

ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВАКУУМНОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

^{1,а)} Куренбин Т.А.

Научный руководитель: ^{1,2}Гончаренко И.М., к.т.н.

¹Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

²ФГБУН Институт сильноточной электроники СО РАН, 634055,

Россия, г. Томск, пр-т Академический, 2/3.

^{а)}Е-mail: curenbin@yandex.ru

FEATURES OF CONSTRUCTION STEEL HARDENING BY VACUUM CHEMICAL-THERMAL ION-PLASMA PROCESSING

^{1,а)} Kurenbin T.A.

Scientific Supervisor: ^{1,2}Goncarenko I.M.

¹ Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

²Institute of High Current Electronics, 2/3 Akademichesky Avenue, Tomsk 634055 Russia

^{а)}Е-mail: curenbin@yandex.ru

Введение

Одним из популярных технологических методов изменения эксплуатационных характеристик конструкционных сталей на сегодняшний день является диффузионное насыщение поверхностных слоев азотом. Благодаря азотированию повышаются сопротивление усталости, коррозионная стойкость, теплоустойчивость, твердость и износостойкость [1, 2]. Однако, свойства азотированного слоя в большинстве случаев зависят от химического состава и исходной структуры материала. В частности, это касается таких параметров как твердость и протяженность упрочненной области. Анализ существующих способов азотирования показывает достаточно заметную эффективность данного метода для упрочнения сталей содержащих легирующие нитридообразующие элементы, такие, например, как титан, хром, ванадий, алюминий и др. Легированные стали после азотирования имеют поверхностную твердость HV 850 - 1200 кг/мм² [3, 4], в то время как твердость азотированной поверхности у деталей из углеродистых и слаболегированных сталей не превышает HV 350 - 500 кг/мм² [5]. Наличие легирующих материалов увеличивает растворимость азота в железе и способствует значительному увеличению твердости и прочности за счет формирования в насыщаемом слое ультрадисперсных нитридов указанных элементов. Однако высоколегированные стали, применяемые для изготовления деталей под азотирование, имеют сложную технологию выплавки и содержат дорогостоящие и дефицитные легирующие материалы. Чаще всего для конструкционной прочности узлов сопряжения различных деталей не требуется легирование их основы по всему объему, достаточно ввести легирующие элементы в поверхностный слой.

С другой стороны, поскольку скорость диффузии азота в сталях зависит от площади межзеренных границ, так как трансграничные процессы при температурах ниже 600 °С существенно медленные, для интенсификации формирования азотированного слоя предпочтительней выбирать материалы с более мелкой структурой, либо приводить их исходное крупнозернистое состояние к субмикроструктурному в результате предварительной обработки. В частности, измельчение среднего размера зерна сталей феррито-перлитного класса может быть достигнуто в результате закалки с образованием мартенситной

структуры. Сама по себе закалка также приводит к повышению твердости стали и не только на поверхности, но и во всем объеме детали. Однако, закалочные структуры склонны к разупрочнению в результате отпуска при повышенных температурах эксплуатации, имеют низкую коррозионную стойкость даже в обычных средах, а также имеют тенденцию к диффузионному схватыванию в контакте с поверхностями многих материалов в трибологических процессах.

На современном этапе развития технологий по упрочнению конструкционных сталей, наряду с известными и уже надежно зарекомендовавшими себя на большинстве производств методами, стремительными темпами развивается особый ряд электрофизического оборудования для воздействия на поверхность материалов потоками заряженных частиц в вакууме. Применение такого оборудования дает возможность более тонкого регулирования глубиной и составом диффузионного слоя, ускоряет насыщающую способность поверхности за счет минимизации загрязнений и замедления процессов «паразитного» оксидообразования при повышенных температурах. Поэтому, в связи с решением задач по экономии материалов, с одновременным достижением заданных механических эксплуатационных свойств поверхностного слоя, а также интенсификации производства, разработка новых технологических операций химико-термической обработки (ХТО) в вакууме является актуальной темой в современном машиностроении. В настоящей работе продемонстрированы результаты исследования по упрочнению поверхности стальных образцов комбинированным вакуумным методом в безводородной плазме дуговых разрядов.

