

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ТВЁРДОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АЗОТИРОВАНИИ СТАЛЕЙ

Сутыгина А.Н., Шулепов.И.А., Сыпченко В.С.

Научный руководитель: Никитенков Н.Н., д. ф. - м. н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sutygina2013@mail.ru

Одной из причин выхода из строя многих деталей является изнашивание рабочих поверхностей во время эксплуатации в узлах трения. Для решения данной проблемы используют дорогостоящие материалы, необходимые для изготовления деталей, с высокой твердостью, износостойкостью и т.д. Наиболее экономически выгодным вариантом является напыление пленок и модификация приповерхностного слоя деталей.

Одним из способов модификации поверхности является азотирование. Данный метод повышает износостойкость, коррозионную стойкость, твердость поверхности, циклическую прочность [1].

В работе представлены экспериментальные данные по определению твердости и толщины азотированных приповерхностных слоев сталей разных марок методом наноиндентирования. Определена зависимость изменения твердости слоя от мощности тока при азотировании.

Для исследования были взяты образцы стали разных марок, состав которых представлен в таблице 1. Образцы диаметром 40 мм заливались эпоксидной смолой, затем шлифовались и полировались. Образцы предварительно прошли нагрев-очистку, затем азотирование, режимы которых указаны в таблице 2. Нагрев-отчистку применяют для удаления с поверхности загрязняющих соединений и активации поверхности.

Определение толщины и твердости модифицированного слоя осуществляли с помощью нанотвердомера «NanoHardnessTester»

фирмы CSEM методом Виккерса. В методе Виккерса используют алмазную пирамиду с углом при вершине между противоположными гранями равным 136° .

Сущность метода наноиндентирования заключается в том, что в исследуемый материал внедряют индентор, и при этом регистрируются два параметра: нагрузка и глубина внедрения индентора. Твердость определяется как отношение нагрузки на площадь поверхности отпечатка или его проекции.

Так как наноиндентирование исследует слой в нанометровом диапазоне, а также размер индентора составляет 5 мкм, то существенное влияние на результат измерения оказывают шероховатость поверхности, трещины, неоднородность химического состава, поэтому образцы предварительно полируются и при индентации выбирается область с наименьшим количеством дефектов.

Максимальная нагрузка на индентор составляла 50 мН.

Индентирование осуществлялось на поперечном разрезе образцов в направлении от поверхности модифицированного слоя вглубь образца, в результате образуется линейка индентации. Минимальное расстояние между отпечатками составляет 2 мкм. Совокупность таких линеек, сдвинутых относительно друг друга на 2 мкм, представляет собой матричную схему индентации. Данная схема позволяет точнее определять изменение твердости и модуля Юнга вдоль модифицированного слоя. Пример индентации продемонстрирован на рис. 1.

Таблица 1. Состав образцов

Образец	Марка стали	Химический состав, %								
		Si	Mn	P	S	Cr	Mo	C	Ni	V
№1, 4	95X18-Ш	1,00	1,00	0,04	0,02	16,0-18,0	0,40-0,80	0,95-1,2		
№2	03X11H8M2Ф-ВД	0,50	0,50	0,015	0,01	11-12	2,3-2,8	0,03	7,8-8,6	0,05-0,30
№3	30ХГСА	0,9-1,2	0,8-1,1	0,025	0,025	0,8-1,1		0,28-0,34	0,3	

Таблица 2. Режимы азотирования

	Нагрев-отчистка				Азотирование				
	Давление азота, 10^{-3} Торр	Ток газового разряда, А	Напряжения смещения, В	Температура образца, $^{\circ}$ С	Давление азота, 10^{-3} Торр	Ток газового разряда, А	Напряжения смещения, В	Температура образца, $^{\circ}$ С	Время азотирования, мин
№1	3	30,4	700	380	3	30,4	200	385	90
№2	3	46,4	250	380	3	46,4	126	390	90
№3	3	46,4	470	380	3	46,4	122	380	90
№4	3	21,2	430	380	3	21,2	430	380	90



Рис.1. Матричная индентация на образце №3

Первичная полученная зависимость твердости от глубины проникновения имеет пики и впадины, которые возникают из-за погрешностей, описанных выше. Но твердость в азотированном слое меняется плавно, поэтому при обработке данных применялась операция интерполяции с целью уменьшения погрешности. Так как образцы были отшлифованы, то погрешность от шероховатости мала. Приборная погрешность определяется по эталону. Для этого индентор прокалывает кварцевый образец, затем прибор самостоятельно регулирует данную погрешность.

