

INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF PARTS OF SCREW PUMPS AND MOTORS BY NITRIDING WHILE SUPPRESSING THE PROCESS OF NITRIDE MESH FORMATION

N. K. Krioni, A. A. Mingazheva, A. D. Mingazhev

Ufa State Aviation Technical University (UGATU)

mad-20007@yandex.ru

Submitted 2022, February 16

Abstract. The paper considers the technology of nitriding of alloy steel parts, which provides suppression of the formation of a nitride mesh as a result of preliminary preparation of the surface layer by high-energy action. Comparative models of the formation of nitrided layers obtained with traditional and proposed nitriding methods, as well as models of wear under conditions of friction of the surfaces of parts, are proposed. The results of comparative wear tests of nitrided rotors of screw pumps and engines made of alloy steels are presented. It is shown that the absence of a nitride mesh in the nitrided layer increases the wear resistance of the nitrided layer by about 3–4 times.

Keywords: screw pumps; wear; friction; nitriding; nitride mesh; radiation defects; high-energy ion implantation; long-range effect; surface layer.

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ВИНТОВЫХ НАСОСОВ И ДВИГАТЕЛЕЙ АЗОТИРОВАНИЕМ ПРИ ПОДАВЛЕНИИ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ НИТРИДНОЙ СЕТКИ

Н. К. Криони, А. А. Мингажева, А. Д. Мингажев

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

mad-20007@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.02.2022

Аннотация. Рассмотрена технология азотирования деталей из легированных сталей, обеспечивающая подавление процесса образования нитридной сетки в результате предварительной подготовки поверхностного слоя высокоэнергетическим воздействием. Предложены сравнительные модели формирования азотированных слоев, полученных при традиционных и предложенном способах азотирования, а также модели изнашивания в условиях трения поверхностей деталей. Приведены результаты сравнительных испытаний на износ легированных сталей с азотированным слоем, используемых для изготовления роторов винтовых насосов и двигателей. Показано, что отсутствие в азотированном слое нитридной сетки повышает износостойкость азотированного слоя приблизительно в 3–4 раза.

Ключевые слова: винтовые насосы; износ; трение; азотирование; нитридная сетка; радиационные дефекты; высокоэнергетическая ионная имплантация; эффект дальнего действия; поверхностный слой.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения износостойкости деталей машин и оборудования, работающих в условиях трения изнашивания, является одной из важнейших в современном машиностроении [1]. Одна из указанных проблем касается необходимости повышения надежности деталей винтовых насосов и двигателей [2]. Винтовые насосы и двигатели из-за своих уникальных характеристик получили в последние десятилетия широкое распространение в различных областях техники [3, 4].

Винтовые насосы и двигатели относятся к машинам объемного роторного-вращательного типа, рабочими органами которых является винтовая пара, состоящая из винта и обоймы (рис. 1).

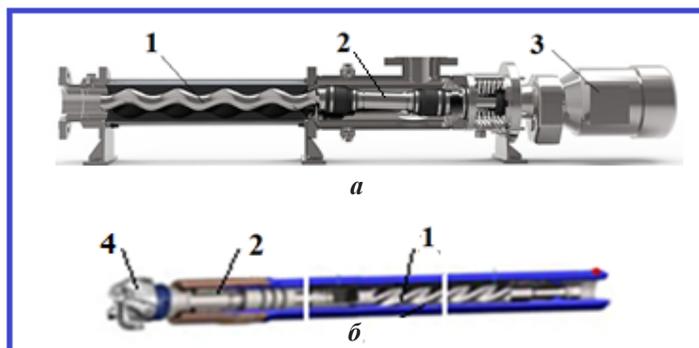


Рис. 1. Внешний вид винтовых насосов и винтовых двигателей: *а* – винтовой насос; *б* – винтовой двигатель; *1* – винтовой ротор; *2* – вал; *3* – электродвигатель насоса; *4* – бурильное долото [3, 4]

Высокий КПД винтовых насосов при простоте их конструкции, возможности перекачки различных сред, в том числе высоковязких сред с повышенным содержанием газа и механических примесей, а также широкий диапазон рабочих характеристик и другие преимущества сделали этот вид насосов наиболее эффективными и, в ряде случаев единственными возможными средствами обеспечивающими возможность перекачки продуктов [3–5]. Винтовые насосы используются, например, при добыче высоковязкой нефти [3]. Винтовые насосы нашли также применение в нефтяной, нефтеперерабатывающей, горнодобывающей и других отраслях промышленности, а также используются в машинах и агрегатах различного назначения, в частности, в судовых двигателях [3].

