

ВЛИЯНИЕ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ НА СТРУКТУРУ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЯ TiN

М.Ю. Газизова¹⁾, М.В. Жидков²⁾, Н.А. Смирнов³⁾, С.И. Кудряшов³⁾

¹⁾Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы 85, Белгород 308015, Россия, smolyakovamarina@mail.ru

²⁾ФИЦ ПХФ и МХ РАН,

пр. акад. Семенова 1, Черноголовка 142432, Россия, zhidkov@icp.ac.ru

³⁾Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН,

Ленинский пр. 53, Москва 119991, Россия, smirnovna@lebedev.ru, kudryashovsi@lebedev.ru

Исследовано влияние среды обработки (воздух, дистиллированная вода, спирт) при структурировании поверхности нитрида титана лазером фемтосекундной длительности. Формирование периодических поверхностных структур происходит независимо от среды обработки. При этом модификация TiN на воздухе позволяет сформировать тонкий слой оксида титана – рутила, который предположительно способствует дополнительному снижению коэффициента трения. ФЛО способствует улучшению трибологических свойств, несмотря на незначительное снижение адгезионной прочности покрытия.

Ключевые слова: коэффициент трения; адгезия; нитрид титана; структурирование поверхности; фемтосекундный лазер.

EFFECT OF FEMTOSECOND LASER PROCESSING IN VARIOUS MEDIA ON THE STRUCTURE AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF COATING TiN

M. Gazizova¹⁾, M. Zhidkov²⁾, N. Smirnov³⁾, S. Kudryashov³⁾

¹⁾Belgorod State National Research University,

85 Pobedy Str., 308034 Belgorod, Russia, smolyakovamarina@bsu.edu.ru

²⁾Federal Research Center for Problems of Chemical Physics and Medical Chemistry, Russian Academy of Sciences, 1 Academician Semenov Ave., 142432 Chernogolovka, Russia,
zhidkov@icp.ac.ru

³⁾Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, 53 Leninskiy Ave., 119991 Moscow, Russia, smirnovna@lebedev.ru, kudryashovsi@lebedev.ru

The effect of various medium (air, distilled water, alcohol) has been studied for a titanium nitride coating surface structured by a femtosecond laser. Femtosecond laser processing both in air and in a liquid (alcohol, water) yields to form multilevel periodic reliefs improving tribological properties despite a slight decrease in the adhesion strength between the coating and the substrate. The reduction in the friction coefficient occurs regardless of the processing medium. The minimum friction coefficient was obtained after processing in air, when a thin of titanium oxide (rutile) layer forms on the periodic surface structures.

Keywords: coefficient of friction; adhesion; titanium nitride; surface structuring; femtosecond laser.

Введение

Структурирование поверхности лазером ультракороткой длительности с целью получения низких/сверхнизких значений коэффициента трения в первую очередь показало себя эффективным подходом для объемных материалов [1]. Следующим этапом развития технологии мо-

дификации поверхности лазером стало применение данной методики для обработки покрытий, что позволило с сохранением свойств покрытий (твёрдости, износостойкости, коррозионной стойкости) придать им целый комплекс новых (гидрофильность/гидрофобность, антифрик-

ционность, повышение адгезионной прочности и др.) [2, 3].

В рамках данной работы были проведены исследования влияния среды обработки (воздух, вода, спирт) при модификации поверхности покрытия нитрида титана фемтосекундным лазером на структуру, фазовый состав, а также трибологические свойства.

Основная часть

С использованием автоматизированной вакуумной ионно-плазменной установки «КВИНТА» методом вакуумно-дугового осаждения с плазменным ассистированием на поверхность технически чистого титана BT1-0 наносилось покрытие TiN [4]. Последующее структурирование поверхности TiN проводилось при помощи фемтосекундного лазера с энергией 5,4 мкДж в трех средах: на воздухе, в дистиллированной воде и в этиловом спирте.

Изменение адгезионной прочности до и после фемтосекундной лазерной обработки (ФЛО) контролировалось скретч-методом при помощи установки REVET-EST CSM Instruments с возрастающей нагрузкой на индентор от 0,9 Н до 50 Н со скоростью 1 мм/мин и длиной царапины 10 мм. Исследование трибологических свойств проводилось по схеме «пин-диск» в режиме трения со смазкой для режущего инструмента. В качестве контртела был выбран цилиндр диаметром 6 мм из стали 100Cr6. Нагрузка на контртело составляла 1Н, скорость трения 15 см/с и путь 750 м.

ФЛО не зависимо от выбранной среды обработки позволяет сформировать на поверхности покрытия периодические поверхностные структуры. Исследование структурно-фазового состояния показали, что ФЛО не приводит к структурно-фазовым изменениям в объеме покрытия (рис.1 а). Однако, на поверхности образцов, облученных на воздухе, происходит формирование тонкого слоя оксидов титана (рис. 1 б). Стоит отметить, что эти слои, не определяются с помощью рентгеновского фазового анализа (РФА) из-за

своей малой толщины. Данные рамановской спектроскопии подтверждают результаты ПЭМ о формировании оксидов на поверхности нитрида титана. Так, на поверхности образца после структурирования на воздухе формируется оксид титана - рутил, а при смене среды обработки на спирт, окисление поверхности не происходит.

