

УДК 004.65

ОСТРОВКОВОЕ АЗОТИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Н. К. Криони¹, А. Ю. Мордвинова²

¹nkrioni@mail.ru, ²ktpla@bk.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 06.12.2018

Аннотация. 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 возрастающие требования к показателям машин и аппаратов различного назначения, интенсификация и ужесточение условий их эксплуатации требуют создания новых технологий азотирования, позволяющих обеспечить комплекс требуемых свойств материалов поверхности деталей.

Ключевые слова: износ; износостойкость; азотирование; островковые зоны; прилегающие зоны; триботехника; модель; химический состав.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее актуальных задач современного машиностроения является повышение износостойкости деталей, работающих в парах трения. В ходе эксплуатации таких деталей нагрузке могут подвергаться только отдельные участки поверхности, например, контактная поверхность зубьев зубчатого колеса, место посадки подшипника на валу и др. В таких случаях нет необходимости упрочнять всю поверхность детали, а достаточно обработать ее рабочую поверхность.

Для повышения стойкости поверхностного слоя таких деталей используется химико-термическая обработка (ХТО).

В процессе ХТО изменяется структурно-энергетическое состояние поверхности металлов и сплавов, что позволяет повысить твердость поверхности, сопротивление износу, усталости, коррозии [1].

ХТО включает в себя одновременно идущие процессы: образование во внешней

среде диффундирующего элемента в активном атомарном состоянии; контактирование активных атомов диффундирующего элемента с поверхностью металла и диффузию. Состав, строение и физико-химические свойства диффузионного слоя зависят от состава насыщающей среды, температуры и продолжительности процесса.

Существует две разновидности ХТО: диффузионное насыщение сталей и сплавов элементами – металлоидами (цементация, азотирование, силицирование) и диффузионное насыщение сталей и сплавов металлами (алитирование, хромирование, цинкование).

Азотирование является одним из эффективных и наиболее распространенных технологических методов поверхностного упрочнения, в результате которого повышается сопротивление изнашиванию деталей машин.

Азотирование – это технологический процесс ХТО, заключающийся в насыщении поверхностного слоя деталей азотом в спе-

циальной азотирующей среде для поверхностного упрочнения, повышения твердости, контактной выносливости, теплостойкости и коррозионной стойкости. Процесс азотирования включает в себя пять основных операций: предварительная термическая обработка заготовки для получения требуемой прочности и вязкости сердцевины изделия; механическая обработка деталей для создания необходимых формы и размеров; защита участков, не подлежащих азотированию (нанесение тонкого слоя олова электролитическим методом); азотирование; доводка изделия [2]. По микротвердости азотирование уступает только борированию, но, в то же время, превосходит цементацию и нитроцементацию.

Основным преимуществом азотирования является возможность получения высокой износостойкости и сопротивления усталости изделий при их минимальном короблении и деформации. По износостойкости азотирования легированная сталь в 1,5–4 раза превосходит высокоуглеродистые закаленные и цементованные стали. При небольших толщинах слоя (0,01–0,2 от радиуса упрочняемого сечения) азотированные изделия характеризуются высоким сопротивлением усталости и малой чувствительности к конструктивным и технологическим концентраторам напряжений [3].

При азотировании создается композиционное покрытие, которое состоит из поверхностной нитридной зоны и диффузионного подслоя – зоны внутреннего азотирования, что обеспечивает широкий диапазон физико-механических характеристик азотированных материалов. Но конкретные условия эксплуатации требуют создания регулируемого диффузионного слоя с развитием тех или иных фазовых и структурных составляющих, которые и определяют работоспособность изделия в рабочем режиме износа. В условиях износа при повышенных удельных нагрузках необходимо создание композита из поверхностной нитридной зоны, опирающейся на подслоя азотного мартенсита или на высокопрочную сложнолегированную зону внутреннего азотирования [1].

Одной из причин износа поверхности является присутствие в диффузионном слое хрупких фаз, которые в результате воздей-

ствия 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 поверхностного слоя.