Винтовые забойные двигатели используются при бурении скважин. В нашей стране количество винтовых забойных двигателей, используемых в нефтедобыче, составляет около 70 % от всего объема бурения.

В то же время, одной из уязвимых мест винтовых насосов является основной его элемент – винтовой ротор, который работает в жестких условиях трения скольжения и подвергается интенсивному износу. На фотографиях (рис. 2) показаны поверхности винтового ротора двигателя в исходном состоянии и после его эксплуатации.

Необходимость обеспечения высокой износостойкости рабочей поверхности ротора, особенно для длиномерных винтовых валов, имеющих высокую стоимость, привела к разработке ряда технологий упрочнения поверхности и нанесения защитных покрытий. Широкое распространение получил метод хромирования поверхностей ротора. Например, в работе [7] поверхность винтового ротора из легированных сталей (20X13, 12X13, 40X, 40XH) покрывали методом твёрдосплавного хромирования толщиной слоя покрытия от 0,15 до 0,25 мм. Практика эксплуатации показала, что хромовое покрытие не обладает высокой стойкостью к агрессивным средам, а также имеет склонность к скалыванию. Для повышения износостойкости винтовых валов используются газопламенное нанесение покрытия [7], а также нанесение газотермическим методом слоя с последующим его оплавлением токами высокой частоты или лучем лазера [8].

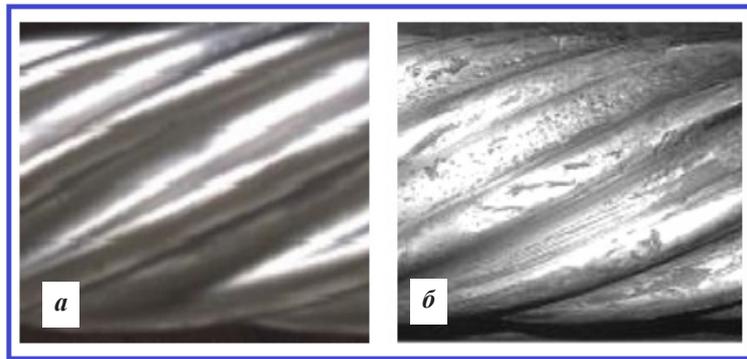


Рис. 2. Внешний вид поверхностей винтовых роторов винтовых:
а – в исходном состоянии; б – после эксплуатации [2, 6]

Последние разработки в области обеспечения износостойкости винтовых роторов показали, что наиболее перспективным методом является азотирование. Широко известны такие способы азотирования, как азотирование в газовой среде, ионно-плазменное азотирование [9] и азотирование в импульс-плазме [10].

В то же время, одной из основных проблем, возникающих при азотировании деталей из легированных сталей, является образование нитридной сетки, которая приводит к формированию дефектного слоя, снижающего износостойкость и некоторые другие эксплуатационные характеристики детали, связанные с наличием азотированного слоя [11].

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ АЗОТИРОВАННЫХ СЛОЕВ

Согласно современным представлениям о процессах формирования и изнашивания азотированного слоя деталей из легированных сталей [1, 9], можно представить их в виде следующих схематических моделей (рис. 3).

