

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НИЗКОХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ИОННОГО И ГАЗОВОГО АЗОТИРОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

М.В. СИТКЕВИЧ, д-р техн. наук
Белорусский национальный технический университет,
М.Н. КУРИЛОВИЧ
ОАО «Белорусский автомобильный завод»

В статье приведены результаты использования низкотемпературной технологии упрочнения готовых изделий. Технология основана на применении оборудования для ионного и газового азотирования. Процессы проводятся в специальных печах с температурой 520–540 °С. Обеспечивается увеличение долговечности изделий за счет повышения твердости и износостойкости поверхностных слоев. Низкотемпературная технология предназначена для упрочнения быстроизнашивающихся деталей машин, инструмента, оборудования.

Ключевые слова: *низкотемпературная технология упрочнения, ионное и газовое азотирование, повышенная твердость поверхностных слоев, быстроизнашивающиеся детали.*

STRUCTURE AND PROPERTIES OF WORKING SURFACES OF PARTS MADE OF LOW-CHROMIUM STEELS AFTER ION AND GAS NITRIDING IN THE PRODUCTION CONDITIONS

M.V. SITKEVICH, Dr. of Engineering Sciences
Belarusian National Technical University,
M.N. KURILOVICH
Belarusian automobile plant

The article considers the results of using the low-temperature technology of hardening products worked to finished dimensions. Technology is based on application of equipment for ion and gas nitriding. The processes are performed in special furnaces with temperature 520–540 °C. It provides increasing of parts endurance due to rise of hardness and wear-resistance of sur-

face layers. Low-temperature technology is aimed to harden fast-wearied parts of machines, tools and equipment.

Keywords: *low-temperature technology of hardening products, ion and gas nitriding, increasing of parts, hardness of surface layer, fast-wearied parts.*

Для повышения твердости, износостойкости, задиристости поверхностных слоев различных видов стальных деталей, эксплуатирующихся в условиях интенсивного трения скольжения, широко используется химико-термическая обработка (ХТО). Наиболее существенно повышаются показатели твердости и износостойкости поверхностных слоев стальных деталей в результате осуществления таких видов ХТО как диффузионное хромирование, борирование, боросилицирование. Эти процессы проводятся при температурах, как правило, выше 900 °С. Однако использование подобных высокотемпературных методов ХТО требует для повышения свойств сердцевины изделий последующей их закалки, что неизбежно вызывает изменение размеров, и, следовательно, приводит к необходимости окончательной механической обработки рабочих поверхностей. Это частично или полностью устраняет эффект от формирующихся при ХТО износостойких диффузионных покрытий и кроме того затрудняет, а иногда делает и невозможной механическую доводку.

В связи с указанными недостатками высокотемпературных процессов ХТО заслуживают внимание процессы низкотемпературной ХТО (различные виды азотирования, цианирования, карбонитрации), осуществляемые при параметрах, которые не превышают температуры общепринятого для значительной доли деталей из легированных конструкционных и инструментальных сталей отпуска (500–600 °С). В этом случае низкотемпературной химико-термической обработке подвергаются изготовленные в окончательный размер детали, включая шлифовку и даже полировку. В результате такой ХТО размеры и чистота поверхности практически не изменяются, а твердость и износостойкость существенно возрастают. Кроме того, так как температура ХТО не превышает температуры отпуска, сохраняются структура и свойства сердцевины изделия.

Процесс азотирования применяется в различных отраслях промышленности для повышения эксплуатационной надежности ши-

рокой номенклатуры изделий: деталей зубчатых зацеплений, гильз цилиндров, коленчатых и распределительных валов, шпинделей металлорежущих станков, деталей турбин, штампового и режущего инструмента и ряда других деталей. Наиболее широко в промышленности используется газовое азотирование в среде аммиака. Наряду с газовым азотированием в последнее время все большее распространение получает процесс азотирования ионизированным азотом в плазме тлеющего разряда (ионное азотирование).

В настоящей работе приведены результаты исследований, позволившие установить некоторые отличительные особенности влияния способа азотирования на структуру и свойства поверхностных слоев азотированных деталей из сталей, преимущественно используемых на Белорусском автомобильном заводе (ОАО «БЕЛАЗ»), а также выполнить сравнительный анализ показателей твердости и хрупкости азотированных слоев, полученных двумя способами – ионное азотирование в разреженной азотосодержащей атмосфере и газовое азотирование в среде аммиака в производственных условиях ОАО «БЕЛАЗ».

