

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ 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. Повышение износостойкости деталей машин продолжает оставаться одной из наиболее актуальных задач современного машиностроения. Несмотря на интенсивное развитие различных способов защитно-упрочняющей обработки, технологии, основанные на использовании химико-термического метода, являются достаточно востребованными и широко используются для повышения эксплуатационных характеристик деталей. Азотирование поверхностного слоя материала деталей как способ повышения надежности последних, имея значительную историю развития и совершенствования, продолжает развиваться с учетом научных достижений в области технологий высоких энергий. Однако ужесточение условий работы современных машин и аппаратов требует создания новых технологий азотирования, позволяющих обеспечить комплекс свойств материалов поверхностного слоя деталей и, следовательно, заданные эксплуатационные характеристики.

Ключевые слова: износ; износостойкость; азотирование; ионная имплантация; неоднородность физико-механических свойств; высокоэнергетическая активация; коэффициент трения.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальными являются вопросы повышения надежности и долговечности деталей машин, приборов, установок, а также повышение их качества и эффективности в процессе работы. Решение этих проблем прежде всего связано с упрочнением поверхностных слоев изделий.

Свойства поверхности можно изменить различными способами: нанесением на поверхность нового материала с необходимыми свойствами или изменением состава поверхностного слоя металла с помощью диффузионной химико-термической обработки (ХТО). Использование ХТО позволяет повысить прочность и износостойкость деталей машин, что позволяет добиться большей точности в узлах изделия на протяжении всего периода эксплуатации [1]. В результате проведения ХТО на поверхности изделия образуется новый, отличающийся от сердцевины, сплав.

ХТО позволяет получить в поверхностном слое изделия сплав практически любого состава и, следовательно, обеспечить комплекс необходимых свойств (например, физических, химических, механических и других), а также повысить износостойкость, контактную выносливость, коррозионную стойкость, сопротивление усталости поверхности деталей [2].

К наиболее распространенным методам ХТО относят: азотирование, нитроцементацию, карбонитрирование и другие. Использование данных способов не всегда позволяет обеспечить требуемые свойства поверхностного слоя, а их использование не всегда может быть экономически целесообразно.

В настоящее время особое внимание уделяют разработке наукоемких и ресурсосберегающих технологий, которые позволяют получить поверхности материалов с высокой конструкционной прочностью,

а также сочетать в одном материале различные физические свойства, такие как: высокая прочность, высокая коррозионная и износостойкость, высокие антифрикционные свойства.

К одной из таких технологий относят ионно-плазменное азотирование (ИПА). Этот метод имеет большие технологические возможности и позволяет получать диффузионные слои желаемой структуры, поскольку процесс диффузионного насыщения управляем и может быть оптимизирован в зависимости от конкретных технических требований.

Методы ионного азотирования в плазме тлеющего разряда постоянного или пульсирующего тока включают в себя две стадии: очистку поверхности катодным распылением и насыщение поверхности металла азотом. Существуют способы ХТО, в которых на стадии очистки изделий используют тлеющий разряд, который периодически переводят в импульсную электрическую дугу. Применение ионно-плазменных процессов в ХТО позволяет интенсифицировать процесс за счет быстрого разогрева обрабатываемой поверхности в первые минуты до более высоких температур, чем при температурах процессов классического азотирования [3]. При насыщении деталей азотом в поверхностной зоне деталей образуется слой нитридов, который в дальнейшем является источником поступления азота вглубь детали. Одновременно с увеличением толщины зоны соединений (нитридов) в ней происходит ряд превращений. Прежде всего, расслоение: в наружной части в основном находится ϵ -нитрид (Fe_{2-3}N), а во внутренней – γ' -нитрид (Fe_4N). Соотношение ϵ - и γ' -фаз определяется степенью насыщения стали азотом [2].

Внутренняя часть зоны химических соединений, граничащая с более глубокими объемами детали, в процессе азотирования претерпевает изменения, которые вызваны, тем, что эта часть нитридной зоны непосредственно является источником азота, диффундирующего вглубь металла и участвующего в образовании твердого раствора в железе и нитридов легирующих элементов [2]. В результате в процессе

диффузионного насыщения азотом более глубоких объемов деталей при наличии зоны нитридов происходит диссоциация нитридов. Выделившийся при этом азот свободно диффундирует в решетке феррита и образует твердый раствор $\text{Fe}_\alpha(\text{NC})$.

Схема установки для проведения процесса ИПА представлена на рис. 1.

