

УДК 621.981 + 06

Влияние базовых технологических факторов получения вакуумных ионно-плазменных покрытий TiN на их механические и трибологические характеристики

Д.С. Мантуров¹, И.В. Колесников¹, О.В. Кудряков², В.И. Колесников¹, П.Г. Иваночкин¹, С.А. Данильченко¹

¹Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, г. Ростов-на-Дону 344038, Россия

²Донской государственный технический университет (ДГТУ),
пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону 344000, Россия

Поступила в редакцию 27.04.2023.

После доработки 25.07.2023.

Принята к публикации 10.08.2023.

Покрyтия TiN были нанесены с использованием катодно-дyгового ионного напыления при различных давлениях азота и температурах осаждения. Структура и элементный состав покрытия были проанализированы с помощью сканирующего электронного микроскопа и энергодисперсионного спектрометра, механические свойства и прочность сцепления покрытия измеряли с помощью метода наноиндентирования и скрэтч-тестирования. Степень износа исследовали с помощью трибометра методом испытания «шарик — диск». Анализ полученных результатов осуществлялся методами двухфакторного ортогонального планирования эксперимента с элементами оптимизации. Результаты показали, что структура покрытия имеет колончатую (волоконистую) морфологию, состав близок к стехиометрическому. Момент разрушения покрытия, при определении адгезионной прочности, наступает при нагрузке около 600 мН. На основании полученных уравнений регрессии для оптимизированных величин твёрдости, индекса пластичности и степени износа значения технологических параметров осаждения должны находиться в интервалах $T = 350\text{—}430\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 0,065\text{—}0,075\text{ Па}$.

Ключевые слова: вакуумное ионно-плазменное покрытие, Ti–N покрытие, температура подложки, давления азота, механические свойства, трение, износостойкость, адгезия, морфология поверхности.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-310-321

Адрес для переписки:

В.И. Колесников
Ростовский государственный университет путей сообщения
(РГУПС),
пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,
г. Ростов-на-Дону 344038, Россия
e-mail: kvi@rgups.ru

Для цитирования:

Д.С. Мантуров, И.В. Колесников, О.В. Кудряков, В.И. Колесников,
П.Г. Иваночкин, С.А. Данильченко
Влияние базовых технологических факторов получения
вакуумных ионно-плазменных покрытий TiN на их механические
и трибологические характеристики.
Трение и износ.
2023. – Т. 44, № 4. – С. 310–321.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-310-321

Address for correspondence:

V.I. Kolesnikov
Rostov State Transport University,
Rostovskogo Strelkovogo Narodnogo Opolcheniya Sq., 2,
Rostov-on-Don 344038, Russia
e-mail: kvi@rgups.ru

For citation:

D.S. Manturov, I.V. Kolesnikov, O.V. Kudryakov, V.I. Kolesnikov,
P.G. Ivanochkin, and S.A. Danilchenko
[Influence of the Principal Technological Factors of Producing
Vacuum Ion-Plasma TiN Coatings on Their Mechanical and
Tribological Properties].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 4, pp. 310–321 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-310-321

Influence of the Principal Technological Factors of Producing Vacuum Ion-Plasma TiN Coatings on Their Mechanical and Tribological Properties

D.S. Manturov¹, I.V. Kolesnikov¹, O.V. Kudryakov², V.I. Kolesnikov¹, P.G. Ivanochkin¹, and S.A. Danilchenko¹

¹Rostov State Transport University,
Rostovskogo Strelkovogo Narodnogo Opolcheniya Sq., 2, Rostov-on-Don 344038, Russia

²Don State Technical University,
Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don 344000, Russia

Received 27.04.2023.

Revised 25.07.2023.

Accepted 10.08.2023.

Abstract

The TiN coatings have been deposited using cathode-arc ion sputtering at various nitrogen pressures and deposition temperatures. The structure and elemental composition of the coating were analyzed by a scanning electron microscope and an energy dispersive spectrometer, while its mechanical properties and adhesion strength were measured by nanoindentation and scratch testing. The wear rate was investigated with a tribometer and the ball-disk test method. The experimental data was analyzed using the methods of a two-factor orthogonal experimental design with optimization elements. The findings of this study demonstrate that the morphology of the coating is columnar (fibrous) and its composition is close to stoichiometric. When determining the adhesive strength, we have managed to find out that the moment of coating destruction occurs at a load of about 600 mN. Based on the obtained regression equations for the optimized values of hardness, plasticity index, and wear rate, we have provided evidence that the deposition parameters should have values $T = 350\text{—}430\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $P = 0.065\text{—}0.075\text{ Pa}$.