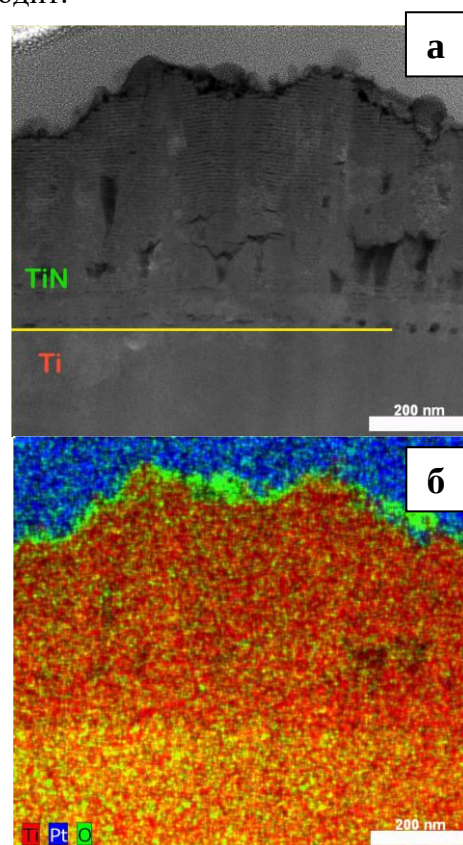


Рис. 1. Микроструктура поперечного сечения покрытия TiN после ФЛО на воздухе: а – изображение ПЭМ; б – карта распределения химических элементов

Адгезионная прочность покрытия после структурирования поверхности показала тенденцию к снижению в сравнении с исходным состоянием TiN. Так, первые трещины для необработанного нитрида титана возникли при 8.8 Н, а полное отслоение покрытия произошло при 16.5 Н. В сравнении с состоянием, обработанным на воздухе, где первые трещины формируются при 4.5 Н, а полное разрушение наступает при 13.3 Н, происходит явное снижение адгезии. Структурирование в спирте и в воде позволяет повысить кри-

тическую нагрузку, при которой происходит разрушение покрытия до 17.7 Н и 14.4 Н, соответственно. Стоит отметить, что несмотря на то, что разрушение покрытия для обработанного в воде состояния происходит при большей нагрузке, чем для исходного, появление первых трещин характеризуется меньшей нагрузкой – 6.0 Н.

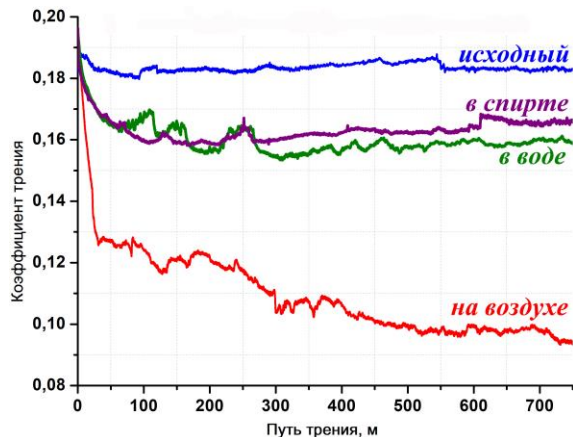


Рис. 2. Зависимость изменения коэффициент трения от пути трения для покрытия TiN после ФЛО в различных средах

Исследования износостойкости показали, что ФЛО позволяет снизить коэффициент трения независимо от среды обработки (рис. 2). Минимальный коэффициент трения 0,09 соответствует режиму модификации на воздухе. Стоит отметить, что зависимость изменения коэффициента трения имела тенденцию к снижению даже по истечению пути трения 1000 м. Этап приработки не был еще пройден и дальнейшее увеличение пути трения, позволило бы получить еще более низкий коэффициент трения. Модификация нитрида титана лазером в воде и в спирте привела к росту коэффициента трения (рис. 2). Износ покрытия не выявлен для всех исследуемых состояний после ФЛО.

Согласно литературным данным, формирование оксидов титана может снизить μ коэффициент трения в соответствии со следующей зависимостью для оксидов и нитридов титана: $\mu(\text{TiO}_2) < \mu(\text{Ti}_2\text{N}) < \mu(\text{TiN}) < \mu(\text{Ti})$ [3]. Также J.Bonse с соавторами предположили, что оксиды с несте-

хиометрическим составом обладают более низким значением коэффициента трения. Выдвинутая теория хорошо описывает полученные в рамках данных исследований результаты, где минимальный коэффициент трения соответствует состоянию с тонким слоем оксидов на поверхности периодических структур.

Заключение

Модификация поверхности покрытия TiN фемтосекундным лазером, как на воздухе, так и в жидкости (спирте, воде) позволяет сформировать многоуровневый периодический рельеф, обеспечивающий улучшение трибологических характеристик несмотря на незначительное снижение адгезионной прочности покрытия к подложке. Снижение коэффициента трения происходит независимо от среды обработки. Минимальное значение коэффициента трения соответствует режиму обработки на воздухе, который позволяет дополнительно на поверхности периодических структур сформировать тонкий слой оксида титана (рутила).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-79-00295).

Библиографические ссылки

1. Wang Z., Zhao Q., Wang Ch. Reduction of Friction of Metals Using Laser-Induced Periodic Surface Nanostructures. *Micromachines* 2015; 6(11): 1606-1616.
2. Gazizova M.Yu., Smirnov N.A., Kudryashov S.I., Shugurov V.V. The effect of femtosecond laser treatment on the tribological properties of titanium nitride. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Micromachines* 2020; 862: 022054.
3. Bonse J., Sturm H., Schmidt D., Kautek W. Chemical, morphological and accumulation phenomena in ultrashort laser ablation of TiN in air. *Applied Physics A* 2000; 71: 657-665.
4. Shugurov V.V., Koval N.N., Krysina O.V., Prokopenko N.A. QUINTA equipment for ion-plasma modification of materials and products surface and vacuum arc plasma-assisted deposition of coatings. *Journal of Physics: Conference Series* 2019; 139331.