

УДК 621.793

## Структура и триботехнические свойства покрытия Ti–TiN, полученного высокоскоростным напылением

В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский, А.Н. Григорчик, А.В. Сосновский

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
ул. Академическая, 12, г. Минск 220072, Беларусь

Поступила в редакцию 03.06.2022.

После доработки 17.10.2022.

Принята к публикации 18.10.2022.

Исследована структура и свойства газотермического покрытия из титанового сплава ОТ4, полученного методом высокоскоростной металлизации при различном давлении пропана. Показано, что напыленные покрытия содержат в своём фазовом составе от 50 до 70 об. % фазы TiN. Установлено, что объёмная доля формирующегося нитридного слоя на поверхности частицы титана зависит от площади поверхности титановых частиц и скорости их полёта при напылении. Показано, что микротвёрдость напыленных слоёв покрытия находится в пределах от 1200 до 1600 HV 0,025, а твёрдость покрытий составляет 450—650 HV 10. Существенное отличие значений твёрдости и микротвёрдости связано с наличием в покрытиях прослоек чистого титана, имеющего относительно невысокую твёрдость, а также с высокой пористостью покрытий. Установлено, что газотермические покрытия из сплава ОТ4 характеризуются высокой износостойкостью в условиях сухого и граничного трения. В частности, в условиях сухого трения износостойкость покрытий в  $\approx 14$ —16 раз превышает износостойкость образца из монолитного сплава ВТ1-0, а в условиях трения в смазочном материале до  $\approx 240$  раз. Напыленные покрытия из титановых сплавов, содержащие нитридную фазу TiN, могут быть использованы в качестве защитных и износостойких слоёв на поверхностях различных материалов, в том числе, титана. Сделано заключение, что метод высокоскоростного напыления позволяет формировать экономичные покрытия на базе нитрида, характеризующиеся высокой микротвёрдостью и износостойкостью.

**Ключевые слова:** высокоскоростное напыление, частицы титана, нитридный слой, фаза TiN, высокая износостойкость.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-5-458-465

---

**Адрес для переписки:**

А.Н. Григорчик  
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
ул. Академическая, 12, г. Минск 220072, Беларусь  
e-mail: GrigorchikAN@gmail.com

---

**Address for correspondence:**

A.N. Grigorchik  
Joint Institute of Mechanical Engineering, National Academy of  
Sciences of Belarus,  
Akademicheskaya Street, 12, Minsk 220072, Belarus  
e-mail: GrigorchikAN@gmail.com

---

**Для цитирования:**

В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский, А.Н. Григорчик,  
А.В. Сосновский.

Структура и триботехнические свойства покрытия Ti–TiN,  
полученного высокоскоростным напылением.

Трение и износ.

2022. – Т. 43, № 5. – С. 458–465.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-5-458-465

---

**For citation:**

V.A. Kukareko, M.A. Belotserkovsky, A.N. Grigorchik, and  
A.V. Sosnovskiy.

[Structure and Tribological Properties of the Coating Ti–TiN, Obtained  
by High-Speed Deposition].

*Trenie i Iznos.*

2022, vol. 43, no. 5, pp. 458–465 (in Russian).

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-5-458-465

# Structure and Tribological Properties of the Coating Ti–TiN, Obtained by High-Speed Deposition

V.A. Kukareko, M.A. Belotserkovsky, A.N. Grigorichik, and A.V. Sosnovskiy

Joint Institute of Mechanical Engineering, National Academy of Sciences of Belarus,  
Akademicheskaya Street, 12, Minsk 220072, Belarus

Received 03.06.2022.

Revised 17.10.2022.

Accepted 18.10.2022.

## Abstract

The structure and properties of a hypersonic coating from a titanium alloy Ti-4Al obtained at various propane pressures have been investigated. It is shown that the sprayed coatings contain from 50 to 70 vol. % TiN phase. It was found that the volume fraction of the nitride layer on the surface of a titanium particle depends on the area of titanium particles and their flight speed during deposition. It is shown that the microhardness of the deposited layers of coatings is 1200—1600 HV 0.025 and the hardness of the coatings is 450—650 HV 10. The difference in hardness and microhardness values is associated with the presence of pure titanium interlayers in the coatings, as well as with high porosity. It has been established that hypersonic coatings made of Ti-4Al alloy are characterized by high wear resistance under dry and boundary friction conditions. In particular, under conditions of dry friction, the wear resistance of coatings is  $\approx 14$ —16 times higher than the wear resistance of a specimen made of monolithic alloy Grade2, and under friction conditions in a lubricant up to  $\approx 240$  times. Sputtered coatings of titanium alloys containing the nitride phase TiN can be used as protective and wear-resistant layers on the surfaces of various materials, including titanium. It is concluded that the hypersonic metallization method makes it possible to form economical nitride-based coatings characterized by high microhardness and wear resistance.