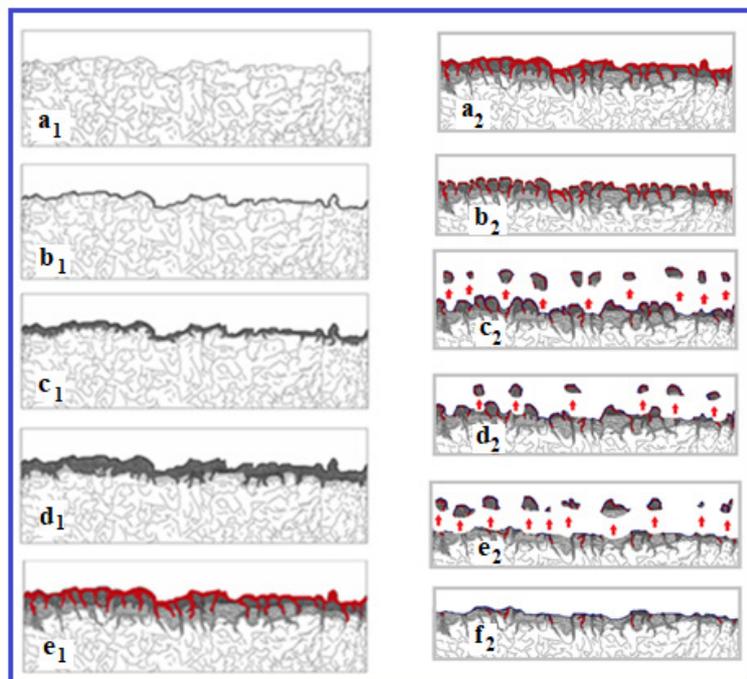


Рис. 3. Модели процессов формирования и изнашивания азотированного слоя на деталях из легированных сталей, полученного при азотировании традиционным способом:
a₁, b₁, c₁, d₁, e₁ – процесс формирования азотированного слоя; a₂, b₂, c₂, d₂, e₂, f₂ – процесс изнашивания азотированного слоя

При традиционных способах азотирования, как при газовом, так и при ионно-плазменном, неоднородность насыщения поверхностного слоя (ПС) азотом связана с разницей в интенсивности насыщения в зернах и по границам зерен.

Это можно представить в виде следующего выражения (1):

$$D_{Mz} > D_z, \quad (1)$$

где D_{Mz} – интенсивность диффузии азота на границах зерен; D_z – интенсивность диффузии азота внутри зерен.

В связи с тем, что интенсивность диффузии определяется наличием и плотностью дефектов структуры (вакансий и т.д.), то более сильное насыщение происходит по границам зерен. Для обеспечения требуемого насыщения ПС материала, приходится перенасыщать азотом границы зерен, что приводит к их охрупчиванию и образованию нитридной сетки (разупрочнению, особенно при действии ударных нагрузок, которых не избежать, практически при всех видах трения пар).

Наличие нитридной сетки приводит к тому, что в процессе трения изнашивания перенасыщенные азотом хрупкие границы зерен в ПС материала разрушаются и происходит выкрашивание зерен и их фрагментов (рис. 3, $a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, f_2$).

Очевидно, что для снижения эффекта образования нитридной сетки или ее устранения необходимо обеспечить условия равновеликой интенсивности диффузионных процессов как в зернах металла, так и на их границах, т.е. выполнить условие (2)

$$D_{Mz} = D_z. \quad (2)$$

Известно, что азотированный слой образуется за счет диффузии атомов азота в ПС основного материала детали и формирования в нем нитридных фаз, а интенсивность диффузии азота определяется градиентом его химического потенциала и его диффузионной подвижностью [9]. Интенсивность диффузионных процессов в металлах и сплавах определяется также наличием и плотностью дефектов кристаллической структуры [12, 13].

Количество дефектов кристаллической структуры металла можно увеличить, используя различные методы поверхностной пластической деформации, повышающие плотность вакансий, что приводит к интенсификации процессов азотирования [14].

В настоящее время накоплен достаточно большой экспериментальный материал, свидетельствующий о возможности использования метода ионной имплантации для повышения износостойкости изделий различного назначения [15]. Так, например, в процессе азотирования интенсивность насыщения материала ПС детали азотом значительно возрастает при использовании ионного азотирования или, другими словами, при использовании низкоэнергетической имплантации (при энергии ионов порядка 1–3 кэВ), в связи с протеканием процессов радиационно-стимулированной диффузии азота [15, 16].

