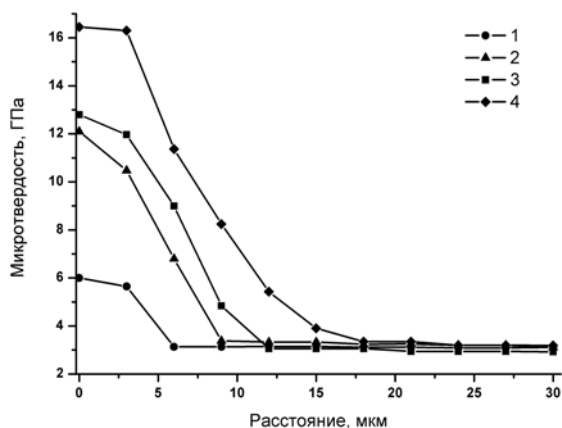


Рис. 1. Распределение микротвердости на поперечном шлифе от поверхности до основы материала для образцов, азотированных при температурах: 1 – 460^oC, 2 – 480^oC, 3 – 500^oC, 4 – 530^oC (на оси ординат в точке «0» указаны значения микротвердости, измеренные на поверхности образцов).

Анализ рентгеновских дифракционных картин по наличию пиков от соответствующих фаз показал, что в приповерхностных слоях образуется низкоазотистая фаза γ' – Fe₄N в процессе азотирования. Модифицирование поверхности при температуре 460^oC не приводит к образованию нитридов хрома, в то время как после обработки при 480^oC можно наблюдать небольшое количество данной фазы. Дальнейшее повышение температуры обработки приводит к увеличению доли нитридов хрома в азотированном слое (рис. 2).

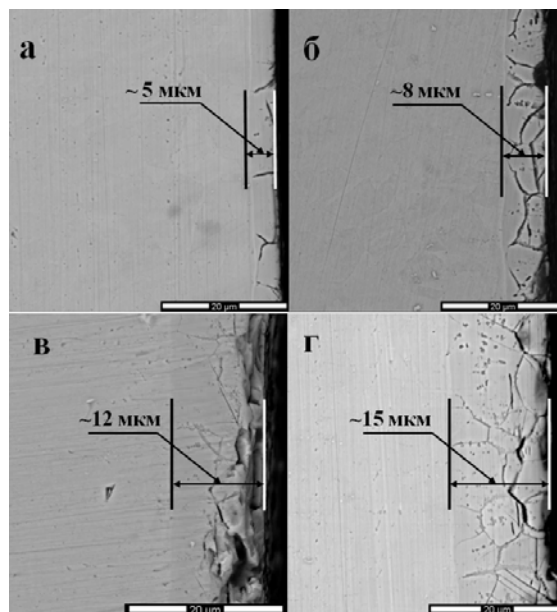


Рис. 2. Структура модифицированных слоев аустенитной стали после азотирования при различных температурах: а) T = 460^oC, б) T = 480^oC, в) T = 500^oC, г) T = 530^oC

На следующем этапе исследований были проведены триботехнические испытания исследуемого материала в исходном состоянии при нагрузке на держатель контртела 4Н. Они были остановлены через 80 минут и пути трения 478 метров вследствие катастрофического износа образца, а также контртела. При этом фактор износа для образца составил $6,60 \cdot 10^{-4}$ мм³/Нм, а для контртела $3,17 \cdot 10^{-5}$ мм³/Нм. Анализ изображений дорожки трения в этом случае показал, что основным механизмом изнашивания является абразивное изнашивание со следами пластического течения материала.

Процесс азотирования позволяет значительно повысить износостойкость исследуемых образцов. Минимальный фактор износа наблюдается после азотирования при температурах 500 и 530^oC. Такое улучшение износостойкости объясняется не только формированием нитридного слоя, но и образованием в нем нитрида хрома, который, как известно, помимо значительного повышения твердости способствует также увеличению износостойкости. Также стоит отметить, что азотирование при температурах ниже 500^oC не приводит к значительному повышению износа по сравнению с образцами, обработанными при T ≥ 500^oC. Исследование дорожки трения после испытаний на износостойкость показало, что к абразивной составляющей механизма изнашивания, наблюдаемой и для необработанных образцов, добавляется адгезионное изнашивание, о чем свидетельствует наличие задигов на поверхности дорожки трения и перенос материала образца на контртело.

Следует отметить, что для всех азотированных образцов стадия разрушения при

данных условиях трибологических испытаний не наступила, и коэффициент трения оставался стабильным. Увеличение температуры процесса азотирования не привело к существенному изменению коэффициента трения, однако, по сравнению со значением для необработанной стали, он понизился.

