

УДК 621.762

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ НИТРИДА ТИТАНА НА МАЛОГАБАРИТНЫЕ ТОНКОСТЕННЫЕ ДЕТАЛИ

© 2011 Ю. П. Тарасенко, Л. А. Кривина, И. Н. Царева, В. А. Ильичев

Нижегородский филиал Учреждения Российской академии наук
Института машиноведения им. А.А.Благонравова, г. Нижний Новгород

Исследовано влияние переменных технологических факторов (ток дуги, парциальное давление азота) на структуру и физико-механические свойства ионно-плазменного покрытия нитрида титана. Выявлены закономерности формирования наноструктурированных столбчатых покрытий TiN при уменьшении параметров ионно-плазменного напыления (тока дуги и давления реакционного газа в камере).

Ионно-плазменное напыление, покрытие нитрида титана, столбчатая структура, микротвердость, коэффициент трения, износостойкость.

Введение

Ионно-плазменные технологии нанесения износостойких покрытий в настоящее время нашли широкое применение в целях повышения надежности и долговечности различного рода деталей и инструмента. На современном этапе хорошо зарекомендовали себя нитридные покрытия, обладающие антифрикционными и антикоррозионными свойствами. Повышение их качества и надежности является одной из главных задач при внедрении упрочняющих ионно-плазменных технологий [1,2] применительно к конкретным условиям работы пар трения.

Методика эксперимента

Износостойкое покрытие TiN наносили методом ионно-плазменного напыления (на установке ВУ-2МБС) на детали типа втулки (размером $\varnothing 4,9 \times \varnothing 3,5 \times 22,5$ мм) из инструментальной стали ХВГ по режимам, приведенным в табл. 1.

Таблица 1. Технологические режимы напыления покрытия нитрида титана

Технологические параметры напыления	Парциальное давление азота в рабочей камере P_{N_2} , Па	
	0,04	0,06
Ток дуги I_d , А / напряжение смещения $U_{см}$, В	180/140	180/140
	140/140	140/140
	120/140	120/140

Напыление покрытия проводилось при фиксированных временах обработки:
- очистка и активация поверхности деталей методом ионной бомбардировки Ti^+ в цик-

лическом режиме – 5 с (обработка) +5 с (пауза) и т.д. до полного окончания процесса;

- нанесение подслоя $\alpha-Ti$ – 10 мин;
- нанесение покрытия TiN – 50 мин.

Микроструктуру покрытия TiN исследовали методами оптической металлографии (микроскоп «Неофот 32») и электронной микроскопии (растровый микроскоп VEGA/TESKAN).

Микротвердость (H_μ) измеряли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 50 г. Поскольку толщина покрытия сравнима с глубиной индентирования, то проводили теоретические расчеты микротвердости покрытия по формуле [3], учитывающей влияние подложки на процесс измерения:

$$H_{покр} = H_k + (H_k - H_{подл.}) / [(2t/h + 3(t/h)^2)],$$

где $H_{покр}$ – микротвердость покрытия; H_k – микротвердость композиции; $H_{подл.}$ – микротвердость подложки; t – толщина покрытия; h – глубина индентирования.

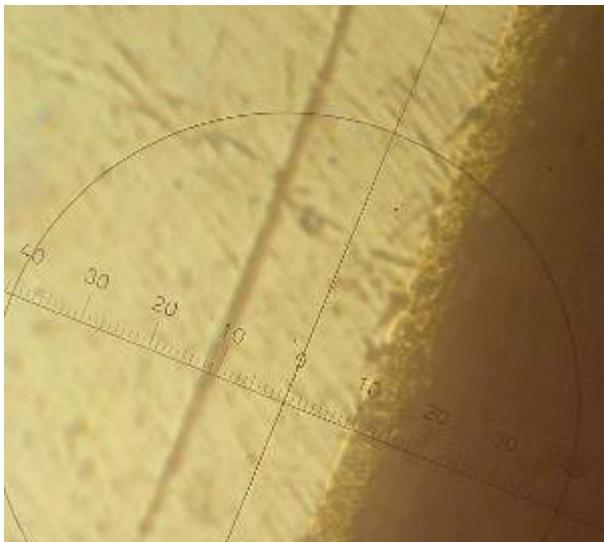
Исследование фрикционных свойств проводили на лабораторной установке трения при сухом скольжении при переменной нагрузке (0,03-0,1) Н на индентор из сапфира. Испытания износостойкости проводили на установке «Эхо» при сухом поперечном контакте вращающегося сапфирового стержня диаметром ~8 мм с нагрузкой $N=2,45$ Н в течение 15 минут. Износостойкость исходного материала и покрытия TiN оценивали по геометрическому параметру – диаметру пятна износа.

