

УДК 620.178.162

Влияние модификации поверхности на триботехнические свойства титановых сплавов VT22 и Ti-5553

М.С. Асеева^{1,2}, Е.В. Торская², Г.Т. Зайнетдинова¹, А.В. Морозов², П.О. Буковский²

¹ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,

шоссе Волоколамское, д. 4, г. Москва 125993, Россия

²Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
просп. Вернадского, д. 101, к. 1, г. Москва 119526, Россия

Поступила в редакцию 15.05.2024.

После доработки 08.08.2024.

Принята к публикации 12.08.2024.

Представлены результаты исследования, демонстрирующие повышение триботехнических свойств титановых сплавов марок VT22 и Ti-5553 за счёт химико-термической подготовки поверхностей и нанесения износостойкого покрытия из нитрида титана. Выполнено сравнение триботехнических свойств образцов без покрытий, с модификацией поверхностей азотированием, с покрытием из нитрида титана, а также с двухэтапной обработкой поверхностей образцов, включающее первичное азотирование поверхности с последующим нанесением на неё покрытия из нитрида титана. Установлено, что низкая износостойкость наблюдаются у образцов титана без покрытий, при этом для образцов с азотированным поверхностным слоем износостойкость повышается для обоих типов испытываемых сплавов. Минимальный износ регистрируется на образцах с двухэтапным формированием покрытия из нитрида титана, при этом на образцах без промежуточного азотированного подслоя при испытании керамическим шариком наблюдаются сколы покрытия, а формирование подслоя предотвращает этот вид разрушения.

Ключевые слова: титановый сплав, азотирование, износостойкое покрытие, нитрид титана, легкие подшипники.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-4-300-309

Адрес для переписки:

Е.В. Торская

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
просп. Вернадского, д. 101, к. 1, г. Москва 119526, Россия
e-mail: torskaya@mail.ru

Address for correspondence:

E.V. Torskaya

Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS,
Vernadskogo avenue, 101 - 1, Moscow 119526, Russia
e-mail: torskaya@mail.ru

Для цитирования:

М.С. Асеева, Е.В. Торская, Г.Т. Зайнетдинова, А.В. Морозов,
П.О. Буковский.

Влияние модификации поверхности на триботехнические свойства титановых сплавов VT22 и Ti-5553.

Трение и износ.

2024. — Т. 45, № 4. — С. 300—309.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-4-300-309

For citation:

M.S. Aseeva, E.V. Torskaya, G.T. Zainetdinova, A.V. Morozov, and P.O. Bukovsky.

[Effect of Surface Modification on Tribological Properties of Titanium Alloys VT22 and Ti-5553].

Trenie i Iznos.

2024, vol. 45, no. 4, pp. 300—309 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-4-300-309

Effect of Surface Modification on Tribological Properties of Titanium Alloys VT22 and Ti-5553

M.S. Aseeva^{1,2}, E.V. Torskaya², G.T. Zainetdinova¹, A.V. Morozov², and P.O. Bukovsky²

¹Moscow Aviation Institute,
Volokolamskoye Highway, 4, Moscow 125993, Russia

²Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS,
Vernadskogo avenue, 101 - 1, Moscow 119526, Russia

Received 15.05.2024.

Revised 08.08.2024.

Accepted 12.08.2024.

Abstract

Tribological properties of titanium alloys VT22 and Ti-5553 are improved due to the chemical-thermal treatment of their surfaces and the application of a wear-resistant titanium nitride coating. The tribological properties were compared for samples without additional surface treatment, with surface modification by nitriding, with the titanium nitride coating, as well as with a two-stage treatment of sample surfaces, including primary nitriding of the surface followed by the application of a titanium nitride coating on it. It was found that low wear resistance is observed in titanium samples without coatings, while the wear resistance of samples with a nitrided surface layer increases for both types of tested alloys. Minimal wear occurs for the samples with two-stage formation of a titanium nitride coating while on samples without an intermediate nitrided sublayer, when tested with a ceramic ball, delamination of the coating is observed; the formation of the sublayer prevents this type of destruction.

Keywords: titanium alloy, nitriding, wear-resistant coating, titanium nitride, light bearings.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-4-300-309

Адрес для переписки:

Е.В. Торская
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлнского РАН,
просп. Вернадского, д. 101, к. 1, г. Москва 119526, Россия
e-mail: torskaya@mail.ru

Для цитирования:

М.С. Асеева, Е.В. Торская, Г.Т. Зайнетдинова, А.В. Морозов,
П.О. Буковский.

Влияние модификации поверхности на триботехнические
свойства титановых сплавов VT22 и Ti-5553.