Вследствие данной обработки изделий из аустенитной стали в поверхностных модифицированных слоях может происходить изменение магнитных свойств. В связи с этим в работе были проведены измерения магнитных характеристик образцов, находящихся в исходном состоянии и подвергнутых азотированию при различных температурах.

Проведенный анализ показал, что кривая намагничивания необработанного образца характерна для ферромагнитного материала, а именно, имеет место магнитный гистерезис, и кривая выходит на участок технического насыщения в полях порядка 4 кЭ (рис. 3).

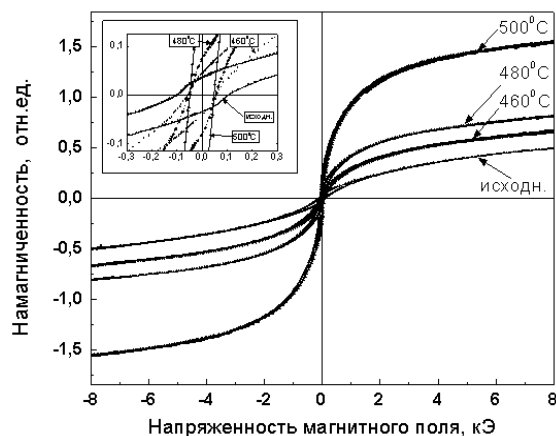


Рис. 3. Кривые перемагничивания стали 12X18N10T в исходном состоянии и после азотирования при различных температурах. На вставке показаны петли гистерезиса исследованных образцов.

После обработки образцов параметры кривых перемагничивания меняются. Причем степень возрастания намагниченности насыщения относительно значения, полученного для исходного образца, увеличивается с ростом температуры азотирования и достигает максимального значения после обработки при температуре 500°C. Наблюдаемые изменения магнитных характеристик после азотирования связаны с изменением фазового состава в модифицированном слое. Необходимо также

отметить, что проведение процесса азотирования при температурах 460 и 480°C позволяет не только сохранить низкие значения намагниченности насыщения, но и снизить коэрцитивную силу примерно в два раза относительно состояния до обработки.

Заключение

Исследованы изменения структурно-фазового состава, трибологических и магнитных свойств аустенитной стали 12X18N10T после низкотемпературного азотирования в плазме несамостоятельного дугового разряда низкого давления. Показано, что низкотемпературное азотирование позволяет увеличить поверхностную микротвердость более чем в пять раз (с 3 до 16,4 ГПа). Установлено, что повышение температуры азотирования от 460 до 530°C приводит к увеличению содержания нитрида хрома в модифицированном слое с одновременным возрастанием значения намагниченности материала. На основе полученных данных установлено, что для улучшения свойств аустенитной стали 12X18N10T необходимо проводить процесс азотирования в плазме несамостоятельного дугового разряда низкого давления при температуре 480°C в газовой смеси 50%N₂ + 50%Ar. Этот режим приводит к оптимальному сочетанию физических и механических свойств исследуемой стали, в результате применения которого микротвердость поверхности возрастает до 12,1 ГПа, а толщина азотированного слоя составляет 8 мкм. Размерный коэффициент износа снижается на три порядка от 6,60·10⁻⁴ до 3,05·10⁻⁷, при этом магнитные свойства изменяются незначительно.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Список литературы

1. Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А. и др. Марочник сталей и сплавов. - М.: Машиностроение, 1989. - 640с.
2. Герасимов С.А., Гресс М.А., Лаптева В.Г., Мухин Г.Г., Баязитова В.В. // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2008. - 2 (632). - С. 34 - 37.
3. Пастух И.М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде - Харьков: ННЦ ХФТИ, 2006. - 364 с.
4. Вершинин Д.С., Смолякова М.Ю., Манохин С.С., Дручинина О.А., Ахмадеев Ю.Х. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2010. - Т. 76. - 12. - С. 45 - 49.

THE INFLUENCE OF LOW-TEMPERATURE NITRIDING ON TRIBOLOGICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF AUSTENITE STAINLESS STEEL

M.Yu. Smolyakova¹), D.S. Vershinin¹), I.M. Tregubov²)

¹Scientific-educational and innovative Centre "Nanostructural Materials and Nanotechnologies", Belgorod State University, Russia, Belgorod, Koroleva St., 2a, e-mail: SmolyakovaMarina@bsu.edu.ru

²Voronezh State Technical University, Russia, Voronezh, Moskovskii Ave., 14

The changing of phase-structure composition of austenite stainless steel 12H18N10T after low-temperature nitriding at different temperatures in plasma of non-self-sustained low-pressure arc discharge is investigated. It is shown that ion nitriding results to increasing of microhardness and wear-resistance of the steel. Main parameters of nitriding process (temperature and gas mixture composition), that allow improving mechanical properties without essential changing of magnetic characteristics, is defined.