

УДК 621.785.532

Износостойкость конструкционных сталей 40Х и 40ХН с азотированным слоем при модифицирующей обработке

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

Уфимский университет науки и технологий (УУНиТ),
ул. Карла Маркса, 12, г. Уфа 450008, Россия

Поступила в редакцию 15.05.2025.

В статье рассмотрены результаты исследований износостойкости конструкционных сталей, применяемых для производства валов роторных насосов объёмного действия. Особенностью насосов данного вида является чрезвычайно малые зазоры между его рабочими органами, составляющие около 10—25 мкм и зависящие от величины износа валов в местах сопряжения с подшипниками скольжения. Азотирование в тлеющем разряде является наиболее эффективным методом обеспечения высокой износостойкости деталей. Показано, что одним из негативных явлений при изнашивании азотированного слоя является образование в результате выпрашивания абразивных частиц, которые способствуют шаржированию поверхности втулки и, как следствие, интенсифицируют процесс изнашивания.

Цель работы — исследование износостойкости стали, азотированной в тлеющем разряде с использованием предварительной обработки методами поверхностной пластической деформации, имплантации ионами средних энергий, магнитно-импульсной обработки, а также комбинированными методами активации.

Применили следующие режимы активации поверхностного слоя перед ионным азотированием: дробеструйная обработка стальными микрошариками диаметром 50—100 мкм при скорости 30—70 м/с; имплантируемые ионы — азот; доза — $1,3 \cdot 10^{17}$ ион/см²; скорость набора дозы облучения — $1 \cdot 10^{15}$ ион/с; энергия ионной имплантации: 25 кэВ. Магнитно-импульсная обработка (МИО) при мощности импульса от 2 кДж до 8 кДж, его длительности от 5 мкс до 40 мкс и количестве импульсов от 2 МИО до 5 МИО.

Показано, что наиболее эффективным методом предварительной, перед процессом активации материала поверхностного слоя стали является среднеэнергетическая ионная имплантация, позволяющая повысить износостойкость азотированного слоя стали 40Х в 5,7 раз, а стали 40ХН в 4,5 раз, по сравнению с обычным ионным азотированием.

Ключевые слова: роторный насос, конструкционная сталь, изнашивание, поверхностный слой, поверхностное пластическое деформирование, магнитно-импульсная обработка, азотирование в тлеющем разряде, имплантация ионами.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-375-382

Адрес для переписки:

Н.К. Криони
Уфимский университет науки и технологий (УУНиТ),
ул. Карла Маркса 12, г. Уфа 450008, Россия
e-mail: nkrioni@mail.ru

Для цитирования:

Н.К. Криони, А.А. Мингажева, А.Дж. Мингажев.
Износостойкость конструкционных сталей 40Х и 40ХН с
азотированным слоем при модифицирующей обработке.
Трение и износ.
2025. — Т. 46, № 4. — С. 375—382.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-375-382

Address for correspondence:

N.K. Krioni
Ufa University of Science and Technology (UUS and T),
Karl Marx st., 12, Ufa 450008, Russia
e-mail: nkrioni@mail.ru

For citation:

N.K. Krioni, A.A. Mingazheva, and A.Dzh. Mingazhev.
[Wear Resistance of 40Cr and 40 CrNi Structural Steels with a Nitrided Layer During Modifying Treatment].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 4, pp. 375—382 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-375-382

Wear Resistance of 40Cr and 40 CrNi Structural Steels with a Nitrided Layer During Modifying Treatment

N.K. Krioni, A.A. Mingazheva, and A.Dzh. Mingazhev

Ufa University of Science and Technology (UUS and T),
Karl Marx st., 12, Ufa 450008, Russia

Received 15.05.2025.