Результаты исследований

На рис. 1 представлены микрофотографии ионно-плазменного покрытия нитрида титана с поверхности и на поперечном шлифе, напыленного в режиме: $P_{N_2} = 0,04$ Па, ток дуги $I_d = 120$ А; напряжение смещения $U_{см} = 140$ В. Покрытие - плотное, имеет низкий уровень пористости и капельной фазы α -Ti. По результатам рентгеноструктурного анализа фазовый состав покрытия представляет собой кубическую фазу δ -TiN.



а

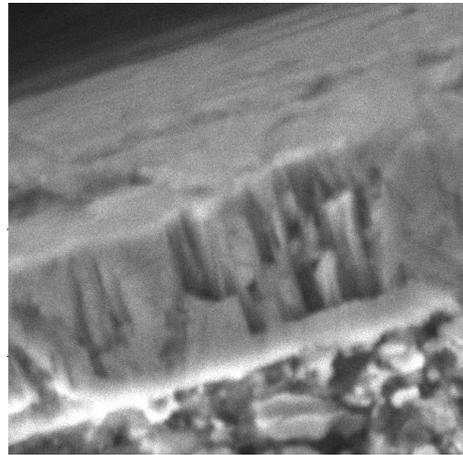


б

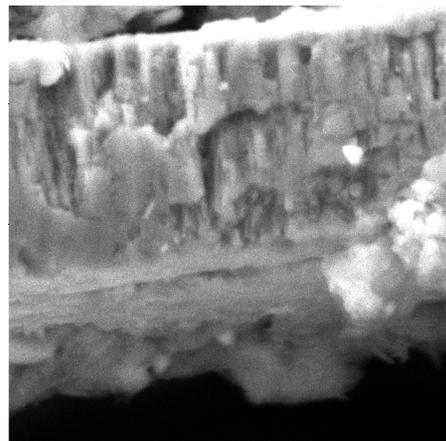
Рис. 1. Микрофотографии покрытия нитрида титана: а – с поверхности ($\times 200$); б – на поперечном шлифе ($\times 400$)

Методом электронной микроскопии установлено, что при всех режимах напыления формируется покрытие со столбчатой структурой (рис. 2, 3) зерен TiN. Выявлена тенденция уменьшения поперечного размера зерен при снижении тока дуги и давления реакционного газа в камере (рис. 4). В рам-

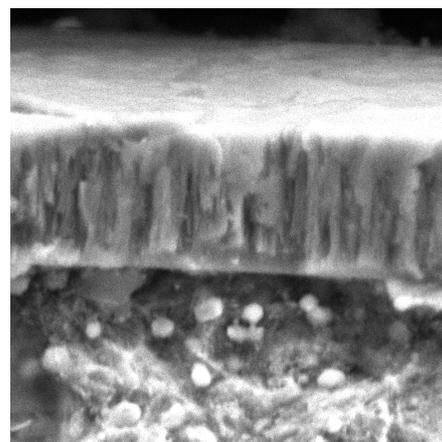
ках проведенного эксперимента установлен оптимальный режим напыления (напряжение смещения 140 В, давление азота в камере 0,04 Па, ток дуги 120 А) с точки зрения формирования наноструктурированного покрытия TiN с поперечным размером зерен ~ 60 нм.