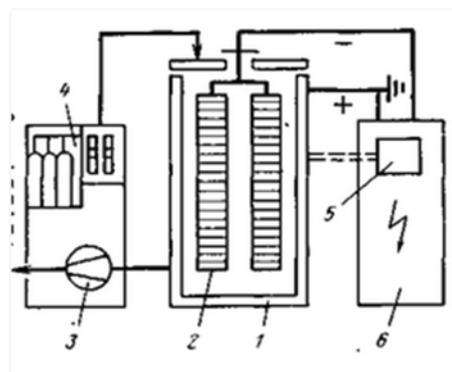


Рис. 1. Схема установки для проведения ионно-плазменного азотирования:
1 – камера (анод); 2 – деталь (катод);
3 – насос; 4 – газобаллонная станция;
5 – приборы контроля и регулировки температуры; 6 – блок питания

Установки для ИПА (рис. 1) работают в разряженной атмосфере при давлении до 1000 Па следующим образом: в камеру (1), действующую по принципу катодно-анодной системы, подается азотно-водородная или азотная смесь для обработки сталей и ее сплавов. В этом случае заготовка (2) служит катодом, а стенки камеры (1) – анодом.

Возбуждение аномально тлеющего заряда инициирует образование плазмы и, как следствие, активной среды, которая включает в себя заряженные ионы, атомы и молекулы рабочей смеси, находящиеся в возбужденном состоянии.

Изменяя состав насыщающего газа, давление, температуру и время выдержки, можно получать слои заданной структуры и фазового состава, обеспечивая строго регламентируемые свойства сталей и их сплавов. Оптимизация свойств упрочняемой поверхности обеспечивается за счет необходимого сочетания нитридного и диффузионного слоев, которые вырастают в основной материал.

В зависимости от целей обработки, в результате ИПА возможно получение диффузионного слоя: с развитой нитридной зоной, обеспечивающей высокую сопротивляемость коррозии и прирабатываемость трущихся поверхностей – для деталей, работающих на износ и без нитридной зоны – для режущего и штампового инструмента и деталей, работающих при знакопеременных нагрузках в условиях изнашивания при высоких давлениях.

В процессе проведения ИПА исключается деформация заготовки, а структура азотированного слоя остается неизменной даже при нагреве детали до 650 °С. Это позволяет использовать ИПА для решения самых разнообразных задач. Кроме того, азотирование ионно-плазменным методом подходит для обработки сталей разных марок, поскольку рабочая температура процесса в азотно-углеродной смеси не превышает 600 °С, что исключает нарушения внутренней структуры и способствует снижению вероятности усталостных разрушений и повреждений из-за высокой хрупкости нитридной фазы.

При азотировании в тонком поверхностном слое материала образуется дефектная зона. При удалении дефектного слоя часто образуются прижоги и ряд других характерных дефектов поверхностного слоя, что в результате приводит к снижению износостойкости деталей.

Ключевые идеи. В данной статье предлагается технология азотирования образцов из стали 30ХГСА, которая позволяет снизить вероятность появления дефектов поверхности деталей за счет активации и обеспечения однородного состояния материала поверхностного слоя, что приводит к повышению износостойкости.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА АЗОТИРОВАНИЯ

Сущность предлагаемой технологии ХТО деталей из легированной стали заключается в активировании поверхности детали перед ХТО, подачу в камеру рабочей насыщающей среды, нагрева детали до температур ХТО и выдержку при этих температурах до формирования необходимой толщины

диффузионного слоя. При этом активирование поверхности детали перед ХТО проводят имплантацией ионов [3].

При проведении традиционных методов азотирования процесс диффузии протекает неравномерно, что приводит к формированию неравномерного по толщине и неоднородного по структуре и свойствам азотированного слоя детали [4]. Кроме того, традиционные технологии азотирования характеризуются низкой производительностью – время насыщения поверхностного слоя материала детали длится достаточно долго [5].

Для минимизации влияния неоднородности поверхностного слоя предварительно проводят его ионно-имплантационную обработку, а после – азотирование [4].

В результате ионно-имплантационная обработка поверхности приводит к образованию тонкого однородного слоя, способного равномерно поглощать диффундируемый азот (рис. 2).

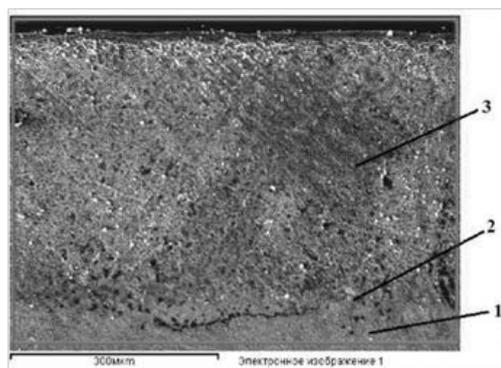


Рис. 2. Электронная фотография образца после ионного азотирования:
1 – основной материал; 2 – граница;
3 – азотированный слой

Ионно-имплантационная обработка приводит к образованию тонкого однородного слоя, который способен равномерно поглощать диффундируемый азот. Начальный процесс диффузии является определяющим процессом для дальнейшей диффузии азота. Несмотря на небольшую толщину имплантационного слоя (порядка 3 мкм), последний обеспечивает образование более равномерного и однородного азотированного слоя поверхности детали (рис. 3).