Abstract

The article discusses the results of studies of the wear resistance of structural steels used for the production of shafts of volumetric rotary pumps. A special feature of this type of pump is the extremely small gaps between its working bodies, which are about 10—25 microns and depend on the amount of shaft wear at the junctions with the sliding bearings. Nitriding in glow discharge is the most effective method of ensuring high wear resistance of parts. It is shown that one of the negative phenomena during the wear of the nitrided layer is the formation of abrasive particles as a result of discoloration, which contribute to the caricature of the sleeve surface and, as a result, intensify the wear process. The purpose of the work is to study the wear resistance of steel nitrided in a glow discharge using pretreatment methods of surface plastic deformation, implantation with medium-energy ions, magnetic pulse treatment, as well as combined activation methods. The following activation modes of the surface layer were used before ion nitriding: shot blasting with steel microbeads with a diameter of 50—100 microns at a speed of 30—70 m/s; implantable ions — nitrogen; dose — $1.3 \cdot 10^{17}$ ion/cm²; rate of radiation dose — $1 \cdot 10^{15}$ ion/s; ion implantation energy: 25 keV. Magnetic pulse processing (MPP) with a pulse power from 2 kJ to 8 kJ, its duration from 5 microseconds to 40 microseconds and the number of pulses from 2 MPT to 5 MPT. It is shown that the most effective method of preliminary, before the process of activation of the material of the surface layer of steel is medium-energy ion implantation, which allows to increase the wear resistance of the nitrided layer of 40Cr steel by 5.7 times, and 40 CrNi steel by 4.5 times, compared with conventional ion nitriding.

Keywords: rotary pump, structural steel, wear, surface layer, surface plastic deformation, magnetic pulse treatment, nitriding in glow discharge, ion implantation.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-375-382

Адрес для переписки:

Н.К. Криони
Уфимский университет науки и технологий (УУНиТ),
ул. Карла Маркса 12, г. Уфа 450008, Россия
e-mail: nkrioni@mail.ru

Для цитирования:

Н.К. Криони, А.А. Мингажева, А.Дж. Мингажев.
Износостойкость конструкционных сталей 40Х и 40ХН с
азотированным слоем при модифицирующей обработке.
Трение и износ.
2025. — Т. 46, № 4. — С. 375—382.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-375-382

Address for correspondence:

N.K. Krioni
Ufa University of Science and Technology (UUS and T),
Karl Marx st., 12, Ufa 450008, Russia
e-mail: nkrioni@mail.ru

For citation:

N.K. Krioni, A.A. Mingazheva, and A.Dzh. Mingazhev.
[Wear Resistance of 40Cr and 40 CrNi Structural Steels with a Nitrided
Layer During Modifying Treatment].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 4, pp. 375—382 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-4-375-382

Список использованных источников

1. **Зайцев А.А.** Развитие технологий роторного двигателестроения в интересах повышения эксплуатационных характеристик транспортных средств // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. — 2025, № 1, 55—69. EDN: GAKJVE
2. **Григорьев А.В., Нестеренко Г.А., Корнеев С.А., Овчаренко С.М.** Анализ влияния конструктивных и режимных параметров на работу прямозубого роторного насоса // Омский научный вестник. — 2012, № 1(107), 86—88. EDN: QBVELV
3. **Тененбаум М.М.** Сопротивление абразивному изнашиванию. — М.: Машиностроение. — 1976
4. **Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Гаврилюк В.С.** Триботехника: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки «Автоматизированные технологии и производства», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». — 2-е издание, стереотипное. — Москва: Компания КноРус. — 2017. ISBN: 978-5-406-05748-3. EDN: XXFRLP
5. **Горячева И.Г.** Моделирование влияния свойств промежуточной среды на контактные характеристики и изнашивание деформируемых тел в условиях трения качения // Труды XV Международной научно-технической конференции «Трибология — машиностроению», Москва, 12–13 ноября 2024 года. — Москва: Институт машиностроения им. А.А. Благонравова РАН. — 2024, 61—63. EDN: KBOEGD
6. **Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.М.** Химико-термическая обработка. — М.: Металлургия. — 1985
7. **Герасимов С.А., Куксенова Л.И., Алексеева М.С., Бахирев М.А.** Азотирование конструкционных сталей триботехнического назначения и комплексная оценка качества обработки // Металловедение и термическая обработка металлов. — 2020, № 2(776), 18—25. EDN: WAXMVC
8. **Вафин Р.К., Асылбаев А.В., Мамонтов Д.В. [и др.]** Влияние поверхностной пластической деформации инструментальной стали на ионно-плазменное азотирование в тлеющем разряде // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2024 (20), № 3(231), 134—139. DOI: 10.36652/1813-1336-2024-20-3-134-139. EDN: VFIHNT
9. **Сарафанов Г.Ф.** Зарождение микротрещин при пластической деформации // Вестник ТГУ. — 2013 (18), № 4, 1583—1584
10. **Криони Н.К., Рамазанов К.Н., Мингажева А.А., Мингажев А.Д.** Влияние ионно-имплантационной активации поверхности конструкционных сталей 40Х и 40ХН на структуру и свойства азотированного слоя // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2025 (21), № 3(243), 120—123
11. **Алифанов А.В. [и др.]** Исследование влияния режимов магнитно-импульсной обработки на температуру и структурные преобразования в поверхностных слоях образцов из быстрорежущей стали // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. — 2021, № 3, 11—14
12. **Воробьев Р.А., Дубинский В.Н.** Исследование распада мартенсита в стали 65Г при импульсно-магнитной обработке // ФММ. — 2010 (109), № 3, 284—287
13. **Способ азотирования детали из легированной стали:** патент РФ № 2795620. — 2023 / Н.К. Криони, А.Д. Мингажев, А.А. Мингажева и др