Трение и износ.

2024. — Т. 45, № 4. — С. 300—309.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-4-300-309

Address for correspondence:

E.V. Torskaya
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS,
Vernadskogo avenue, 101 - 1, Moscow 119526, Russia
e-mail: torskaya@mail.ru

For citation:

M.S. Aseeva, E.V. Torskaya, G.T. Zainetdinova, A.V. Morozov, and
P.O. Bukovsky.

[Effect of Surface Modification on Tribological Properties of Titanium
Alloys VT22 and Ti-5553].

Trenie i Iznos.

2024, vol. 45, no. 4, pp. 300—309 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-4-300-309

Список использованных источников

1. **Золотов И.В.** Повышение износостойкости поверхности двухфазных титановых сплавов азотированием в тлеющем разряде с полым катодом: дис. ... канд. тех. наук. — Уфа. — 2017
2. **Дробов А.Н., Босяков М.Н., Поболь И.Л.** Влияние ионно-плазменного азотирования на износостойкость и характер изменения шероховатости поверхности титановых сплавов VT1-0, VT6 и OT4-1 // *Литье и металлургия*. — 2022, № 2, 78—83
3. **Тамбовский И.В.** Повышение твёрдости и износостойкости конструкционных сплавов путём многокомпонентного электролитно-плазменного насыщения бором, азотом и углеродом: дис. ... канд. тех. наук. — Рыбинск. — 2018
4. **Li Y., Wang Xi., Yang Sh., Hou L., Wei Y.-H., Zhang Z., Yang X.** Investigation on Wear Behavior of Cryogenically Treated Ti-6Al-4V Titanium Alloy under Dry and Wet Conditions // *Materials*. — 2019 (12), 2850
5. **Кусманов С.А., Тамбовский И.В., Кораблева С.С., Мухачева Т.Л., Дьяконова А.Д., Никифоров Р.В., Наумов А.Р.** Повышение износостойкости титанового сплава VT6 катодным электролитно-плазменным азотированием // *Электронная обработка материалов*. — 2022, (58), № 1, 9—14
6. **Кусманов С.А., Тамбовский И.В., Кусманова И.А., Белкин П.Н.** Повышение износостойкости титанового сплава VT22 анодным электролитно-плазменным борированием // *Электронная обработка материалов*. — 2021, (57), №1, 1—6
7. **Нарыгина И.В., Карабаналов М.С., Илларионов А. Г., Радаев П.С.** Структурные и фазовые превращения в холоднодеформированном сплаве титана VT22 при старении // *Уральская школа молодых металлургов: XIX Международная научно-техническая Уральская школа-семинар металлургов — молодых ученых, 19-21 ноября 2018 г.: сборник докладов*. — Екатеринбург. — 2018, 156—160
8. **Borisyuk Yu.V., Oreshnikova N.M., Berdnikova M.A., Tumarkin A.V., Khodachenko G.V., and Pisarev A.A.** Plasma Nitriding of Titanium Alloy Ti5Al4V2Mo // *Physics Procedia*. — 2015 (71), 105—109
9. **Лаврись С.М., Погрелюк И.Н.** Интенсификация азотирования двухфазного титанового сплава VT22 для повышения его износостойкости // *Наукові нотатки*. — 2019, № 66, 187—194
10. **Белкин В.С.** Исследование трибологических свойств двухфазных титановых сплавов, после электролитно-плазменного насыщения азотом // *Гагаринские чтения 2017, 05-19 апреля 2017 г.* — 2017, 219
11. **Ильин А.А., Бецофен С.Я., Скворцова С.В., Петров Л.М., Банных И.О.** Структурные аспекты ионного азотирования титановых сплавов // *Металлы*. — 2002, № 3, 6—15
12. **Скворцова С.В., Зайнетдинова Г.Т., Гуртовая Г.В., Тевс М.Д.** Влияние легирующих элементов на твердость опытных псевдо-β-титановых сплавов // *Деформация и разрушение материалов*. — 2022, № 12, 10—16
13. **Скворцова С.В., Зайнетдинова Г.Т., Гуртовая Г.В., Федорова Л.В., Чупкикова А.Р.** Влияние изотермической обработки на изменение структуры и твердости псевдо-β-титановых сплавов // *Электрометаллургия*. — 2023, № 11, 10—20
14. **ASTM G99-05 Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus**. — American Society for Testing and Materials. — 2004
15. **Торская Е.В.** Анализ влияния трения на напряженное состояние тел с покрытиями // *Трение и износ*. — 2002 (23), № 2, 130—138

