УДК 621.81.004.12

Влияние адгезионных свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий TiAlN на износостойкость при трении

В.И. Колесников¹, О.В. Кудряков², В.Н. Варавка², Д.С. Мантуров¹, Е.С. Новиков¹

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 09.06.2021.

После доработки 25.10.2021.

Принята к публикации 25.10.2021.

Исследованы вакуумные ионно-плазменные покрытия системы TiAlN с различной морфологией структуры (однослойные и мультислойные с разной толщиной слоёв), нанесённые при дуговом испарении на подложку из азотированной стали 38Х2МЮА. Эталонном для сравнения механических и трибологических свойств служил сплошной азотированный поверхностный слой нитрида (Fe,Al)₄N — фазы γ' (на стали без покрытия). Отмечено, что решающим фактором, определяющим износостойкость покрытия при трении, является слабая адгезия покрытий TiAlN к нитриднему слою подложки. Отслаивание и скалывание покрытия при трибологических испытаниях приводит к изменению механизма изнашивания с окислительного на окислительно-абразивный, что интенсифицирует износ стальных образцов. Морфология структуры ионно-плазменных покрытий в этих условиях существенного значения не имеет. Экспериментальная проверка адгезионной прочности покрытий TiAlN с однотипной структурой на стальных подложках с азотированной и цементованной поверхностью была выполнена по методике скрэтч-тестирования. Значения критической нагрузки скалывания покрытий для нитридной подложки составили 3,42 Н, а для карбидной подложки — 16,97 Н. Полученные данные свидетельствуют о тесной взаимосвязи адгезионных свойств поверхности раздела «покрытие—подложка» с износостойкостью покрытия. Поэтому в прикладных вопросах выбора износостойких покрытий для нагруженных узлов трения влиянию подложки должно быть отведено одно из приоритетных мест.

Ключевые слова: ионно-плазменная технология, PVD-покрытия, азотированный слой стали, микроструктура, адгезия, электронная микроскопия, индентирование, трибологические испытания, механизмы износа.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-495-507

Адрес для переписки:

О.В. Кудряков
Донской государственный технический университет,
пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону 344000, Россия
e-mail: kudryakov@mail.ru

Для цитирования:

В.И. Колесников, О.В. Кудряков, В.Н. Варавка, Д.С. Мантуров,
Е.С. Новиков.

Влияние адгезионных свойств вакуумных ионно-плазменных
покрытий TiAlN на износостойкость при трении.

Трение и износ.

2021. — Т. 42, № 5. — С. 495—507.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-495-507

Address for correspondence:

O.V. Kudryakov
Don State Technical University,
Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don 344000, Russia
e-mail: kudryakov@mail.ru

For citation:

V.I. Kolesnikov, O.V. Kudryakov, V.N. Varavka, D.S. Manturov, and
E.S. Novikov.

Relationship between the Adhesive Properties of Vacuum Ion-Plasma
TiAlN Coatings and Wear Resistance in Friction.

Trenie i Iznos.

2021, vol. 42, no. 5, pp. 495—507 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-495-507

Relationship between the Adhesive Properties of Vacuum Ion-Plasma TiAlN Coatings and Wear Resistance in Friction

V.I. Kolesnikov¹, O.V. Kudryakov², V.N. Varavka², D.S. Manturov¹, and E.S. Novikov¹

¹Department of Theoretical Mechanics, Rostov State Transport University,
Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Sq., 2, Rostov-on-Don 344038, Russia

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

Received 09.06.2021.

Revised 25.10.2021.

Accepted 25.10.2021.

Abstract

Vacuum ion-plasma coatings of the TiAlN system with different structure morphology (single-layer and multi-layer with different layer thicknesses), deposited by arc evaporation on a 38Cr2MoAl nitrided steel substrate, have been investigated in this work. A continuous nitrided surface layer of (Fe, Al)₄N — phase γ' (on uncoated steel) served as a standard for comparing the mechanical and tribological properties. It is noted that the decisive factor determining the wear resistance of the coating during friction is the weak adhesion of TiAlN coatings to the nitride layer of the substrate. Peeling and chipping of the coating during tribological tests leads to a change in the wear mechanism from oxidative to oxidative-abrasive, which intensifies the wear of steel samples. The morphology of the structure of ion-plasma coatings under these conditions is not significant. Experimental verification of the adhesion strength of TiAlN coatings with the same structure on steel substrates with a nitrided and carburized surface was performed using the scratch-test technique. The values of the critical load for chipping coatings for the nitride substrate were 3.42 N, and for the carbide substrate — 16.97 N. The data obtained indicate a close relationship between the adhesion properties of the “coating—substrate” interface with the wear resistance of the coating. Therefore, in the applied questions of the choice of wear-resistant coatings for loaded friction units, the influence of the substrate should be assigned one of the priority places.