**Keywords:** hypersonic metallization, titanium particles, nitride layer, TiN phase, high wear resistance.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-5-458-465

---

### Адрес для переписки:

А.Н. Григорчик  
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,  
ул. Академическая, 12, г. Минск 220072, Беларусь  
e-mail: GrigorchikAN@gmail.com

---

### Address for correspondence:

A.N. Grigorchik  
Joint Institute of Mechanical Engineering, National Academy of  
Sciences of Belarus,  
Akademicheskaya Street, 12, Minsk 220072, Belarus  
e-mail: GrigorchikAN@gmail.com

---

### Для цитирования:

В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский, А.Н. Григорчик,  
А.В. Сосновский.

Структура и триботехнические свойства покрытия Ti–TiN,  
полученного высокоскоростным напылением.  
Трение и износ.

2022. — Т. 43, № 5. — С. 458–465.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-5-458-465

---

### For citation:

V.A. Kukareko, M.A. Belotserkovsky, A.N. Grigorchik, and  
A.V. Sosnovskiy.

[Structure and Tribological Properties of the Coating Ti–TiN, Obtained  
by High-Speed Deposition].

*Trenie i Iznos.*

2022, vol. 43, no. 5, pp. 458–465 (in Russian).

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-5-458-465

## Список использованных источников

1. **Поболь И.Л.** Методы высокоэнергетической обработки материалов. Опыт освоения в промышленности // Вестник Брестского государственного технического университета. Машиностроение. — 2018, № 4(112), 64—68
2. **Кульментьев А.И., Кульментьева О.П., Махмуд А.М.** Структура и свойства нанокристаллических покрытий из нитрида титана, полученных при непрерывном осаждении или ионно-плазменной имплантации // Компрессорное и энергетическое машиностроение. — 2011, № 2, 36—39
3. **Ладан Е.П., Ладан И.Е., Зармаев А.А., Калиниченко В.П.** Технологическое оборудование для нанесения детонационных покрытий // Вестник Академии наук Чеченской Республики. — 2012, № 1(16), 76—84
4. **Пантелеенко Ф.И., Белоцерковский М.А., Карпец М.Н., Сосновский А.В.** Сравнительный анализ физико-механических свойств покрытий, нанесенных способами электродуговой и гиперзвуковой металлизации // Механика машин, механизмов и материалов. — 2019, № 4(49), 48—54
5. **Способ формирования стального покрытия:** Пат. 034648 Респ. Беларусь, МПК С23С 4/06; заявитель Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» № а 201800211; заявл. 28.02.2018; опубл. 03.03.2020. Евр. патент. ведомство. № 3/2020 год. / М.А. Белоцерковский, А.Н. Григорчик, В.А. Кукареко, А.В. Сосновский, Д.И. Трусов
6. **Кукареко В.А., Григорчик А.Н., Белоцерковский М.А., Сосновский А.В.** О природе формирования метастабильной аустенитной структуры при газотермическом напылении высокохромистой стали мартенситного класса 95X18 // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2017 (13), № 7(151), 318—322
7. **Кононов А.Г., Кукареко В.А., Белый А.В., Шаркеев Ю.П.** Ионно-модифицированные субмикроструктурные титановые и циркониевые сплавы для медицины и механики // Механика машин, механизмов и материалов. — 2013,

№ 1(22), 47—53

8. **Громов А.А.** Закономерности процессов получения нитридов и оксинитридов элементов III и IV групп: учебное пособие; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета. — 2009
9. **Самсонов Г.В., Кулик О.П., Полищук В.С.** Получение и методы анализа нитридов. — Киев: Наук. Думка. — 1978
10. **Рабинович В.А., Хавин З.Я.** Краткий химический справочник. — Л.: Химия. — 1977

## References

1. **Pobol I.L.** Bulletin of the Brest State Technical University // Engineering. — 2018, № 4(112), 64 (in Russian)
2. **Kul'ment'yev A.I.** // Compressor and power engineering. — 2011, № 2, 36 (in Russian)
3. **Ladan Ye.P.** // Bulletin of the Academy of Sciences of the Chechen Republic. — 2012, № 1(16), 76 (in Russian)
4. **Panteleyenko F.I.** // Mechanics of machines, mechanisms and materials. — 2019, № 4(19), 48 (in Russian)
5. **Steel Coating Forming Method:** Patent BY № 034648. 03 March 2020 / M.A. Belotserkovsky, A.N. Grigorchik, V.A. Kukareko, A.V. Sosnovsky, D.I. Trusov (in Russian)
6. **Kukareko V.A.** // Hardening technologies and coatings. — 2017, № 7(151), 318 (in Russian)
7. **Kononov A.G.** // Mechanics of machines, mechanisms and materials. — 2013, № 1(22), 47 (in Russian)
8. **Gromov A.A.** Patterns of the processes of obtaining nitrides and oxynitrides of elements of groups III and IV. — Tomsk. — 2009 (in Russian)
9. **Samsonov G.V., Kulik O.P., Polishchuk V.S.** Preparation and methods of analysis of nitrides. — Kiev. — 1978 (in Russian)
10. **Rabinovich V.A., Khavin Z.Ya.** Brief Chemical Reference. — Saint-Petersburg. — 1977 (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](mailto:FWJ@tut.by)