References

1. **Zolotov I.V.** Povyshenie iznosostojkosti poverhnosti dvuhfaznyh titanovyh splavov azotirovaniem v tleyushchem razryade s polym katodom: dis. ... kand. tekh. nauk. Ufa, 2017 (in Russian)
2. **Drobov A.N., Bosyakov M.N., Pobol I.L.** Vliyanie ionno-plazmennogo azotirovaniya na iznosostoičnost i kharakter izmeneniya sherokhovatosti poverkhnosti titanovykh splavov VT1-0, VT6 i OT4-1 // *Lite i metallurgiya*. — 2022, № 2, 78—83 (in Russian)
3. **Tambovskij I.V.** Povyshenie tvyordosti i iznosostojkosti konstrukcionnyh splavov putyom mnogokomponentnogo elektrolitno-plazmennogo nasyshcheniya borom, azotom i uglerodom: dis. ... kand. tekh. nauk. — Rybinsk. — 2018 (in Russian)
4. **Li Y., Wang Xi., Yang Sh., Hou L., Wei Y.-H., Zhang Z., and Yang X.** Investigation on Wear Behavior of Cryogenically Treated Ti-6Al-4V Titanium Alloy under Dry and Wet Conditions // *Materials*. — 2019 (12), 2850
5. **Kusmanov S.A., Tambovskij I.V., Korableva S.S., Muhacheva T.L., D'yakonova A.D., Nikiforov R.V., Naumov A.R.** Povyshenie iznosostojkosti titanovogo splava VT6 katodnym elektrolitno-plazmennym azotirovaniem // *Elektronnaya obrabotka materialov*. — 2022 (58), № 1, 9—14 (in Russian)
6. **Kusmanov S.A., Tambovskij I.V., Kusmanova I.A., Belkin P.N.** Povyshenie iznosostojkosti titanovogo splava VT22 anodnym elektrolitno-plazmennym borirovaniem // *Elektronnaya obrabotka materialov*. — 2021 (57), № 1, 1—6 (in Russian)
7. **Narygina I.V., Karabanalov M.S., Illarionov A.G., Radaev P.S.** Strukturnye i fazovye prevrashcheniya v holodnodeformirovannom splave titana VT22 pri starenii // *Ural'skaya shkola molodyh metallovedov: XIX Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya Ural'skaya shkola-seminar metallovedov — molodyh uchenykh, 19-21 noyabrya*

- 2018 g.: sbornik dokladov. — Ekaterinburg. — 2018, 156—160 (in Russian)
8. **Borisyuk Yu.V., Oreshnikova N.M., Berdnikova M.A., Tumarkin A.V., Khodachenko G.V., Pisarev A.A.** Plasma Nitriding of Titanium Alloy Ti5Al4V2Mo // *Physics Procedia*. — 2015 (71), 105—109 (in Russian)
 9. **Lavris S.M., Pogrelyuk I.N.** Intensifikaciya azotirovaniya dvuhfaznogo titanovogo splava VT22 dlya povysheniya ego iznosostojkosti // *Naukovi notatki*. — 2019, № 66, 187—194 (in Ukrainian)
 10. **Belkin V.S.** Issledovanie tribologicheskikh svoystv dvuhfaznykh titanovykh splavov, posle elektrolitno-plazmennogo nasyshcheniya azotom // *Gagarinskie chteniya 2017, 05-19 aprelya 2017 g.* — 2017, 219 (in Russian)
 11. **Il'in A.A., Betsofen S.Y., Skvortsova S.V., Petrov L.M., and Bannykh I.O.** Structural Aspects of Ion Nitriding of Titanium Alloys // *Russian metallurgy (metally)*. — 2002, no. 3, 209—217
 12. **Skvortsova S.V., Zainetdinova G.T., Gurto-vaya G.V., Tevs M.D.** Effect of Alloying Elements on the Hardness of Experimental Pseudo- β Titanium Alloys // *Russian metallurgy (metally)*. — 2023, no. 4, 456—459
 13. **Skvortsova S.V., Zainetdinova G.T., Gurto-vaya G.V., Fedorova L.V., and Chupikova A.R.** Effect of Isothermal Treatment on the Structure and Hardness of Pseudo- β Titanium Alloys // *Russian metallurgy (metally)*. — 2023, no. 12, 1844—1852
 14. **ASTM G99-05 Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus.** — American Society for Testing and Materials. — 2004
 15. **Torskaya E.V.** Analysis of Friction Effect on Stress State of Coated Bodies // *Journal of Friction and Wear* — 2002 (23), no. 2, 130—138

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