Материалы и методика эксперимента

Исследования проводили на образцах, изготовленных из конструкционной легированной стали 40Х. Предпосылками для этих исследований послужили два предположения. Во-первых, модифицирование поверхностного слоя стали легирующими элементами должно изменить механизм диффузионного насыщения азотом и поверхностную твердость за счет образования сложных нитридов. Во-вторых, уменьшение объема зерен в результате закалки стальных образцов, по сравнению с исходной равновесной структурой в ферито-перлитном состоянии, должно ускорить кинетику процессов насыщения атомами азота в результате увеличения их концентрации вдоль границ и на дефектах структуры.

Для первого предположения проводили комбинированную ионно-плазменную обработку, состоящую из 2-х этапов. На первом этапе на поверхность образцов, выполненных из конструкционной стали 40Х в ферито-перлитном состоянии, вакуумно-дуговым методом напыляли тонкие пленки (~0,2 мкм) нитридообразующих металлов, в частности, нержавеющей стали (12Х18Н10Т), алюминия (Д16) и титана (ВТ-1-0). После напыления пленок образцы нагревали в газоразрядной плазме аргона при давлении в рабочей камере ~ 0,1 Па до температуры 550°С в сопровождении с ионной бомбардировкой с энергией 600 эВ. В этих условиях проводили изотермическую выдержку в течение 1 часа. На втором этапе модифицированные образцы азотировали в течение 2 часов при температуре 520°С в плазме дугового газового разряда при том же давлении. Оба этапа проводили в едином вакуумном цикле, не перегружая образцы из одного рабочего пространства в другое.

В рамках второго предположения проводили исследования эффектов упрочнения в результате ионно-плазменного азотирования предварительно закаленной стали 40Х в безводородной плазме дугового разряда в вакууме в диапазоне температур 200 – 520 °С. Предварительная закалка на мартенсит проводи-

лась традиционным способом в воду от $T = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$. Во всех случаях для реализации процесса азотирования использовалась установка на базе вакуумно-дугового разряда.

Толщину нитридной области азотированного слоя определяли методом оптической металлографии после химического травления поперечного микрошлифа экспериментальных образцов в 4%-й азотной кислоте. Твердость поверхностей, а также общую глубину упрочненного слоя на поперечных шлифах выявляли статическим индентированием с помощью микротвердомера ПМТ-3М по восстановленному отпечатку, оставленному пирамидой Виккерса при испытательных нагрузках в диапазоне 50-100 г.

Результаты эксперимента

Исследование влияния легирования поверхностного слоя стали 40X нитридообразующими металлами на твердость и глубину азотированного слоя показало, что предварительное нанесение пленки перечисленных выше металлов, оказывает значительное влияние на характеристики азотированного слоя.