В то же время известно, что при использовании ионно-имплантационной обработки ПС ионами энергией порядка 20–40 кэВ происходит внедрение ионов на глубину около 2–3 мкм, но при этом за счет эффекта дальнего действия образуется зона с радиационно-стимулированными дефектами кристаллической структуры толщиной, приблизительно на два порядка большей глубины внедрения самих ионов [17]. Однако, использование одного только процесса высокоэнергетической ионной имплантации атомов не приводит к образованию достаточно толстого упрочненного слоя, обеспечивающего износостойкость деталей машин [17].

Вышеизложенные соображения привели к созданию авторами новой технологии азотирования [18], заключающейся в комбинированной обработке, включающей предварительную активацию материала ПС высокоэнергетической имплантацией ионов азота (20–40 кэВ) с целью создания за счет эффекта дальнего действия зоны с радиационно-стимулированными дефектами кристаллической структуры в материале ПС с последующим азотированием указанной зоны ионным азотированием.

При активации ПС материала высокоэнергетической ионной имплантацией, создаются условия (за счет образования радиационных дефектов кристаллической решетки) для обеспечения одинаковой интенсивности диффузии как по границам зерен, так и в самих зернах. В этом случае перенасыщения азотом границ зерен не происходит и обеспечивается однородно азотированный ПС материала детали (рис. 4 и 5).

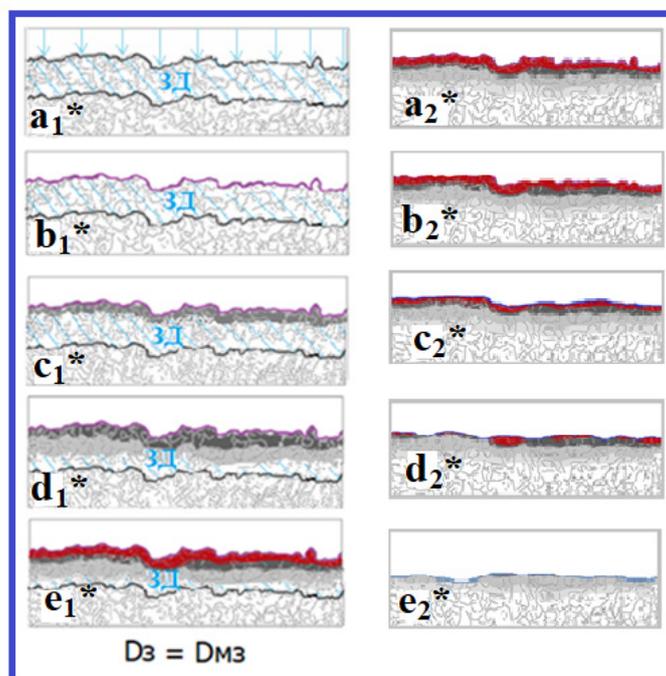


Рис. 4. Модели процессов формирования и изнашивания азотированного слоя на деталях из легированных сталей, полученного при азотировании предложенным способом: $a_1^*, b_1^*, c_1^*, d_1^*, e_1^*$ – процесс формирования азотированного слоя; $a_2^*, b_2^*, c_2^*, d_2^*, e_2^*$ – процесс изнашивания азотированного слоя