а

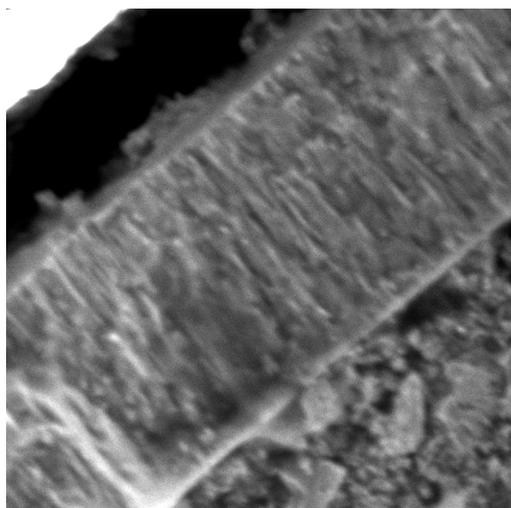


б

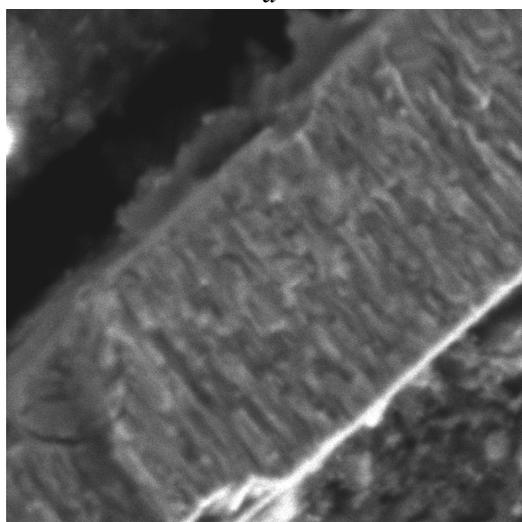


в

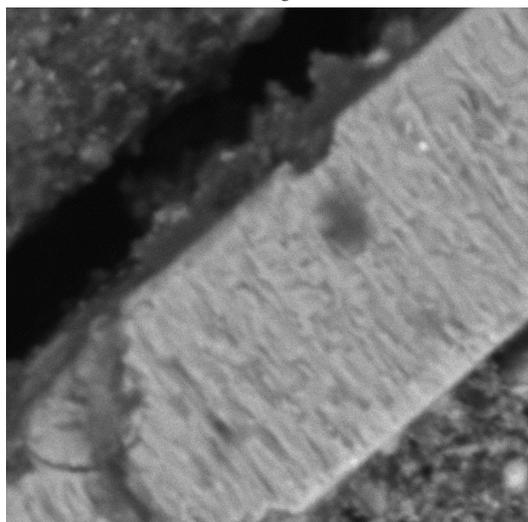
Рис. 2. Покрытие TiN, напыленное по технологическому режиму: опорное напряжение $U=140$ В, давление газа в камере $p=0,06$ Па, ток дуги: а - $I=120$ А; б - 140 А; в - 160 А ($\times 10\ 000$)



а



б



в

Рис. 3. Покрытие TiN, напыленное по технологическому режиму: давление газа в камере $p=0,04$ Па; опорное напряжение $U=140$ В; ток дуги: а - $I=120$ А; б - 140 А; в - 160 А ($\times 10\ 000$)

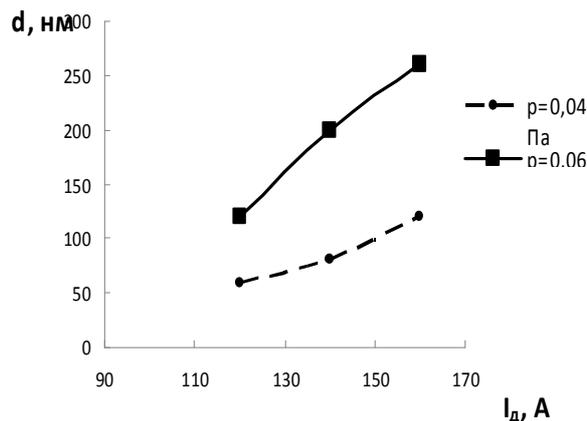


Рис. 4. Зависимости поперечного размера зерен TiN от тока дуги, полученные при разных парциальных давлениях азота в вакуумной камере