Keywords: vacuum ion-plasma coating, Ti–N coating, substrate temperature, nitrogen pressure, mechanical properties, friction, wear resistance, adhesion, surface morphology.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-310-321

Адрес для переписки:

В.И. Колесников
Ростовский государственный университет путей сообщения
(РГУПС),
пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,
г. Ростов-на-Дону 344038, Россия
e-mail: kvi@rgups.ru

Для цитирования:

Д.С. Мантуров, И.В. Колесников, О.В. Кудряков, В.И. Колесников,
П.Г. Иваночкин, С.А. Данильченко
Влияние базовых технологических факторов получения
вакуумных ионно-плазменных покрытий TiN на их механические
и трибологические характеристики.
Трение и износ.
2023. – Т. 44, № 4. – С. 310–321.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-310-321

Address for correspondence:

V.I. Kolesnikov
Rostov State Transport University,
Rostovskogo Strelkovogo Narodnogo Opolcheniya Sq., 2,
Rostov-on-Don 344038, Russia
e-mail: kvi@rgups.ru

For citation:

D.S. Manturov, I.V. Kolesnikov, O.V. Kudryakov, V.I. Kolesnikov,
P.G. Ivanochkin, and S.A. Danilchenko
[Influence of the Principal Technological Factors of Producing
Vacuum Ion-Plasma TiN Coatings on Their Mechanical and
Tribological Properties].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 4, pp. 310–321 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-310-321

Список использованных источников

1. **Ghufran M., Uddin G.M., Arafat S.M., Jawad M., and Rehman A.** Development and Tribomechanical Properties of Functional Ternary Nitride Coatings: Applications-Based Comprehensive Review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J // Journal of Engineering Tribology. — 2021 (235), 196—232
2. **Tillmann W. and Momeni S.** Tribological Development of TiCN Coatings by Adjusting the Flowing rate of Reactive Gases // J. Phys. Chem. Solids. — 2016 (90), 45—53
3. **Колесников В.И., Кудряков О.В., Варавка В.Н., Мантуров Д.С., Новиков Е.С.** Влияние адгезионных свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий TiAlN на износостойкость при трении // Трение и износ. — 2021 (42), № 5, 495—507
4. **Prabakaran V. and Chandrasekaran K.** Characterisation and Corrosion Resistance of TiCrN Composite Coating on Steel by Physical Vapour Deposition Method // J. Bio Tribo Corros. — 2016 (2), 25
5. **Dejun K., Donghui Z., and Haoyuan G.** Microstructures and Friction–Wear Performances of Cathodic Arc Ion Plated TiAlN Coatings on YT14 Cemented Carbide Cutting Tools // Journal of Materials Research. — 2017 (32), 1693—1700
6. **Lackner J., Major L., and Kot M.** Microscale Interpretation of Tribological Phenomena in Ti/TiN Soft-Hard Multilayer Coatings on Soft Austenite Steel Substrates // Bull. Pol. Acad. Sci.: Techn. Sci. — 2011 (59), 343—355
7. **Djabella H. and Arnell R.** Finite Element Comparative Study of Elastic Stresses in Single, Double Layer and Multilayered Coated Systems // Thin Solid Films. — 1993 (235), 156—162
8. **Hintermann H.** Adhesion, Friction and Wear of Thin Hard Coatings // Wear. — 1984 (100), 381—397
9. **Broitman E.** Indentation Hardness Measurements at Macro-, Micro-, and Nanoscale: A Critical Overview // Tribology Letters. — 2016 (65), 23
10. **Кунченко В.В., Андреев А.А., Картмазов Г.Н.** Структура и свойства эрозионно-стойких вакуумно-дуговых покрытий на основе нитридов титана // Научные ведомости БелГУ. Серия Физика. — 2001 (2), 21—25
11. **Ильин А.А., Плихунов В.В., Петров Л.М., Спектор В.С.** Вакуумная ионно-плазменная обработка. — М.: ИНФРА-М. — 2014
12. **Шулаев В.М., Горбань В.Ф., Андреев А.А., Столбовой В.А.** Сопоставление характеристик вакуумно-дуговых наноструктурных TiN покрытий, осаждаемых при подаче на подложку высоковольтных импульсов // Физическая инженерия поверхности. — 2007 (5), 94—97
13. **Кохановский В.А., Сергеева М.Х.** Планирова-