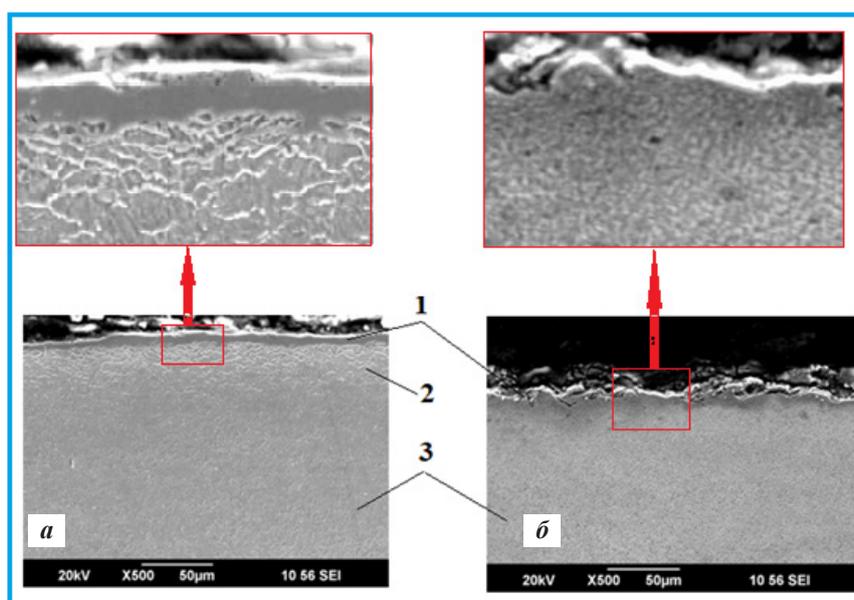


Рис. 5. Микрофотографии азотированных слоев легированной стали: a – при традиционном азотировании; b – при азотировании, с предварительной активацией высокоэнергетической ионной имплантацией; 1 – поверхность образца; 2 – область образования нитридной сетки; 3 – азотированный слой

При изнашивании азотированного слоя, сформированного с использованием предварительной высокоэнергетической ионной имплантации, происходит однородное насыщение азотом зерен и границ зерен, нитридная сетка не образуется. Сформированный таким образом азотированный слой обеспечивает процесс его однородного изнашивания (рис. 4, a_2^* , b_2^* , c_2^* , d_2^* , e_2^*).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Образцы из стали 20X13, 40X и 40XH подверглись следующим видам упрочняющей обработки: высокоэнергетическая ионная имплантация азотом (ВЭИИА), газовое азотирование (ГА), ионное азотирование (ИА), высокоэнергетическая ионная имплантация азотом с последующим газовым азотированием (ВЭИИА + ГА), высокоэнергетическая ионная имплантация азотом с последующим ионным азотированием (ВЭИИА + ИА). В каждом варианте упрочняющей обработки упрочняющей бралось по три образца.

Сравнительные испытания на износостойкость образцов были проведены на машине трения (High-Temperature Tribometer, CSM Instruments, Швейцария). Методика исследований строилась по схеме шарик-диск в соответствии с международным стандартом ASTM G99-959 и DIN50324. После испытания производилась оценка величины износа образца. В качестве контртела использовались шарик диаметром 3 мм из стали ШХ15.

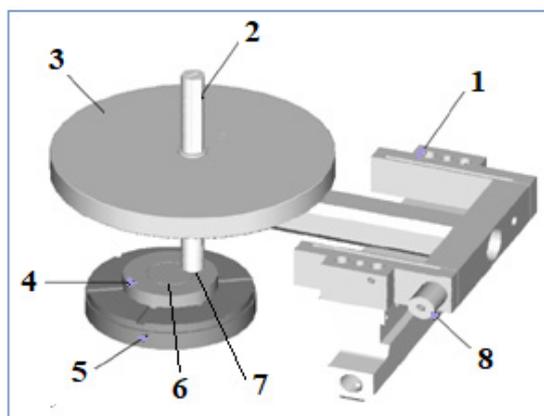


Рис. 6. Схема испытаний на износ:

1 – упругая рама; 2 – держатель контртела (шарика); 3 – груз; 4 – образец; 5 – держатель образца; 6 – дорожка износа; 7 – шарик; 8 – датчик измерения тангенциальной силы

Износостойкость образцов оценивалась при следующих условиях изнашивания: $T = 2,0$ ч, $F = 10$ Н, $V = 5$ см/с. Результаты испытаний упрочненных образцов, а также образцов с материалами в исходном состоянии (ИС) приведены в табл. 1–3.