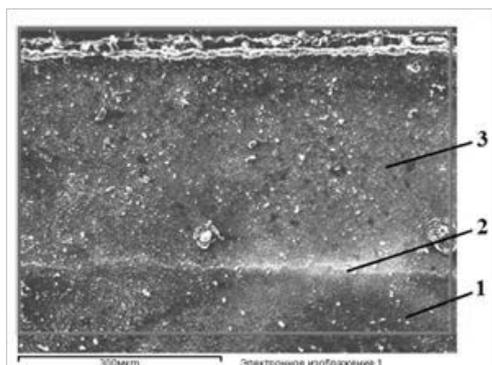


Рис. 3. Электронная фотография образца после ионного азотирования с ионной имплантацией: 1 – основной материал; 2 – граница; 3 – азотированный слой

При активации поверхности деталей в качестве имплантируемых ионов можно использовать два вида ионов. К первому относятся ионы, образованные из химических элементов. Они используются в процессе дальнейшего насыщения поверхностного слоя при ХТО. Ко второй группе относятся химические элементы, обеспечивающие получение при ХТО химических соединений с насыщаемыми при ХТО элементами, которые позволяют повысить эксплуатационные свойства материала детали.

В данном случае при высокоэнергетической подготовке поверхности деталей, в качестве имплантируемых ионов использовались ионы азота.

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Триботехнические испытания проводились на автоматизированной машине трения (High-Temperature Tribometer, CSM Instruments, Швейцария) по схеме испытания «шарик-диск» (рис. 4).

После испытания производилась оценка износа образца (4) и контртела (рис. 5).

При испытании контртело фиксировалось в специальном держателе (2), изготовленном из нержавеющей стали. Измерение силы трения проводилось с помощью датчика силы трения. Датчик силы трения (6) связан с держателем (2), к которому прикладывалась нагрузка (3).

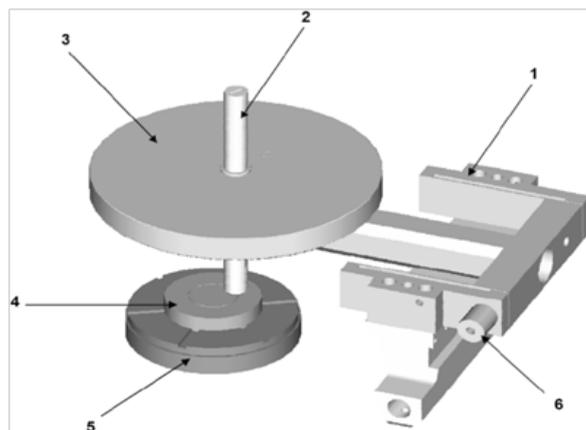


Рис. 4. Схема испытаний: 1 – упругая рама; 2 – держатель контртела (шарика); 3 – нагрузка; 4 – образец; 5 – держатель диска; 6 – датчик смещения для измерения тангенциальной силы

Канавки износа испытаний неупрочненных образцов представлены на рис. 5.

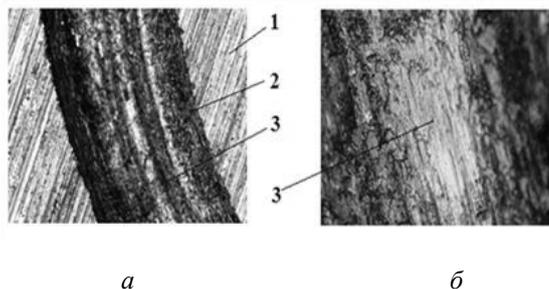


Рис. 5. Характер износа неупрочненных образцов: а – канавка (увеличение $\times 5$); б – дно канавки (увеличение $\times 20$): 1 – поверхность образца; 2 – канавка износа; 3 – дно канавки износа

Поверхность износа исходного образца характеризуется наличием участков адгезионного взаимодействия с контртелом (рис. 5).

На рис. 6 показана картина износа упрочненных образцов без высокоэнергетической активации и при предварительной подготовке поверхности образца ионной имплантацией. Как видно из рис. 6, б, на поверхности износа в этом случае проявляется эффект адгезионного экранирования.

