Островковое азотирование поверхности деталей из легированных сталей

Криони Н.К., Мингажева А.А., Кононова А.Ю.
Уфимский государственный авиационный технический университет
г. Уфа, Российская Федерация
nkrioni@mail.ru

Мингажев А.Д., Гафарова В.А.
Уфимский государственный нефтяной технический университет
г. Уфа, Российская Федерация
gafarova.vika@bk.ru

Аннотация. **Одной из актуальнейших задач современного машиностроения является повышение износостойкости деталей машин. Появление новых и совершенствование существующих технологий упрочняющей обработки деталей, в частности технологий, основанных на химико-термическом методе, остаются достаточно востребованными и успешно применяются для повышения эксплуатационных характеристик деталей. Азотирование поверхностного слоя материала деталей как наиболее распространенный способ повышения ресурса и надежности деталей современных машин получил новое качество в связи с использованием ионно-плазменных процессов. В то же время, все возрастающие требования к показателям машин и аппаратов различного назначения, интенсификация и ужесточение условий их эксплуатации требует создания новых технологий азотирования, позволяющих обеспечить комплекс требуемых свойств материалов поверхностности деталей. Настоящая статья посвящена разработке и исследованию новой технологии азотирования деталей из легированных сталей. Целью предлагаемой технологии азотирования является создание композиционного слоя, сочетающего высокую износостойкость и пластичность материала поверхностного слоя. Особенностью технологии азотирования является создание условий протекания процессов химико-термической обработки деталей, позволяющих формировать островковый азотированный слой.**

Ключевые слова: **износ, азотирование, островковые зоны, прилежащие зоны, триботехника, модель, химический состав, износостойкость.**

Введение

Поверхностный слой деталей, его качество и структура в значительной степени определяют эксплуатационные характеристики деталей машин и оборудования [1]. К наиболее распространенным деталям, зубчатые колеса, эксплуатация которых проходит в условиях воздействия высоких значительных силовых нагрузок. При этом наиболее интенсивным воздействиям подвергается материал их поверхностного слоя, поэтому эксплуатационные свойства поверхностного слоя оказывают определяющее влияние на работоспособность детали в целом.

Практика защитно-упрочняющей обработки деталей показала, что к одному из наиболее эффективных методов обеспечения требуемых свойств поверхности относится химико-термическая обработка (ХТО). Применение традиционных процессов [1,2,3] упрочнения поверхности деталей методами ХТО, характеризуются диффузионным насыщением элементами внедрения и замещения с последующим нагревом поверхности изделия [1], в высокотемпературном азотировании и закалке с последующим отпуском [2]. При проведении обработки по технологии ХТО [2] получают высокоазотистый слой небольшой толщины. Ионно-плазменные технологии ХТО, например, основанные на методе ионного азотирования в плазме тлеющего разряда постоянного или пульсирующего тока, включают в себя две стадии - очистку поверхности катодным распылением и собственно насыщение поверхности металла азотом [3] . Ионно-плазменные технологии ХТО, используют на стадии очистки поверхности деталей тлеющий разряд, который периодически переводят в импульсную электрическую дугу. Использование ионно-плазменных процессов в ХТО значительно интенсифицирует процесс обеспечивая быстрый разогрев материала поверхностного слоя деталей [3]. Ионно-плазменные процессы ХТО деталей, включают, как правило, следующую последовательность операций. Размещение детали в рабочей камере установки, активирование поверхности детали перед химико-термической обработкой, подачу в камеру рабочей насыщающей среды, нагрев детали до температур химико-термической обработки и выдержку при этих температурах до формирования необходимой толщины диффузионного слоя [4].

Высокоэнергетический метод обработки ионами азота, позволил повысить эксплуатационные свойства материала поверхностного слоя деталей по сравнению с обычными технологиями азотирования [5-6]. Однако, несмотря на очевидные достижения в области высокоэнергетической ХТО, остаются проблемы, характерные как классическим, так и высокоэнергетическим методам азотирования. Как правило, при азотировании формируется слой, который хорошо противостоит коррозии в атмосфере, но плохо работает при высоких изгибных, контактных напряжениях и в условиях повышенного износа. Одной из причин износа поверхности является присутствие в диффузионном слое хрупких фаз, которые в результате воздействия на деталь эксплуатационных нагрузок приводят к растрескиванию и отслоению азотированного слоя. Наличие циклической, периодически изменяющейся нагрузки приводит к усталостному разрушению азотированного слоя, механизм которого заключается в выкрашивании частиц материала поверхностностног слоя. Последний вид изнашивания особенно характерен для высших кинематических пар.