Таблица 1. Износостойкость образцов из легированных сталей 20X13 после ХТО

№ партии образцов	Материал	Вид обработки	Потеря массы, $\Delta m \cdot 10^{-4}$ г	Коэффициент трения (без смазки)
0	20X13	ИС	368	0,19–0,18
1		ВЭИИА	154	0,16–0,15
2		ГА	78	0,17–0,16
3		ИА	64	0,16–0,15
4		ВЭИИА + ГА	27	0,16–0,15
5		ВЭИИА + ИА	18	0,15–0,16

Таблица 2. Износостойкость образцов из легированных сталей 40X после ХТО

<i>№ партии образцов</i>	<i>Материал</i>	<i>Вид обработки</i>	<i>Потеря массы, $\Delta m \cdot 10^{-4} \text{ г}$</i>	<i>Коэффициент трения (без смазки)</i>
0	40X	ИС	324	0,20–0,19
1		ВЭИИА	108	0,17–0,16
2		ГА	65	0,18–0,17
3		ИА	53	0,17–0,16
4		ВЭИИА + ГА	21	0,17–0,16
5		ВЭИИА + ИА	14	0,16–0,15

Таблица 3. Износостойкость образцов из легированных сталей 40XH после ХТО

<i>№ партии образцов</i>	<i>Материал</i>	<i>Вид обработки</i>	<i>Потеря массы, $\Delta m \cdot 10^{-4} \text{ г}$</i>	<i>Коэффициент трения (без смазки)</i>
0	40XH	ИС	334	0,20–0,19
1		ВЭИИА	117	0,16–0,15
2		ГА	69	0,17–0,16
3		ИА	58	0,16–0,15
4		ВЭИИА + ГА	23	0,16–0,15
5		ВЭИИА + ИА	16	0,15–0,16