В узлах трения основная часть работы внешних сил затрачивается на поглощение энергии материалом поверхностных слоев трущихся сопряжений, а также на изменение его свойств и образование теплоты. Одновременное действие деформации и диффузии накладывает особенности на механизм пластической деформации. В связи с активацией поверхностных слоев увеличивается плотность дефектов структуры металлов и сплавов. Одной из причин разрушения поверхностного слоя является упругопластическая деформация, в результате которой формирующийся поверхностный слой (зона деформации) обладает другим, по сравнению с исходным, комплексом свойств. Механические, физические, химические свойства и геометрические характеристики этой зоны взаимосвязаны и в совокупности определяют степень разрушения деталей и выход их из строя.

Правильный выбор материалов для изготовления конкретных видов изделий в значительной мере определяет технико-экономические показатели их производства, а также надежность, долговечность и эффективность эксплуатации машин и механизмов. Основными конструкционными материалами в машиностроении являются металлические материалы, среди которых доминирующее положение занимают различные виды сталей.

Ключевые идеи. В данной статье предлагается технология азотирования образцов из стали 38Х2МЮА, которая позволяет повысить износостойкость и устойчивость 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.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОСТРОВКОВОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Сущность предлагаемой технологии ХТО деталей из легированной стали заключается в размещении детали в рабочей камере печи шахтного или камерного типа.

В печах камерного типа насыщение азотом производится в жароупорной герметичной камере, расположенной внутри конструкции. В шахтных реторных печах азотирование производится в подвешенной внутри герметичной реторы. Преимущество данных печей заключается в возможности равномерного распределения температуры и точной цифровой регулировке процесса, поэтому данный тип печей является наиболее распространенным.

В камеру подается рабочая насыщающая среда: аммиак; аммиак, разбавленный азотом (водородом, инертным газом или продуктами диссоциации аммиака); аммиак с добавлением углеродсодержащих газов (природный газ, эндогаз, экзогаз, продукты пиролиза триэтанолamina, керосина и др.); аммиак с добавлением серосодержащих веществ. Далее следует нагрев детали до температуры ХТО и выдержка при этой температуре до формирования необходимой толщины диффузионного слоя, который формируется в виде локальных участков общей площадью от 60 до 90 % от площади обрабатываемой поверхности детали. Локальные участки сформированы либо в виде кругов диаметром от 0,3 до 4 мм, либо в виде овалов длиной от 0,5 до 4 мм и шириной от 0,3 до 2 мм, либо в виде сочетания кругов и овалов указанных размеров. Локальные участки в виде кругов и/или овалов формируют, распределяя их по поверхности равномерно с одинаковыми размерами.

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 [3].

Процесс островкового азотирования схематично изображен на рис. 1.



Рис. 1. Схема островкового азотирования

На рис. 2 представлен внешний вид образца после островкового азотирования.



Рис. 2. Внешний вид образца после островкового азотирования

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки эксплуатационных свойств деталей, обработанных по предлагаемому способу, были изготовлены сферические шлифы из образца легированной стали 38Х2МЮА, которые подверглись необходимым исследованиям. Эти исследования проводились как в островковой, так и в прилегающей зоне.

В результате измерения микротвердости образцов средние значения в островковой зоне составляют $HV_{20} = 1200$, в прилегающей зоне – $HV_{20} = 650$.

Изменение толщины азотированного слоя в зоне островка рассмотрено с использованием прибора «CSM CALO-TEST» (рис. 3).

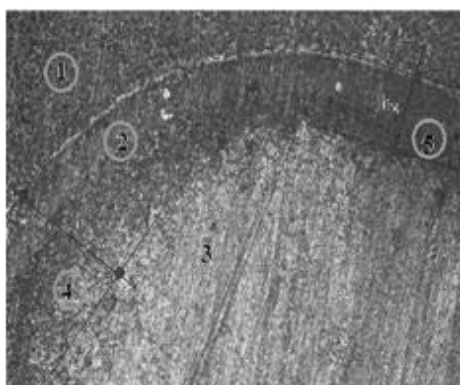


Рис. 3. Изменение толщины азотированного слоя в зоне островка: 1 – поверхность азотированного слоя; 2 – азотированный слой; 3 – основной материал детали; 4 – островковая зона; 5 – переходная зона

Согласно проведенным исследованиям, толщина азотированного слоя в островковой зоне составляет порядка 250–300 мкм, а в прилегающей зоне – 50–60 мкм [4].

На рис. 4–5 приведены микроструктуры азотированного слоя в островковой и прилегающей зонах.