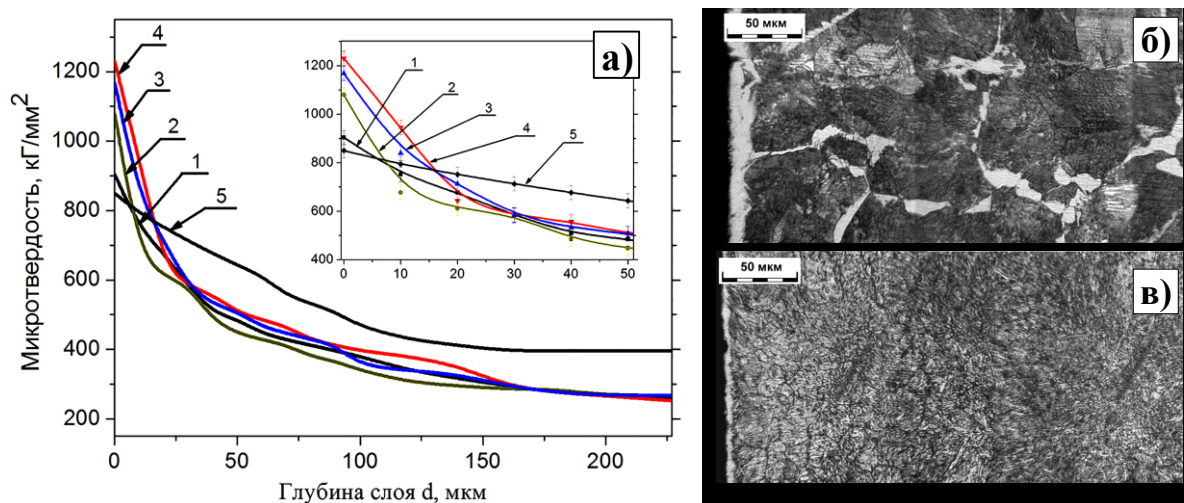


Рис.1. График распределения микротвердости (а) и изображения микроструктуры поперечных шлифов слаболегированной конструкционной стали 40X с исходной равновесной структурой (б) и предварительно закаленной (в) после 2-х часов азотирования при $T=520\text{ }^{\circ}\text{C}$ в безводородной плазме дугового разряда низкого давления ($\sim 0,1\text{ Па}$): 1 – образец стали в ферито-перлитном состоянии азотированный без предварительного легирования; 2 - образец стали в ферито-перлитном состоянии легированный нержавеющей сталью; 3 - образец стали в ферито-перлитном состоянии легированный Ti; 4 - образец стали в ферито-перлитном состоянии легированный Al; 5 - сталь после закалки (исходная структура -мартенсит).

На рис. 1 представлен характер распределения микротвердости по глубине в поверхностном слое стали 40X в зависимости от легирующего материала и предварительно закаленного образца. Видно, что на промежутке от поверхности до 50 мкм, распределение твердости у стали легированной алюминием (кривая 4) и титаном (кривая 3), значительно отличается от азотированной стали без предварительного легирования (кривая 1). Далее в глубину распределение носит схожий характер. Также из рис.1. видно, что азотирование предварительно легированной стали 40X позволяет увеличить поверхностную твердость в 1,3-1,5 раза (табл.1). Следует отметить, что предварительное легирование влияет на формирование протяженности, как нитридной области («белого слоя») так и общей толщины азотированного слоя. Максимальная величина упрочненного слоя была обнаружена для образца легированного Al, значения приведены в таблице 1.

На образце предварительно закаленном наблюдается значительное увеличение твердости азотированного слоя (*кривая 5*). Общая протяженность азотированного слоя составляет порядка 140 мкм (табл.1.), при этом также из графика 1 видно, что в сердцевине сохраняется повышенная твердость.

Таблица 1. Твердость и толщина азотированного слоя

№ п/п	Режим обработки	Твердость при нагрузке 50 гр. (кГ/мм ²)		Протяженность «белого слоя», (мкм)	Общая протяженность упрочненного слоя, (мкм)
		сердцевины	поверхности		
1	Сталь 40X азотированная	270	904	11-12	140-150
2	Сталь 40X+ покрытие 12X18H10T +азотированная	270	1087	6-7	120-130
3	Сталь 40X+ покрытие Ti +азотированная	270	1168	11-13	140-150
4	Сталь 40X+ покрытие Al +азотированная	270	1230	13-14	150-160
5	Сталь 40X закаленная +азотированная	450	843	3-5	140

Выводы

1. При комбинированной обработке в плазме дуговых разрядов конструкционной стали 40X для всех рассматриваемых вариантов предварительного легирования было зафиксировано значительное повышение поверхностной твердости в 1,5 -2 раза после азотирования, по сравнению со сталью в исходном состоянии без предварительной модификации.
2. Предварительная закалка на мартенсит стали 40X обеспечивает значительную интенсификацию процесса насыщения азотом по сравнению с ферито-перлитным состоянием. После азотирования при температуре 520 °С в безводородной газоразрядной плазме дугового разряда низкого давления твердость сердцевины предварительно закаленной стали 40X не опускается ниже значения 400 кГ/мм².

Список литературы

1. Лахтин, Ю.М. Азотирование стали / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган. - М.:Машиностроение, 1976. -256 с.
2. Арзамасов Б.Н. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б.Н. Арзамасов, А.Г. Братухин, Ю.С. Елисеев, Т.А. Панайоти. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. –400 с.
3. Gemma K., Ohtsuka T., Fujiwara T., Kawakami M. A new perspective for rapid nitriding in high Cr austenitic steels // *J. Mater. Sci.* - 2001. -№ 36 – P. 5231 – 5235
4. Андреев А.А., Кунченко В.В., Саблев Л.П., Ступак Р.И., Шулаев В.М. Азотирование стали в плазме модифицированного вакуумно-дугового разряда // *Технология машиностроения.* - 2002. - №5. - 27-30.
5. Alsaran A., Karakan M., Celik A. The investigation of mechanical properties of ion-nitrided AISI 5140 low-alloy steel // *Mater Charact.* – 2002. – № 48. P. 323– 327.