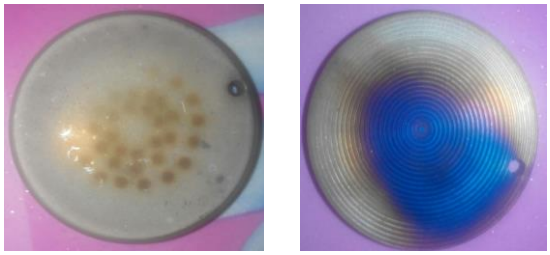
МЕТОД ОСТРОВКОВОГО АЗОТИРОВАНИЯ

В этой связи, авторами была поставлена и решена задача повышения износостойкости и устойчивости диффузионного слоя к воздействию эксплуатационных нагрузок, за счет формирования поверхностного диффузионного слоя в виде композиции, сочетающей высокую твердость и износостойкость диффузионного слоя с пластичностью основного материала детали. Предлагаемая технология азотирования позволяет повысить эксплуатационные свойства материала поверхностного слоя за счет формирования островковых зон с высокой твердостью и износостойкостью распределенных в пластичной матрице исходного материала по заданной схеме, обеспечивающий оптимальное сопротивление разрушающим эксплуатационным нагрузкам, вызывающим износ детали.

Технология химико-термической обработки детали из легированной стали, включает размещение детали в рабочей камере, подачу в камеру рабочей насыщающей среды, нагрев детали до температуры химико-термической обработки и выдержку при этой температуре до формирования необходимой толщины диффузионного слоя. При этом диффузионный слой формируется в виде локальных участков общей площадью от 60 до 90% от площади обрабатываемой поверхности детали, причем локальные участки сформированы либо в виде кругов диаметром от 0,3 мм до 4 мм, либо в виде овалов длиной от 0,5 мм до 4 мм и шириной от 0,3 мм до 2 мм, или либо в виде сочетании кругов и овалов указанных размеров.

Кроме того, возможны следующие варианты технологии. Локальные участки в виде кругов и/или овалов формируют распределяя их по поверхности равномерно с одинаковыми размерами. Перед химико-термической обработкой проводят активирование поверхности детали ионно-имплантационной обработкой при энергии ионов от 25 до 30 кэВ, дозе облучения от $1{,}6\cdot10^{17}$ см$^{-2}$ до $2\cdot10^{17}$ см$^{-2}$, скорости набора дозы облучения от $0{,}7\cdot10^{15}$ с$^{-1}$ до $1\cdot10^{15}$ с$^{-1}$ и при использовании в качестве имплантируемых ионов следующих элементов: C, N или их комбинации. Химико-термическую обработку детали проводят ионно-плазменным методом. В качестве ионно-плазменного метода используют ионно-плазменное азотирование, или ионно-плазменную цементацию, или ионно-плазменную нитроцементацию. Формирование локальных участков в виде кругов и/или овалов производят путем наложения на обрабатываемую поверхность детали экрана с перфорациями, по размеру и форме соответствующим формируемым локальным участкам в виде кругов или овалов.

Внешний вид образцов с островковым азотированным слоем представлен на рисунке 1.



а) б)

Рис. 1. Внешний вид образцов после островкового азотирования:
(а- островковое, б- концентрическими кругами)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АЗОТИРОВАННЫХ СЛОЕВ

Исследование распределения толщины азотированного слоя в островковых зонах и прилежащих к ним зонах, производилось на сферических шлифах (рис. 2). Изготовление сферических шлифов производилось на приборе «CSM CALOTEST».

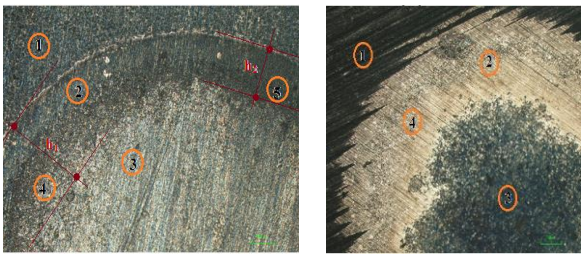


Рис. 2. Изменение толщины азотированного слоя в зоне островка на приборе «CSM CALOTEST»:
1- поверхность азотированного слоя, 2 – азотированный слой, 3 – основной материал детали, 4 – островковая зона, 5 – переходная зона

Исследование структуры и химического состава производили с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6490LV (рис. 3).