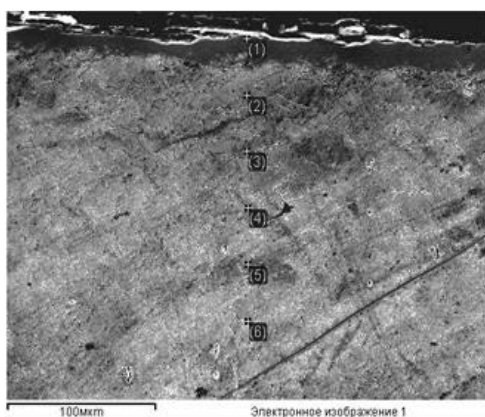


Рис. 4. Микроструктура азотированного слоя в островковой зоне

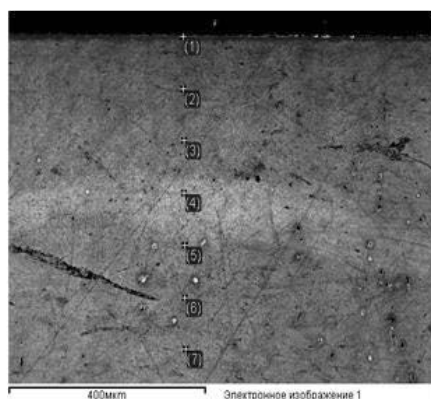


Рис. 5. Микроструктура азотированного слоя в прилегающей зоне

В табл. 1 приведены данные по изменению концентрации азота по толщине в островковой и прилегающей зонах (спектр по рис. 4–5).

Таблица 1

Изменение концентрации азота по толщине азотированного слоя после островкового азотирования

Спектр	Концентрация азота (N)	
	в островковой зоне	в прилегающей зоне
(1)	21.00	18.45
(2)	4.76	1.70
(3)	3.72	0.00
(4)	3.88	0.00
(5)	3.52	0.00
(6)	4.39	0.00
(7)	-	0.00

Трибологические испытания проводили на автоматизированной машине трения (High-TemperatureTribometer, CSM Instruments, Швейцария) по схеме испытания «шарик-диск». После испытания была проведена оценка износа образца и контртела.

Результаты износа образцов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показания износа образцов из стали 38Х2МЮА с азотированным слоем

№ n/n	Вид ХТО	Величина износа образца, г
1	Газовое азотирование (ГА)	0,000153
2	Островковое азотирование (ОА)	0,000048

Как видно из табл. 2, величина износа образцов из легированной стали 38Х2МЮА с островковым азотированием в 3,2 раза выше по сравнению с традиционным газовым азотированием.

На рис. 6 приведены фотографии канавок износа испытанных образцов при традиционном газовом азотировании, а на рис. 7 – при островковом азотировании [5].

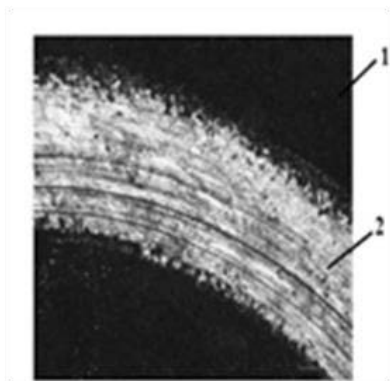


Рис. 6. Канавка износа при традиционном азотировании: 1 – азотированная поверхность; 2 – канавка износа (×5)

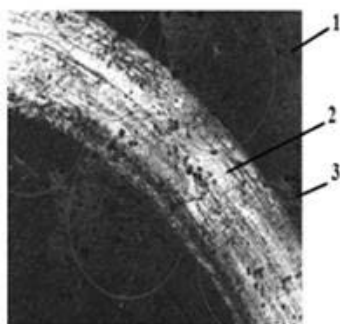


Рис. 7. Канавка износа при островковом азотировании: 1 – азотированная поверхность; 2 – канавка износа; 3 – островковые зоны (×5)

В результате проведенных испытаний, формирование азотированного слоя в виде отдельных участков (островков) круглой или овальной формы позволяет сочетать высокую износостойкость и твердость азотированных участков с пластичностью, расположенного вокруг этих участков, сформированных из основного материала детали [3].