Keywords: ion-plasma technology, PVD coatings, nitrided steel layer, microstructure, adhesion, electron microscopy, indentation, tribological tests, wear mechanisms.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-495-507

Адрес для переписки:

О.В. Кудряков
Донской государственный технический университет,
пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону 344000, Россия
e-mail: kudryakov@mail.ru

Для цитирования:

В.И. Колесников, О.В. Кудряков, В.Н. Варавка, Д.С. Мантуров,
Е.С. Новиков.

Влияние адгезионных свойств вакуумных ионно-плазменных
покрытий TiAlN на износостойкость при трении.

Трение и износ.

2021. — Т. 42, № 5. — С. 495–507.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-495-507

Address for correspondence:

O.V. Kudryakov
Don State Technical University,
Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don 344000, Russia
e-mail: kudryakov@mail.ru

For citation:

V.I. Kolesnikov, O.V. Kudryakov, V.N. Varavka, D.S. Manturov, and
E.S. Novikov.

Relationship between the Adhesive Properties of Vacuum Ion-Plasma
TiAlN Coatings and Wear Resistance in Friction.

Trenie i Iznos.

2021, vol. 42, no. 5, pp. 495–507 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-495-507

Список использованных источников / References

1. **Nanostructured Coatings** / A. Cavaleiro and J.T. de Hosson (Eds.). — New York: Springer Science & Business Media, LLC. — 2007
2. **Surface Engineering for Enhanced Performance against Wear** / M. Roy (Ed.). — Wien: Springer-Verlag. — 2013; https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0101-8_2
3. **Charitidis C.A., Koumoulos E.P., and Dragatogiannis D.A.** Nanotribological Behavior of Carbon Based Thin Films: Friction and Lubricity Mechanisms at the Nanoscale // *Lubricants*. — 2013 (1), no. 2, 22; <https://doi.org/10.3390/lubricants1020022>
4. **Wang D.-Y., Chang C.-L., Wong K.-W., Li Y.-W., and Ho W.-Y.** Improvement of the Interfacial Integrity of (Ti,Al)N Hard Coatings Deposited on High Speed Steel Cutting Tools // *Surf. Coat. Technol.* — 1999 (120—121), 388—394; [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(99\)00452-1](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(99)00452-1)
5. **de Almeida E.A. dos S., Milan J.C.G., Costa H.L., Krelling A.P., and da Costa C.E.** Sliding Wear of Borided Sintered AISI M2 Steel Coated with Al-TiN/CrN Multilayer // *Wear*. — 2018 (410—411), 11—24; <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.05.025>
6. **Bouzakis E.** Fatigue Endurance Assessment of DLC-Coatings on High-Speed Steels at Ambient and Elevated Temperatures by Repetitive Impact tests // *Coatings*. — 2020 (10), no. 6, 546; <https://doi.org/10.3390/coatings10060546>
7. **Schonjahn C., Bamford M., Donohue L.A., Lewis D.B., Forder S., and Münz W.-D.** The Interface Between TiAlN Hard Coatings and Steel Substrates Generated by High Energetic Cr⁺ Bombardment // *Surf. Coat. Technol.* — 2000 (125), nos. 1—3, 66—70; [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(99\)00552-6](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(99)00552-6)
8. **Shum P.W., Li K.Y., and Shen Y.G.** Improvement of High-Speed Turning Performance of Ti-Al-N Coatings by Using a Pretreatment of High-Energy Ion Implantation // *Surf. Coat. Technol.* — 2005 (198), nos. 1—3, 414—419; <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.10.109>
9. **Yun-Kon Joo, Shi-Hong Zhang, Jae-Hong Yoon and Tong-Yul Cho.** Optimization of the Adhesion Strength of Arc Ion Plating TiAlN Films by the Taguchi Method // *Materials*. — 2009 (2), 699—709; <https://doi.org/10.3390/ma2020699>
10. **Shugurov A.R., Akulinkin A.A., Panin A.V., Perevalova O.B., and Sergeev V.P.** Structural Modification of TiAlN Coatings by Preliminary Ti Ion Bombardment of a Steel Substrate // *Technical Physics*. — 2016 (61), no. 3, 409—415; <https://doi.org/10.1134/S1063784216030191>