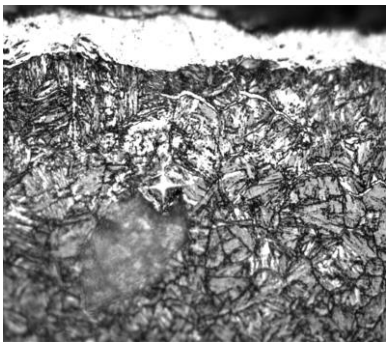


Рис. 3. Микроструктура азотированного слоя в зоне островка

Среднее значение величины микротвердости HV20 в островковой зоне составляет HV20 = 1200, в прилежащей зоне HV20 = 650.

Распределение азота по глубине поверхностного слоя производилась как в островковой зоне, так и прилегающей к ней зоне (рис. 4-5).

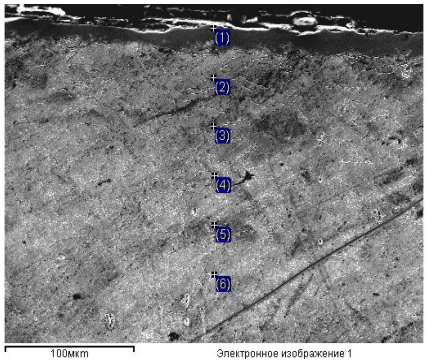


Рис. 4. Микроструктура азотированного слоя в островковой зоне

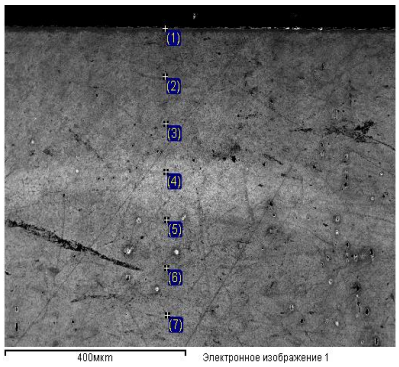


Рис. 5. Микроструктура азотированного слоя в прилежащей зоне

Исследования показали, что толщина азотированного слоя в островковой зоне составляет порядка 250-300 мкм, а вприлегающей зоне порядка 50-60 мкм (рис. 6).

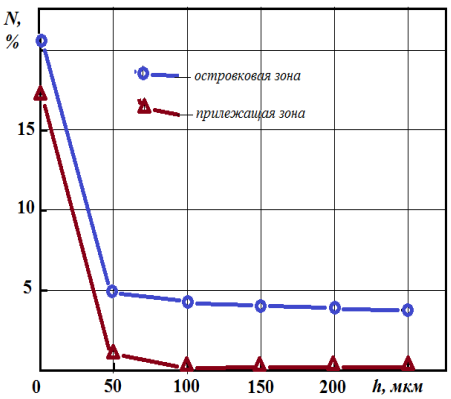


Рис. 6. Изменение содержания азота по толщине азотированного слоя в островковой и прилежащей зонах

Трибологические испытания проводили на автоматизированной машине трения (High-TemperatureTribometer, CSM Instruments, Швейцария) по схеме испытания “шарик-диск”.Непосредственно в процессе испытаний определялся коэффициент трения и сила трения трущейся пары. После испытания производилась оценка износа образца и контртела. При испытании контртело фиксировалось в специальном держателе, изготовленном из нержавеющей стали. Измерение силы трения проводилось с помощью датчика силы трения.

Испытания на износостойкость образцов с азотированным слоем, полученным с использованием различных технологий (таблица 1) показал, что как в случаях использования традиционного азотирования в газовой среде, так и в условиях применения высокоэнергетических методов обработки поверхности, формирование островкового азотированного слоя позволяет значительно повысить износостойкость поверхности детали из легированной стали.