ние экспериментальных исследований. — Ростов-н/Д: Издательский центр ДГТУ. — 2014

14. **Anders A.** A Structure Zone Diagram Including Plasma-Based Deposition and Ion Etching // Thin Solid Films. — 2010 (518), 4087-4090
15. **Колесников Ю.В., Морозов Е.М.** Механика контактного разрушения. — М.: ЛКИ. — 2007

References

1. **Ghufran M., Uddin G.M., Arafat S.M., Jawad M., and Rehman A.** Development and Tribomechanical Properties of Functional Ternary Nitride Coatings: Applications-Based Comprehensive Review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J // Journal of Engineering Tribology. — 2021 (235), 196—232
2. **Tillmann W. and Momeni S.** Tribological Development of TiCN Coatings by Adjusting the Flowing Rate of Reactive Gases // J. Phys. Chem. Solids. — 2016 (90), 45—53
3. **Kolesnikov V.I., Kudryakov O.V., Varavka V.N., Manturov D.S., and Novikov E.S.** Effect of the Adhesive Properties of Vacuum Ion-Plasma TiAlN Coatings on Wear Resistance in Friction // Journal of Friction and Wear. — 2021 (42), no. 5, 317—326
4. **Prabakaran V. and Chandrasekaran K.** Characterisation and Corrosion Resistance of TiCrN Composite Coating on Steel by Physical Vapour Deposition Method // J. Bio Tribo Corros. — 2016 (2), 25
5. **Dejun K., Donghui Z., and Haoyuan G.** Microstructures and Friction–Wear Performances of Cathodic Arc Ion Plated TiAlN Coatings on YT14 Cemented Carbide Cutting Tools // Journal of Materials Research. — 2017 (32), 1693—1700
6. **Lackner J., Major L., and Kot M.** Microscale Interpretation of Tribological Phenomena in Ti/TiN Soft-Hard Multilayer Coatings on Soft Austenite Steel Substrates // Bull. Pol. Acad. Sci.: Techn. Sci. — 2011 (59), 343—355
7. **Djabella H. and Arnell R.** Finite Element Comparative Study of Elastic Stresses in Single, Double Layer and Multilayered Coated Systems // Thin Solid Films. — 1993 (235), 156—162
8. **Hintermann H.** Adhesion, Friction and Wear of Thin Hard Coatings // Wear. — 1984 (100), 381—397
9. **Broitman E.** Indentation Hardness Measurements at Macro-, Micro-, and Nanoscale: A Critical Overview // Tribology Letters. — 2016 (65), 23
10. **Kunchenko V.V., Andreev A.A., Kartmazov G.N.** Struktura i svojstva erozionno-stojkih vakuumno-dugovyh pokrytij na osnove nitridov titana // Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya Fizika. — 2001 (2), 21—25 (in Russian)
11. **Il'in A.A., Plihunov V.V., Petrov L.M., Spector V.S.** Vakuumnaya ionno-plazmennaya obrabotka. — М.: INFRA-M. — 2014 (in Russian)
12. **Shulayev V.M., Andreev A.A., Gorban V.F., and**

- Stolbovoy V.A.** Comparison of Characteristics of Vacuum-Arc Nano-Structure TiN Coatings Deposited under HV Pulse Substrate Bias // PSE. — 2007 (5), 94—97
13. **Kohanovskij V.A., Sergeeva M.H.** Planirovanie eksperimental'nyh issledovanij. — Rostov-n/D: Izdatel'skij centr DGTU. — 2014 (in Russian)
14. **Anders A.** A Structure Zone Diagram Including Plasma-Based Deposition and Ion Etching // Thin Solid Films. — 2010 (518), 4087—4090
15. **Kolesnikov Yu.V., Morozov E.M.** Mekhanika kontaktnogo razrusheniya. — M.: LKI. — 2007 (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