На рис. 5 представлены кривые изменения микротвердости покрытий TiN в зависимости от тока дуги при разных парциальных давлениях реакционного газа. Максимальные значения микротвердости H_{μ} зарегистрированы на образцах, полученных при оптимальном режиме напыления и обладающих самой мелкодисперсной микроструктурой. Повышение твердости рабочей поверхности детали за счет ионно-плазменного нанесения покрытия обусловлено межзеренным механизмом упрочнения. С увеличением тока дуги и давления газа в камере установлено снижение микротвердости покрытия.

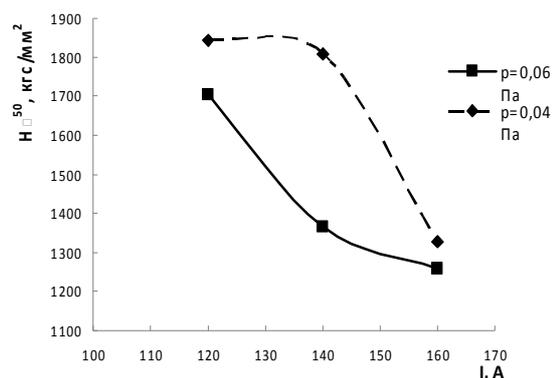


Рис. 5. Зависимости микротвердости покрытий TiN от тока дуги, полученные при разных парциальных давлениях азота в вакуумной камере

Коэффициент трения контактной пары и «Al₂O₃-TiN» в пределах 0,05 - 0,07 в исследуемом диапазоне нагрузок на индентор. Нанесение покрытия TiN приводит к уменьшению коэффициента трения рабочей

поверхности детали в среднем в 1,4 раза и увеличению износостойкости в $\sim 1,5$ раза.

Разработанное покрытие показало эффективное повышение износостойкости поверхностей взаимного контакта пары трения «полуось из ст. ХВГ-кольцо» (при радиальных нагрузках до 50 Н и окружных скоростях до 11 м/с) и внедрено для поверхностного упрочнения полуосей ограничительного подшипника скольжения в машиностроительной отрасли.

Выводы

1. В результате проведенного исследования определен оптимальный режим (на установке ВУ-2МБС) ионно-плазменного напыления TiN ($U_{cm}=140$ В, $P_{N_2}=0,04$ Па, $I_d=120$ А), способствующий формированию износостойкого наноструктурированного покрытия.
2. Разработанная технология внедрена для повышения ресурса высокоскоростных пар трения в машиностроительной отрасли.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки), на основании постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.

Библиографический список

1. Тарасенко, Ю.П. Модификация поверхности скольжения малогабаритных деталей пар трения методом нанесения TiN-покрытия [Текст] / Ю.П. Тарасенко, В.А. Сорокин, Л.А. Кривина // Материалы 47 Международной конференции «Актуальные проблемы прочности», 1-5 июня 2008 г., - Н. Новгород, 2008. - Ч.2. - С.157-159.
2. Тарасенко, Ю.П. Оптимизация режима вакуумного ионно-плазменного напыления покрытия на основе нитрида титана [Текст] / Ю.П. Тарасенко, В.А. Сорокин, Л.А. Кривина // Материаловедение и металлургия: труды НГТУ, 2008. Т.61. - С.118-122.
3. Тарасенко, Ю.П. Субструктура, механические и фрикционные свойства ионно-плазменных покрытий нитрида титана, полученных при разных парциальных давлениях азота [Текст] / Ю.П. Тарасенко, И.Н. Царева, И.Г. Романов // Изв. Академии наук. Сер. физическая 2002. Т.66. №8. - С.1223-1225.

OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGY OF ION-PLASMA COATING OF TITANIUM NITRIDE IN THE SMALL-SIZED THIN-WALLED DETAILS

© 2011 Y. P. Tarasenko, L. A. Krivina, I. N. Tsareva, V. A. Il'ichev

Nizhny Novgorod branch Institutions of the Russian Academy of Sciences
Institute of engineering Sciences A.A.Blagonravova

The influence of technological factors (arc current, the partial pressure of nitrogen) the structure and physico-mechanical properties of ion-plasma coating of titanium nitride. The regularities of formation of nanostructured columnar TiN coatings.