Металлографические исследования образцов показали, что при варианте ХТО «ВЭИИА + ИА» формируется однородный азотированный слой с отсутствием нитридной сетки (рис. 5, а), в то время как при традиционном азотировании по варианту «ИА» в поверхностном слое материала детали нитридная формируется (рис. 5, б). Испытания на износостойкость образцов показали, что по сравнению с традиционными технологиями азотирования, износостойкость азотированного слоя с предварительной высокоэнергетической ионной имплантацией материала ПС для легированных сталей 20X13, 40X, 40XH, используемых для изготовления роторов винтовых насосов и двигателей, повышается в среднем, для газового азотирования от 2,8 до 3,1 раз, для ионного азотирования – от 3,5 до 3,8 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получившие широкое распространение в различных областях техники винтовые насосы и двигатели в процессе эксплуатации подвержены значительному износу, особенно такие ее детали как винтовой ротор. Для повышения износостойкости рабочих поверхностей винтовых роторов используются такие методы, как хромирование, нанесение газотермических и лазерных покрытий, ионное азотирование. Ионное азотирование является одним из наиболее перспективных методов обеспечения высокой износостойкости рабочих поверхностей деталей, работающих в условиях трения износа, однако, формирование нитридной сетки в значительной степени снижает потенциал износостойкости азотированного слоя. Предложенный авторами способ азотирования при предварительной высокоэнергетической активации материала ПС детали позволил, за счет создания области с повышенной концентрацией дефектов кристаллической структуры создать условия для равномерного протекания диффузионных процессов в зернах металла и по границам зерен. Это позволило подавить процесс образования нитридной сетки в легированных сталях 20X13, 40X, 40XH и привело к формированию в их ПС более однородного азотированного слоя, что позволило повысить износостойкость последнего по сравнению с традиционными способами ионного азотирования от 3,5 до 3,8 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 526 с. [I. V. Kragelsky, M. N. Dobychin, V. S. Kombatov, *Friction and Wear: Calculation Methods*, (in Russian). Moscow: Mashinostroyeniye, 1977.]
2. Анализ результатов исследований износостойкости ротора винтового забойного двигателя / М. В. Двойников [и др.] // Нефть и газ. 2014. № 5. С. 86–88. [M. V. Dvoynikov, et al., "Analysis of the results of studies of the wear resistance of the rotor of a screw downhole engine", (in Russian), in *Neft` i gaz*, no. 5. pp. 86-88, 2014.]
3. Уразаков К. Р., Топольников А. С., Абрамова Э. В. Область эффективного применения винтовых насосов для добычи нефти // Территория нефтегаз. 2011. № 2. С. 16–21. [K. R. Urazakov, A. S. Topolnikov, E. V. Abramova, "The field of effective application of screw pumps for oil production", (in Russian), in *Territoriya neftegaz*, no. 2, pp. 16-21, 2011.]
4. Заливин В. Г., Суренков А. А. Современное состояние и перспективы развития отечественных винтовых забойных двигателей // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. 2014. № 2 (45). С. 52–63. [V. G. Zalivin, A. A. Surenkov, "The current state and prospects of development of domestic screw downhole engines", (in Russian), in *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sekcii nauk o Zemle RAEN*, no. 2 (45), pp. 52-63, 2014.]
5. Двойников М. В. Бурение нефтяных и газовых скважин модернизированными винтовыми забойными двигателями (научное обобщение, результаты исследований и внедрения): дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.15. Тюмень, 2011. 371 с. [M. V. Dvoynikov, *Drilling of oil and gas wells with modernized screw downhole engines (scientific generalization, results of research and implementation)*: Dr. Tech. Sci. diss., (in Russian). Tyumen, 2011.]
6. Ошибков А. В., Двойников М. В., Фролов С. А. Возможности продления срока службы поверхностного слоя роторов винтовых забойных двигателей // Нефть и газ. 2016. № 2. С. 72–78. [A. V. Oshibkov, M. V. Dvoynikov, S. A. Frolov, "The possibility of extending the service life of the surface layer of the rotors of screw downhole motors", (in Russian), in *Neft` i gaz*, no. 2, pp. 72-78, 2016.]
7. Упрочнение поверхностного слоя роторов винтовых забойных двигателей газотермическими покрытиями / И. М. Ковенский [и др.] // Известия вузов. Нефть и газ. 2014. № 5. С. 89–91. [I. M. Kovensky, et al., "Hardening of the surface layer of rotors of screw downhole engines with gas-thermal coatings", (in Russian), in *Izvestiya vuzov. Neft` i gaz*, no. 5, pp. 89-91, 2014.]
8. Исследование способов нанесения защитных покрытий на ротор винтового забойного двигателя / Д. Д. Водорезов [и др.] // Нефть и газ. 2016. № 5. С. 47–51. [D. D. Vodorezov, et al., "Investigation of methods of applying protective coatings to the rotor of a screw downhole engine", (in Russian), in *Neft` i gaz*, no. 5, pp. 47-51, 2016.]
9. Лактин Ю. М., Арзамасов Б. М. Химико-термическая обработка. М.: Metallurgiya, 1985. 265 с. [Yu. M. Lakhtin, B. M. Arzamasov, *Chemical Heat Treatment*, (in Russian). Moscow: Metallurgiya, 1985.]
10. Песин М. В. Технологическое обеспечение точности формы высоконагруженной контактной поверхности деталей нефтепромыслового и бурового оборудования // Экспозиция. Нефть. Газ. 2011. № 2. С. 29–30. [M. V. Pesin, "Technological support of the accuracy of the shape of the highly loaded contact surface of oilfield and drilling equipment parts", (in Russian), in *Ekspozitsiya. Neft`. Gaz*, no.2, pp. 29-30, 2011.]
11. Иваненко А. О., Тулькова И. А., Уваров М. М. Технологические особенности азотирования резьбовых поверхностей ответственных деталей электромеханического привода // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 4. С. 360–367. [A. O. Ivanenko, I. A. Tyulkova, M. M. Uvarov, "Technological features of nitriding of threaded surfaces of critical parts of an electromechanical drive", (in Russian), in *Izv. vuzov. Priborostroyeniye*, vol. 61, no. 4, pp. 360-367, 2018.]
12. Бокштейн С. З. Диффузия и структура металлов. М.: Metallurgiya, 1973. 208 с. [S. Z. Bokshtein, *Diffusion and structure of metals*, (in Russian). Moscow: Metallurgy, 1973.]
13. Гегузин Я. Е. Диффузионная зона. М.: Наука, 1979. 343 с. [Ya. E. Geguzin, *Diffusion zone*, (in Russian). Moscow: Nauka, 1979.]
14. Тиняев В. Г., Назаренко В. Д., Лактик А. М. Особенности формирования диффузионных слоев на сплавах железа после предварительной пластической деформации // Металлофизика и новейшие технологии. 1996. Т. 18, № 2. С. 45–51. [V. G. Tinyaev, V. D. Nazarenko, A. M. Lakhnik, "Features of the formation of diffusion layers on iron alloys after preliminary plastic deformation", (in Russian), in *Metallofizika i noveishie tehnologii*, vol. 18, no. 2, pp. 45-51, 1996.]
15. Сдвиговая пластическая деформация и износостойкость ионно-модифицированных материалов с твердыми слоями / А. В. Белый [и др.] // Физическая мезомеханика. 2002. Т. 5, № 1. С. 51–55. [A. V. Bely, et al., "Shear Plastic Deformation and Wear Resistance of Ion-Modified Materials with Solid Layers", (in Russian), in *Fizicheskaya mezomehanika*, vol. 5, no. 1, pp. 51-55, 2002.]
16. Клименов В. А., Ковалевская Ж. Г., Первалова О. Б. Влияние ультразвуковой обработки поверхности стали 40X13 на микроструктуру азотированного слоя, сформированного при высокоинтенсивной низкоэнергетической имплантации ионами азота // Физика металлов и металловедение. 2006. Т. 102, № 6. С. 621–629. [V. A. Klimenov, Zh. G. Kovalevskaya, O. B. Perevalova, "Influence of ultrasonic surface treatment of steel 40X13 on the microstructure of the nitrided layer formed during high-intensity low-energy implantation with nitrogen ions", (in Russian), in *Fizika metallov i metallovedeniye*, vol. 102, no. 6, pp. 621-629, 2006.]
17. Риссел Х. Ионная имплантация. М.: Наука, 1983. 358 с. [H. Rissel, *Ion implantation*, (in Russian). Moscow: Nauka, 1983.]
18. Способ химико-термической обработки детали из легированной стали / Н. К. Криони [и др.] // Патент РФ № 2559606. Оpubл. 10.08.2015. Бюл. № 22. [N. K. Krioni, et al., "Method for Chemical Thermal Treatment of Alloy Steel Parts", (in Russian), Patent 2559606, 2015.]