При ионном азотировании в разреженной азотосодержащей атмосфере между катодом (деталью) и анодом возбуждается тлеющий разряд, и ионы газа, бомбардируя поверхность катода, нагревают ее до температуры насыщения. Температура азотирования составляет 470–580 °С, разрежение – 1–10 мм рт. ст., рабочее напряжение колеблется от 400 до 1100 В, продолжительность процесса составляет от нескольких минут до 30 ч. Пониженное давление необходимо для стабильного горения тлеющего разряда [1].

Интенсификация процесса при ионном азотировании объясняется воздействием тлеющего разряда на все элементарные процессы, ответственные за образование диффузионного слоя: активацию газовой фазы, адсорбцию и диффузию [1, 2].

При азотировании в тлеющем разряде положительные ионы диффундирующего элемента под действием энергии электростатического поля приобретают скорость, вектор которой направлен нормально к обрабатываемой поверхности (катоде). Энергия иона, полученного в плазме тлеющего разряда, превосходит в 3000 раз энергию атома азота в диссоциированном аммиаке в условиях обычного газового азотирования [2].

При бомбардировке катода кинетическая энергия иона расходуется на нагрев поверхности и на отрыв электронов и атомов железа (в частности, на катодное распыление). Атомы железа в плазме тлеющего разряда соединяются с азотом, существующим в различных состояниях возбуждения, образуя нитрид железа, который адсорбируется на поверхности катода в виде равномерного слоя. Напыленный слой нитридов под действием ионной бомбардировки разлагается с получением низших нитридов железа (от $\text{Fe}_2\text{N} \rightarrow \text{Fe}_3\text{N} \rightarrow \text{Fe}_4\text{N}$) и азотистого α -твердого раствора. Полученный при распаде низшего нитрида азот диффундирует в поверхностный слой, образуя зону внутреннего азотирования, а железо, обедненное азотом, вновь распыляется в плазму. Процессы образования нитридов в прикатодном пространстве и их осаждения на катоде непрерывно повторяются. Таким образом, нитридные фазы, конденсирующиеся на поверхности катода, являются наряду с газовой фазой самостоятельным источником азота [1, 2].

При ионной бомбардировке достигается идеальная депассивация поверхности за счет удаления оксидных пленок, напыляется пленка нитридов и происходят сложные физико-химические процессы в поверхностном слое катода, приводящие к изменению тонкой структуры металла [1].

Регулируя состав газовой атмосферы и параметры процесса, на железе можно получить азотированный диффузионный слой на базе высокоазотистого α -твердого раствора без поверхностной нитридной зоны, с зоной на основе γ' -фазы (нитрид Fe_4N – фаза внедрения с ГЦК кристаллической решеткой) толщиной до 8 мкм и однофазной зоны ϵ -фазы (нитрид $\text{Fe}_{2,3}\text{N}$ – фаза внедрения с гексагональной решеткой) толщиной 5–30 мкм. В случае обработки легированных сталей также происходит образование фаз α , γ' и ϵ , в которых часть атомов железа замещается атомами легирующих элементов. В процессе охлаждения в зоне внутреннего азотирования диффузионного слоя происходит выделение дисперсных нитридов легирующих элементов повышенной микротвердости [1].

На ОАО «БЕЛАЗ» преимущественно используют два режима азотирования: ионное при температуре 540 °С в течение 27 ч и газовое азотирование при 520 °С в течение 36 ч. Качество азотированного слоя контролируется по следующим параметрам: твердость

азотированного слоя с поверхности и на глубине 0,2 мм, толщина структурных зон азотированного слоя. При указанных параметрах вместе с деталями азотировались образцы-свидетели из сталей 40X и 40XMФА.

Измерение толщины зоны ϵ и γ' фаз показало, что при газовом азотировании толщина зоны данных фаз в азотированном слое больше, чем при ионном насыщении и составляет при газовом азотировании для стали 40X – 16 мкм, 40XMФА – 18 мкм; при ионном для стали 40X – 15 мкм, 40XMФА – 13 мкм (рисунок 1).