11. **Kolesnikov V.I., Novikov E.S., Kudryakov O.V., and Varavka V.N.** The Degradation Mechanisms in Ion-Plasma Nanostructured Coatings under the Conditions of Contact Cyclic Loads // *Journal of Physics: Conference Series*. — 2019 (1281), 012036; <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1281/1/012036>
12. **Kolesnikov V.I., Vereskun V.D., Kudryakov O.V., Manturov D.S., Popov O.N., and Novikov E.S.** Technologies for Improving the Wear Resistance of Heavy-Loaded Tribosystems and Their Monitoring // *Journal of Friction and Wear*. — 2020 (41), no. 2, 169—173; <https://doi.org/10.3103/S1068366620020051>
13. **Kolesnikov V.I., Kudryakov O.V., Zabiya I.Yu., Novikov E.S., and Manturov D.S.** Structural Aspects of Wear Resistance of Coatings Deposited by Physical Vapor Deposition // *Physical Mesomechanics*. — 2020 (23), 570—583; <https://doi.org/10.1134/S1029959920060132>
14. **Kudryakov O.V., Varavka V. N., Kolesnikov I.V., Novikov E.S., and Zabiya I.Yu.** DLC Coatings for Tribotechnical Purposes: Features of the Structure and Wear Resistance // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. — 2020 (1029), no. 1, 012061. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1029/1/012061>
15. **Anders A.** A Structure Zone Diagram Including Plasma Based Deposition and Ion Etching // *Thin Solid Films*. — 2010 (518), no. 15, 4087—4090; <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2009.10.145>
16. **Oliver W.C. and Pharr G.M.** An Improved Technique for Determining Hardness and Elastic Modulus Using Load and Displacement Sensing Indentation Experiments // *Journal of Materials Research*. — 1992 (7), no. 6, 1564—1583; <https://doi.org/10.1557/JMR.1992.1564>
17. **Nanoindentation** / Fischer-Cripps A.C. (Ed.). — New York: Springer-Verlag. — 2004; <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5943-3>
18. **ISO/FDIS 14577-1:2002; Metallic Materials — Instrumented Indentation Test for Hardness and Materials Parameters — Part 1: Test Method.**
19. **DIN 50324 (1992 Edition); Tribology: Testing of Friction and Wear Model Test for Sliding Friction of Solids (Ball-on-Disc System)**
20. **ASTM G 99–95a(2000)e1; Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus**
21. **ASTM G133–05(2016); Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear**
22. **Williams J.A.** *Engineering Tribology*. (2nd ed.). — New York: Cambridge University Press. — 2005
23. **Hutchings I.M. and Shipway Ph.** *Tribology, Friction & Wear of Engineering Materials*. (2nd ed.). — Oxford, UK: Butterworth-Heinemann Elsevier Ltd. — 2017
24. **DIN EN 1071–3; Advanced Technical Ceramics — Methods of Test for Ceramic Coatings. — Part 3: Determination of Adhesion and Other Mechanical Failure Modes by a Scratch Test**

25. **Musil J.** Physical and Mechanical Properties of Hard Nanocomposite Films Prepared by Reactive Magnetron Sputtering: Chapter 10 in book “Nanostructured Hard Coatings”. — New York: Springer Science+Business Media, LCC. — 2005, 407—463
26. **Varavka V.N., Kudryakov O.V., and Ryzhenkov A.V.** Multilayered Nanocomposite Coatings for Anti-Erosive Protection: Chapter 5 in book “Piezoelectrics and Nanomaterials: Fundamentals, Developments and Applications”. — New York: Nova Science Publishers. — 2015, 105—132
27. **Serebryakov A.V., Serebryakov A.V., and Burkin S.P.** Analysis of Adhesive Interactionsystem Carbide (Oxides, Nitrides) — Ferrous Metal // *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. — 2014 (57), no. 1, 25—29. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2014-1-25-29> (in Russian)
28. **Yun-Kon Joo, Shi-Hong Zhang, Jae-Hong Yoon, and Tong-Yul Cho.** Optimization of the Adhesion Strength of Arc Ion Plating TiAlN Films by the Taguchi Method // *Materials*. — 2009 (2), 699—709; <https://doi.org/10.3390/ma2020699>

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