ОБ АВТОРАХ

КРИОНИ Николай Константинович, проф. каф. технол. машиностроения. Дипл. инж.-мех. по технол. машиностроения (УАИ, 1976). 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.

МИНГАЖЕВА Алиса Аскарровна, асс. каф. «Технология машиностроения» (УГАТУ). Дипл. инж.-технолог (УГАТУ, 2010). Готовит дис. о повышении износостойкости трибосистем из легированных сталей азотированием при активации поверхностного слоя на основе учета закономерностей изнашивания.

МИНГАЖЕВ Аскар Джамилевич, доц. каф. «Технология машиностроения» (УГАТУ). Дипл. инж.-механик (УНИ, 1977). Канд. техн. наук по жаростойким покрытиям (УАИ, 1987). Иссл. в обл. технологического обеспечения эксплуатационных характеристик деталей ГТД и ГТУ.

KRIONI, Nikolay Konstantinovich, Prof., Dipl. Mechanical engineer in mechanical engineering (AIM, 1971). Dr. of Tech. Sci. on friction and wear in machines (RGUNiG them. Academician I. M. Gubkin, 2005).

MINGAZHEVA, Alisa Askarovna, Assist., Dept. of Mechanical Engineering Technology (USATU). Certified Tech. Engineer (USATU, 2010). Preparing a dissertation on Increasing Wear Resistance of Tribosystems Made of Alloyed Steels by Nitriding when Activating the Surface Layer based on Wear Patterns.

MINGAZHEV, Askar Dzhamilevich, Assoc. Prof. of the Dept. of "Technology of Mechanical Engineering" (USATU). Dipl. of Mechanical Engineer (UNI, 1977). Cand. of Tech. Sci. on heat-resistant coatings (UAI, 1987). Researches in the field of technological support of the operational characteristics of the parts of the GTE and GTU.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 26, no. 1 (95), pp. 13-21, 2022. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).