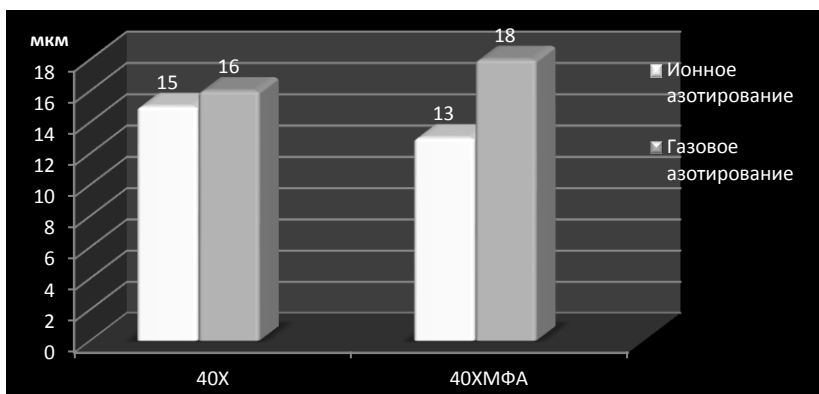


Рисунок 1 – Толщина зоны ϵ и γ' фаз после газового и ионного азотирования

Исследование поверхностной твердости (рисунок 2) показало, что при ионном азотировании твердость азотированного слоя выше на 25–50 HV по сравнению с газовым азотированием и составляет для ионного азотирования для стали 40X – 660 HV, 40XMФА – 680 HV.

Исследование характера распределения микротвердости по толщине азотированного слоя показало, что твердость плавно снижается по мере удаления от поверхности вглубь азотированного слоя как для стали 40X так и 40XMФА (рисунок 3). При этом толщина упрочненного слоя (расстояние от поверхности до твердости 400HV) составляет: для стали 40X – 0,3–0,4 мм, 40XMФА – 0,3–0,35 мм в зависимости от вида азотирования.

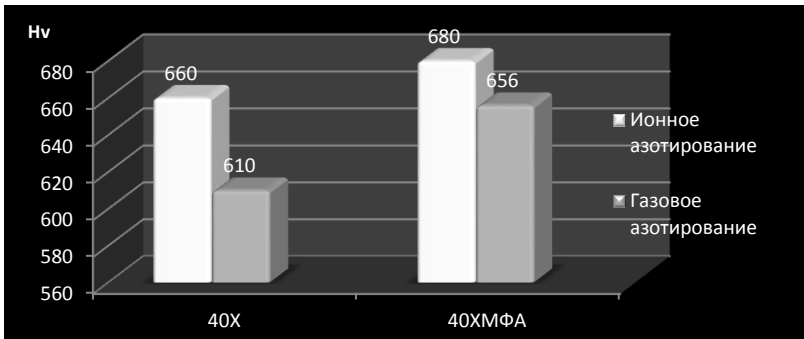


Рисунок 2 – Поверхностная твердость (по Виккерсу) азотированных слоев после газового и ионного азотирования

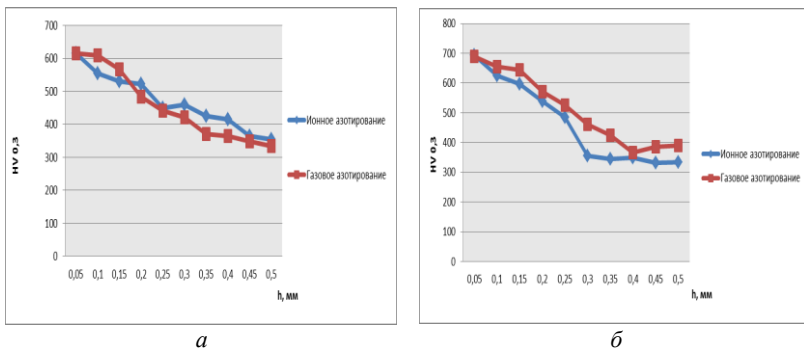


Рисунок 3 – Распределение твердости по толщине азотированного слоя для сталей: 40X (а), 40XMF (б)

Определение хрупкости азотированного слоя производится по виду отпечатка алмазной пирамиды, полученной при измерении твердости на приборе Виккерса. На рисунке 4 представлена шкала хрупкости диффузионного слоя в зависимости от характера отпечатка пирамиды прибора Виккерса [3].

Установление группы хрупкости азотированного слоя проводились при нагрузке 10 и 30 кг (рисунок 5). При нагрузке 10 кг (рисунок 5, а), азотированные слои на сталях 40X, 40XMF имеют группу хрупкости 1 как при газовом, так при ионном азотировании, то есть азотированные слои являются не хрупкими.