Таблица 1

Износ образцов из легированных сталей с азотированным слоем, полученным по различным технологиям

№ п/п	Вид ХТО		Материал образца	Величина износа образца, г
1	Традиционное азотирование (А)		38Х2МЮА	0,000153
2	Островковое азотирование (ОА)		38Х2МЮА	0,000048
3	Ионная имплантация азотом (ИИ)		30ХГСА	0,000306
4	Традиционное азотирование (А)		30ХГСА	0,001002
5	Ионная имплантация азотом с последующим азотированием (ИИ + А)		30ХГСА	0,000325
6	Ионная имплантация азотом с последующим островковым азотированием (ИИ + ОА)		30ХГСА	0,000191
7	Ионная имплантация азотом с последующим ионным азотированием (ИИ+ ИА)		30ХГСА	0,000238

На рисунке 7 приведены характерные фотографии канавок износа испытанных образцов из легированных сталей при традиционном (рис. 7a) и островковом (рис. 7b) азотировании.

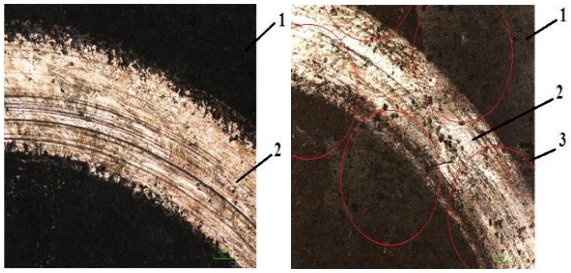


Рис. 7. Канавки износа при a- традиционном и b – островковом азотировании:
1 – азотированная поверхность, 2 – канавка износа, 3- островковые зоны (x 5)

Выводы

1. Традиционное азотирование легированной стали 30ХГСА имеет самую низкую износостойкость.

2. Ионная имплантация, как предварительный метод обработки перед азотированием позволяет значительно повысить износостойкость легированной стали.

3. Использование только одной ионной имплантации не дает положительного результата, поскольку толщина упрочненного слоя в этом случае минимальна и не может использоваться для повышения износостойкости деталей.

4. Ионная имплантация в сочетании с последующим ионным азотированием позволяет повысить износостойкость азотированного слоя

5. Использование ионной имплантацией с островковым азотированием позволяет повысить износостойкость азотированного слоя в 1,7 раз.

Литература

1. Котов О.К. Поверхностное упрочнение деталей машин химико-термическими методами / О.К. Котов. – М.: Машгиз, 1961. – 279 с.

2. Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов в активизированных газовых средах. - М.: Машиностроение, 1979. – 224 с.

3. Лахтин Ю.М. Азотирование стали / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган. – М.: Машиностроение, 1976. – 256 с.

4. Лахтин Ю.М. Теория и технология азотирования / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган, Г.И. Шпис, З. Бомер. – М.: Металлургия, 1991. – 320 с.

5. Криони Н.К., Мингажев А.Д., Давлеткулов Р.К., Мингажева А.А., Измайлова Н.Ф., Бахтиарова Е.В. Способ химико-термической обработки детали из легированной стали // Патент России № 2559606. 2015. Бюл. №22.

6. N.K. Krioni, A.A. Mingazheva, A.Y. Kononova / Nitriding of Parts of Alloyed Steels with High-Energy Surface Treatment. Materials Science Forum. – Vol. 843. – 2016. –P. 85-90.

Islet nitriding of alloy steel parts surfaces

Krioni N.K., Mingazheva A.A., Kononova A.Yu.
Ufa State Aviation Technical University
Ufa, Russian Federation
nkrioni@mail.ru

Mingazhev A.D., Gafarova V.A.
Ufa State Petroleum Technological University
Ufa, Russian Federation
gafarova.vika@bk.ru

Abstract. **One of the most urgent problems of the modern machine engineering is to increase the wear resistance of machine parts. Appearance of new technologies of parts strengthening treatment and improvement of the existing ones, especially technologies based on thermochemical method, remain quite sought-after and are successfully used to improve the operational properties of parts. Parts surface layer nitriding as the most common method of improving the service life and reliability of the modern machine parts got a new quality due to the use of ion-plasma processes. At the same time, the ever-increasing requirements for performance of machines and devices of different purposes, intensification and tightening of the conditions for their operation requires the creation of new nitriding technologies to provide a range of required properties of parts surface materials. This article is dedicated to the development and research of alloyed steel parts new nitriding technologies. The aim of the proposed nitriding technology is to provide a composite layer combining high wear resistance and ductility of surface layer material. A feature of the nitriding technology is creating conditions of processes of thermochemical treatment of parts, making it possible to form the islet nitrided layer.**

Keywords: **wear, nitriding, islet zones, adjacent zones, tribological engineering, model, chemical composition, wear resistance.**