References

1. Zaitsev A.A. Development of rotary engine technology in the interests of improving the performance characteristics of vehicles // Machines and installations: design, development and operation. — 2025, no. 1, 55—69. EDN: GAKJVE (in Russian)
2. Grigoriev A.V., Nesterenko G.A., Korneev S.A., Ovcharenko S.M. Analysis of the influence of design and operating parameters on the operation of a straight-tooth rotary pump / Omsk Scientific Bulletin. — 2012, no. 1 (107), 86—88. EDN QBVELV (in Russian)
3. Tenenbaum M.M. Resistance to abrasive wear. Moscow: Mashinostroenie. — 1976 (in Russian)
4. Garkunov D.N., Melnikov E.L., Gavriluk V.S. Tribotechnics: A textbook for university students studying in the fields of “Automated technologies and production”, “Design and technological support of machine-building industries” / 2nd edition, stereotypical. — Moscow: KnoRus Company. — 2017. ISBN: 978-5-406-05748-3. EDN: XXFRLP (in Russian)
5. Goryacheva I.G. Modeling the influence of the properties of an intermediate medium on the contact characteristics and wear of deformable bodies under rolling friction // Proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference “Tribology to Mechanical Engineering”, Moscow, November 12—13, 2024. — Moscow: Blagonravov Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences. — 2024, 61—63. EDN: KBOEGD (in Russian)
6. Lakhtin Yu.M., Arzamasov B.M. Chemical Heat Treatment. — Moscow: Metallurgiya. — 1985 (in Russian)
7. Gerasimov S.A., Kuksenova L.I., Alekseeva M.S., Bakhirev M.A. Nitriding of tribotechnical structural steels and a comprehensive assessment of the quality of processing // Metallography and heat treatment of metals. — 2020, № 2(776), 18—25. EDN: WAXMVC (in Russian)
8. Vafin R.K., Asylbaev A.V., Mamontov D.V. [et al.] The influence of surface plastic deformation of tool steel on ion-plasma nitriding in a glow

- discharge // Hardening technologies and coatings. — 2024 (20), no. 3(231), 134—139. DOI: 10.36652/1813-1336-2024-20-3-134-139. EDN: VFHINT (in Russian)
9. Sarafanov G.F. The origin of microcracks during plastic deformation // Bulletin of TSU. — 2013 (18), no. 4, 1583—1584 (in Russian)
10. Krioni N.K., Ramazanov K.N., Mingazheva A.A., Mingazhev A.D. The influence of ion implantation activation of the surface of 40X and 40KHN structural steels on the structure and properties of the nitrided layer // Hardening technologies and coatings. — 2025 (21), no. 3(243), 120—123 (in Russian)
11. Alifanov A.V. [et al.] Investigation of the influence of magnetic pulse treatment modes on temperature and structural transformations in the surface layers of high-speed steel samples // Vestn. Polotsk State University. Ser. V. Industry. Applied sciences. — 2021, no. 3, 11—14 (in Russian)
12. Vorobyov R.A., Dubinsky V.N. Investigation of the decay of martensite in 65G steel during pulsed magnetic treatment // FMM. — 2010 (109), № 3, 284—287 (in Russian)
13. Method of nitriding alloy steel parts: RF Patent No. 2795620. — 2023 / N.K. Krioni, A.D. Mingazhev, A.A. Mingazheva and others (in Russian)

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11
Full text of articles can be purchased from the editorial office.
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11
E-mail: FWJ@tut.by