Зависимости твердости от глубины представлены на рис. 2, а сравнение исходной и максимальной твердости в таблице 3. Из полученных зависимостей следует, что на поверхности азотированного слоя максимальная величина твердости, при движении вдоль поперечного среза образца в направлении от азотированной поверхности значение твердости уменьшается. При определенной глубине слоя твердость не изменяется, и из этого можно сделать вывод, что данное значение соответствует исходной твердости образца, а данная глубина является глубиной азотированного слоя. Глубина азотированного слоя, его максимальная твердость и исходная твердость представлены в таблице 4.

Если рассмотреть зависимость изменения твердости от мощности ионного тока, представленной в таблице 4, то видно, что при повышении мощности твердость поверхностного азотированного слоя уменьшается. При повышении мощности увеличивается энергия ионов азота и их количество. При высокой энергии ионы начинают распылять поверхность подложки, соответственно количество осажденных ионов уменьшается, поэтому за одинаковые промежутки времени концентрация азота в образце при разных значениях мощности тока будет отличаться, что в свою очередь влияет на твердость азотированного слоя.

На твердость азотированного слоя влияют не только значения температуры, времени азотирования и давления в камере, но и мощности ионного тока.

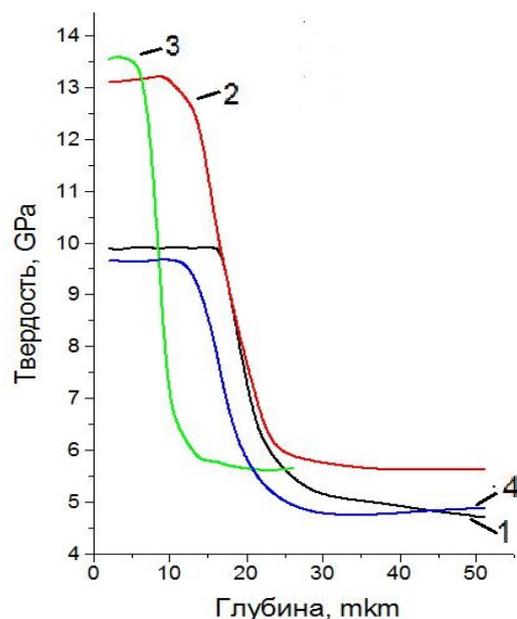


Рис. 2. Зависимость изменения твердости от глубины азотированного слоя

Таблица 3. Сравнение исходной и максимальной твердости азотированного слоя

	Исходная твердость, ГПа	Максимальная твердость азотированного слоя, ГПа	Глубина модифицированного слоя, мкм
№1	5,0±0,2	9,9±0,2	23±1
№2	6,0±0,2	13,0±0,2	26±1
№3	5,8±0,2	13,6±0,2	11±1
№4	4,9±0,2	9,6±0,2	23±1

Таблица 4. Изменение твердости азотированного слоя от мощности

	Максимальная твердость азотированного слоя, ГПа	Мощность, Вт
№3	13,6	5660
№2	13,0	5846
№1	9,9	6080
№4	9,6	9116

Список литературы

1. Белоусов В.А. Наноиндентирование поверхностных слоев материалов. // Вопросы атомной науки и энергетики – 2009 – 146-148 с.
2. Герасимов С.А. Моделирование процесса азотирования – 2013.
3. Пономаренко И.В. Роль изменения твердости в повышении конструкционной прочности талей после ионно-плазменной обработки // Вестник ХНАДУ – 2010.