Ion-plasma spraying, the coating of titanium nitride columnar structure, microhardness, friction coefficient, wear resistance.

Информация об авторах

Тарасенко Юрий Павлович, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией «Трибофизики» Нижегородского филиала Учреждения Российской академии наук Института машиноведения имени А.А.Благонравова. Тел: (831)432-01-79. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Область научных интересов: исследование поведения материалов в рабочих и экстремальных условиях, разработка технологий восстановительной термообработки. Нанесение модифицированных полифункциональных покрытий на основе нитрида титана, а также многослойных жаростойких, теплозащитных покрытий на интерметаллидной основе и на основе керамики. Определение надежности работы и продление ресурса деталей ГТД.

Царева Ирина Николаевна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Нижегородского филиала Учреждения Российской академии наук Института машиноведения имени А.А. Благонравова. Тел: (831)432-03-01. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Область научных интересов: анализ поведения материалов в рабочих условиях, разработка

технологий восстановительной термообработки. Исследование модифицированных полифункциональных покрытий на основе нитрида титана, а так же многослойных жаростойких, теплозащитных покрытий на интерметаллидной основе и на основе керамики.

Кривина Людмила Александровна, научный сотрудник Нижегородского филиала Учреждения Российской академии наук Института машиноведения имени А.А. Благонравова. Тел: (831)432-03-01. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Область научных интересов: исследование модифицированных полифункциональных покрытий на основе нитрида титана, анализ их работоспособности во времени, изучение трибологических свойств материалов.

Ильичев Вячеслав Анатольевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Нижегородского филиала Учреждения Российской академии наук Института машиноведения имени А.А. Благонравова. Тел: (831)432-03-01. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Область научных интересов: исследование модифицированных полифункциональных покрытий на основе нитрида титана, анализ их работоспособности во времени, изучение трибологических свойств материалов.

Tarasenko Yuriy Pavlovich, Candidate of Physic – and Mathematic Sciences, Head of Laboratory of Nizhny Novgorod branch Institutions of the Russian Academy of Sciences Institute of mechanical engineering, A.A. Blagonravov (Nizhniy Novgorod). Phone: (831)432-01-79. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Area of Research: study of the behaviour of materials in production and extreme conditions, the development of technologies of regenerative heat treatment. Application of modified Polyfunctional Titanium Nitride coatings, as well as multi-layer coating on heat, heat by intermetallic basis and based on ceramics. The definition of reliability and the extension of the resource details GTD.

Tsareva Irina Nikolaevna, Candidate of Physic – and Mathematic Sciences, senior researcher of the Nizhny Novgorod branch Institutions of the Russian Academy of Sciences Institute of mechanical engineering, A.A. Blagonravov (Nizhniy Novgorod). Phone: (831)432-01-79. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Area of Research: an analysis of the behaviour of materials in the production environment, the development of technologies of regenerative heat treatment. Study of modified Polyfunctional Titanium Nitride coatings, as well as multi-layer coating on heat, heat by intermetallic basis and based on ceramics.

Krivina Lyudmila Aleksandrovna, researcher of the Nizhny Novgorod branch Institutions of the Russian Academy of Sciences Institute of engineering A.A. Blagonravov (Nizhniy Novgorod). Phone: (831)432-01-79. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Area of Research: research of modified Polyfunctional Titanium Nitride coatings, analysis of their efficiency over time. Study of tribological properties of materials.

Иlichev Vyacheslav Anatolevich, Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the Nizhny Novgorod branch Institutions of the Russian Academy of Sciences Institute of engineering A.A. Blagonravov (Nizhniy Novgorod). Phone: (831) 432-01-79. E-mail: tribonikanpc@mail.ru. Area of Research: research of modified Polyfunctional Titanium Nitride coatings, analysis of their efficiency over time. Study of tribological properties of materials.