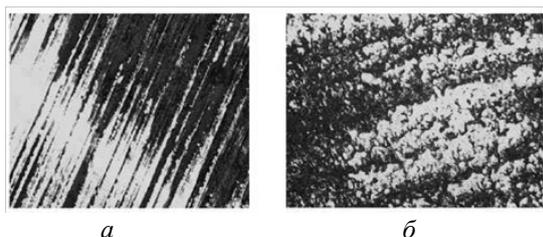


Рис. 6. Картина износа упрочненных образцов (увеличение $\times 20$): *a* – ионное азотирование; *б* – ионная имплантация и ионное азотирование

Сравнение характера износа упрочненных образцов, обработанных без высокоэнергетической активации (рис. 6, *a*) и при подготовке поверхности ионной имплантацией, указывает на более высокую износостойкость азотированной поверхности с использованием процесса ионной имплантации (рис. 6, *б*).

В дальнейшем это подтверждается результатами триботехнических испытаний образцов из стали 30ХГСА, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты триботехнических испытаний образцов после различных способов ХТО

№ партии образцов	Результаты триботехнических испытаний образцов		
	Вид ХТО	Потеря массы, $\Delta m \cdot 10^4$ г	Коэффициент трения (без смазки)
0	Исходный материал (ИМ)	210	0,18-0,17
1	Газовое азотирование (ГА)	20	0,17-0,16
2	Ионное азотирование (ИА)	12	0,16-0,15
3	Ионная имплантация + газовое азотирование (ИА+ГА)	10	0,16
4	Ионная имплантация + ионное азотирование (ИИ+ИА)	3	0,16-0,15

Таким образом, использование высокоэнергетической активации поверхности детали позволяет в значительной степени сни-

зить вероятность появления дефектов ХТО и обеспечить однородность физико-механических свойств в материале поверхностного слоя детали. Использование предложенной технологии азотирования деталей из стали 30ХГСА с использованием ионно-имплантационной обработки позволяет повысить износостойкость деталей машин не менее чем в 2,5–3 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Разработанная технология *отличается* созданием условий протекания процессов ХТО деталей, позволяющих формировать в них однородный по структуре и составу азотированный слой.

Дальнейшие исследования предполагается продолжить в направлении исследования износостойкости, твердости и микроструктуры образуемого азотированного слоя при различных способах азотирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Райцес В. Б. Технология химико-термической обработки на машиностроительных заводах. М.: Машиностроение, 1965. 300 с. [V. B. Raices, *The technology of thermochemical treatment for engineering plants*, (in Russian). Moscow: Mashinostroenie, 1965.]
2. Лактин Ю. М., Коган Я. Д., Шпис Г. И. Теория и технология азотирования. М.: Metallurgiya, 1991. 320 с. [Yu. M. Lakhtin, Ya. D. Kogan, G. I. Spies, *Theory and technology of nitriding*, (in Russian). Moscow: Metallurgiya, 1991.]
3. Криони Н. К., Мингажева А. А., Кононова А. Ю. Повышение износостойкости стальных деталей азотированием с высокоэнергетической активацией поверхности // VI Международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (Москва, 10–13 ноября 2015). Москва: ИМЕТ РАН, 2015. С. 496–497. [N. K. Krioni, A. A. Mingazheva, A. Yu. Kononova, "Increasing the durability of steel parts with high-nitriding surface activation", (in Russian), in *Deformaciya i razrushenie materialov i nanomaterialov*. Moscow: IMET RAN, pp. 496-497, 2015.]
4. Криони Н. К., Мингажева А. А., Кононова А. Ю. Азотирование деталей из легированных сталей при высокоэнергетической обработке поверхности // ПромИнжиниринг: труды международной научно-технической конференции. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. С. 122–126. [N. K. Krioni, A. A. Mingazheva, A. Yu. Kononova, "Nitriding of parts made of alloyed steels when high-energy surface treatment", (in Russian), in *Prom-Inzhiniring*. Chelyabinsk: South Ural State University Publishing Center, pp. 122-126, 2015.]

5. **Ионная** химико-термическая обработка сплавов: монография / Б. Н. Арзамасов и др. М.: МГТУ им. Баумана, 1999. 400 с. [B. N. Arzamasov, et. al., *Ion thermochemical treatment of alloys: monograph*, (in Russian). Moscow: MGTU im. Baumana, 1998.]

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: Web OLAP conceptual data model design on the basis of situation-oriented database.

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. 11-16, 2019. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: Increased wear resistance of machine parts continues to be one of the most urgent problems of modern machine building. Despite the intensive development of different ways of protective hardening treatment, the technologies based on thermochemical methods are quite popular and widely used to improve the performance characteristics of parts. Nitriding of the surface layer of parts as a way of improving their reliability has a considerable history of development and improvement and continues to develop relying on scientific advances in the field of high energies. However, tightened operating conditions of modern machines and equipment require creating new nitriding technologies that can provide a complex of properties of parts surface layer and therefore specified performance characteristics.

Key words: wear; wear resistance; nitriding; ion implantation; heterogeneity of physical and mechanical properties; coefficient of friction.

About authors:

KRIONI, Nikolay Konstantinovich, Professor, 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).