Поверхностное упрочнение снижает вероятность образования и развития микротрещин и повышает сопротивление усталостному разрушению.

В процессе приработки поверхности детали, вследствие адгезионного износа (ввиду более низкой износостойкости пластичной (неазотированной) зоны поверхностного слоя материала подвергается более сильному адгезионному износу) образуется регулярный микрорельеф, который, в целом, приводит к повышению износостойкости азотированной поверхности. В то же время азотированный островковый слой имеет повышенную усталостную износостойкость [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлены результаты разработки и исследования новой технологии азотирования поверхности деталей из легированных сплавов.

Разработанная технология отличается формированием на деталях островковых зон с высокой твердостью и износостойкостью, распределенных в пластичной матрице исходного материала по заданной схеме, обеспечивающего оптимальное сопротивление разрушающим эксплуатационным нагрузкам, вызывающим износ детали.

Дальнейшие исследования предполагается продолжить в направлении исследования износостойкости, твердости и микроструктуры образуемого азотированного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубинин Г. Н., Коган Я. Д. Прогрессивные методы химико-термической обработки. М.: Машиностроение, 1979. 184 с. [G. N. Dubinin, Ya. D. Kogan, *Advanced methods thermochemical processing*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 1979.]
2. Лактин Ю. М., Коган Я. Д. Азотирование стали. М.: Машиностроение, 1976. 256 с. [Yu. M. Lakhtin, Ya. D. Kogan, *Steel nitriding*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 1976.]
3. Башнин Ю. А., Ушаков Б. К., Секей А. Г. Технология термической обработки стали. М.: Металлургия, 1986. 424 с. [Yu. A. Bashnin, B. K. Ushakov, A. G. Sekei, *Thermal treatment technology of steel*, (in Russian). Moscow: Metallurgiya, 1986.]
4. Способ химико-термической обработки детали из легированной стали / Н. К. Криони и др. // Патент России № 2627551, 2017. Бюл. №22. [N. K. Krioni, et al., "The technology of thermochemical treatment of a part made of alloy steel", Patent Of Russia 2627551, 2017.]
5. Островковое азотирование поверхности деталей из легированных сталей / Н. К. Криони и др. // Пром-Инжиниринг: труды III Международной научно-технической конференции. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. С. 130–133. [N. K. Krioni, et al., "Islet nitriding of product surfaces made from alloy steel", (in Russian), *Prom Engineering: Proceedings of the III International Scientific and Technical Conference*. Chelyabinsk: South Ural State University Publishing Center, 2017, pp. 130-133.]

ОБ АВТОРАХ

КРИОНИ Николай Константинович, проф., ректор, зав. каф. технол. машиностроения. Дипл. инж.-мех. по технол. машиностроения (УАИ, 1971). Д-р техн. наук по трению и износу в машинах (РГУНИГ им. акад. И. М. Губкина, 2005). Иссл. в обл. трибологии, контактного взаимодействия твердых тел, методов обеспечения надежности деталей ГТД и ГТУ.

МОРДВИНОВА Анастасия Юрьевна, ст. преподаватель каф. ТПЛА. Дипл. инженера по технол. машиностроения (УГАТУ, 2013). Готовит дис. о технологии формирования износостойких поверхностей деталей методами ХТО.

METADATA

Title: Islet nitriding as a method of wearing surface products.

Authors: N. K. Krioni¹, A. Yu. Mordvinova²

Affiliation: Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹ nkrioni@mail.ru, ² ktpla@bk.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 23, no. 1 (83), pp. 34-39, 2019. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The appearance of new technologies of parts strengthening treatment and improvement of the existing ones, especially the technologies based on thermochemical method, remain quite sought-after and are successfully used to improve the operational properties of the 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.

Key words: wear; wear resistance; nitriding; islet zones; adjacent zones; tribological engineering; model; chemical composition.

About authors:

KRIONI, Nikolay Konstantinovich, Prof., Rector USATU. Dipl. Mechanical engineer in mechanical engineering (AIM, 1971). Dr. tehn. sciences on friction and wear in machines (RGUNiG them. Academician Gubkin, 2005).

MORDVINOVA, Anastasia Yurievna, Lecturer, TPLA Dept. Dipl. engineer in mechanical engineering (USATU, 2013).