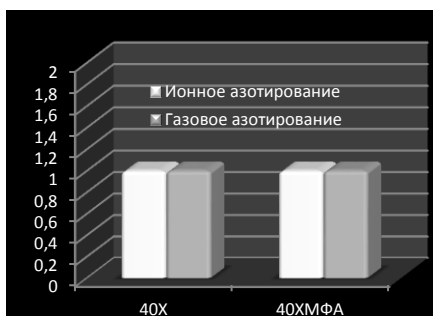
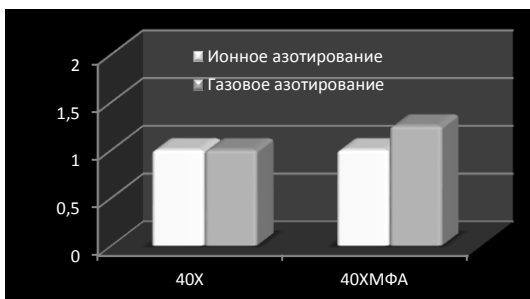
Группа	Вид отпечатков по Виккеру	Определение	Примечание
I		Нехрупкие	Во всех случаях допустимы
II		Слегка хрупкие	
III		Хрупкие	Недопустимы на шлифованных поверхностях
IV		Очень хрупкие	Во всех случаях недопустимы

Рисунок 4 – Шкала хрупкости азотированного слоя



a



б

Рисунок 5 – Хрупкость азотированного слоя при нагрузке 10 кг (*a*) и 30 кг (*б*)

С увеличением нагрузки при определении группы хрупкости до 30 кг (рисунок 5, б) можно отметить, что азотированный слой на стали 40Х имеет группу хрупкости I как при ионном, так и при газовом азотировании. В то же время исследования показывают, что при нагрузке 30 кг на стали 40ХМФА при газовом азотировании слой более хрупкий, чем при ионном азотировании.

Таким образом, из приведенных результатов исследований видно, что как газовое, так и ионное азотирование обеспечивают эффективное формирование на сталях 40Х и 40ХМФА азотированных диффузионных слоев повышенной твердости. При этом не установлено существенной разницы в структурных показателях и свойствах поверхностных слоев, сформированных на исследованных сталях при указанных производственных параметрах ХТО (ионное азотирование при 540 °С в течение 27 ч и газовое при 520 °С в течение 36 ч). Так, после ионного азотирования поверхностная твердость больше только на 25–50 НV по сравнению с газовым, что составляет всего 3–8 % и в небольшой степени после ионного процесса снижается хрупкость поверхностного слоя на более легированной стали 40ХМФА при повышенных нагрузках. Существенным преимуществом ионного азотирования по отношению к газовому является то, что однотипные азотированные слои формируются примерно на 9 ч быстрее, что при больших объемах производства обеспечивает значительное энергосбережение. Однако стоит учитывать, что стоимость установок для ионного азотирования намного выше, чем печей для газового насыщения азотом. В связи с этим при необходимости в упрочнении сравнительно небольших партий деталей экономически целесообразно использование и газового азотирования. Так, на ОАО «БЕЛАЗ» ионному азотированию подвергается широкая номенклатура коронных шестерен диаметром от 600 до 1200 мм массой от 75 до 270 кг. Процесс газового азотирования применяется в основном для обработки крышек задней подвески карьерных самосвалов грузоподъемностью от 55 до 450 т.

Список литературы

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б.Н. Арзамасов [и др.]. – М.: Изд. МГТУ им. Баумана, 1999. – 398 с.

2. Берлин, Е.В. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей / Е.В. Берлин, Н.Н. Коваль, Л.А. Сейдман. – М.: Техносфера, 2012. – 464с.

3. Герасимов, С.А. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов / С.А. Герасимов, Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 518 с.

References

1. Ionnaia himiko-termichetskaia obrabotka splavov [Ionic chemical-thermal treatment of alloys] / B.N. Arzamasov [et al.]. – Moscow: Publishing house of Bauman Moscow State Technical University, 1999. – 398 p.

2. Berlin, E.V. *Plazmennaiia himiko-termichetskaia obrabotka povtrhnosti stalnyh detalej* [Plasma chemical-thermal treatment of the surface of steel parts] / E.V. Berlin, N.N. Koval, L.A. Seidman. – Moscow: Technosfera Publ., 2012. – 462 p.

3. Gerasimov, S.A. *Struktura i iznosostojkost' azotirovannyh konstrukcionnyh stalej i splavov* [Structure and wear resistance of nitride structural steels and alloys] / S.A. Gerasimov, L.I. Kuxsenova, V.G. Lapteva. – Moscow: Publishing house of Bauman Moscow State Technical University, 2012. – 518 p.

Поступила 05.10.2021

Received 05.10.2021