

МОДИФИКАЦИЯ СПЛАВА ВТ₆ КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ

Н. Н. Черенда¹, А. П. Ласковнев², А. В. Басалай², В. И. Шиманский¹,
В. В. Углов¹, В. М. Асташинский³, А. М. Кузьмицкий³, А. Ю. Изобелло²

¹Белорусский государственный университет
220030, Беларусь, Минск, пр. Независимости 4, cherenda@bsu.by

²ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»
220141, Беларусь, Минск, ул. Купrevича 10, anna.basalay@mail.ru

³Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси
220072, Беларусь, Минск, ул. П. Бровки 15, ast@hmti.ac.by

В работе показана возможность применения новых комплексных высокоэффективных технологий обработки, которые позволяющие обеспечить в узлах трения высокую коррозионную стойкость в биологической среде организма и высокую износостойкость.

Благодаря своим свойствам (твердости, прочности, коррозионной стойкости и биосовместимости) титан и его сплавы находят широкое применение в авиационной, космической, кораблестроительной, медицинской и других сферах производства [1]. В настоящее время титан и его сплавы широко применяются для создания имплантатов. Наиболее широкое применение в качестве компонентов эндопротеза нашел сплав титана ВТ₆, который обладает комплексом биохимических и физико-механических свойств, удовлетворяющих медико-техническим требованиям. Однако высокое значение коэффициента трения и низкая износостойкость не позволяют использовать титан в парах трения. Данные недостатки могут быть устранены применением новых комплексных высокоэффективных технологий обработки [2], которые позволят обеспечить в узлах трения высокую коррозионную стойкость в биологической среде организма и высокую износостойкость.

В настоящее время эффективным способом модификации свойств поверхности титановых сплавов является обработка концентрированными потоками энергии, в частности, компрессионными плазменными потоками (КПП) [2]. Улучшение физико-механических свойств связано с процессами протекающими при взаимодействии плазмы с поверхностью (сверхбыстрый нагрев до температуры, превышающей температуру плавления, и охлаждение со скоростью порядка 10^7 К/с), что приводит к изменению структуры поверхностного слоя толщиной порядка нескольких десятков микрон. Кроме того, воздействие КПП сопровождается легированием поверхности атомами плазмообразующего газа (азота).

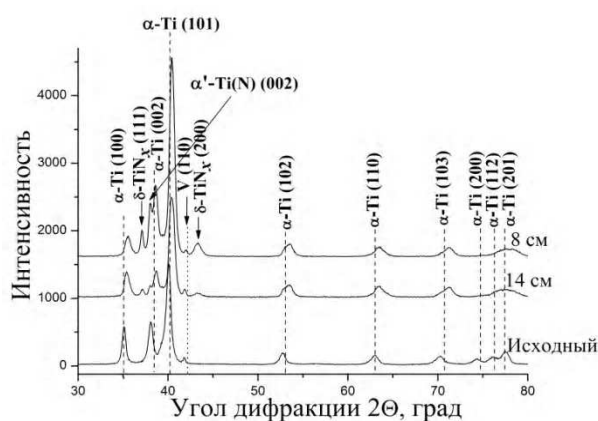
Целью работы являлось исследование влияния воздействия КПП на фазовый состав, микротвердость и коэффициент трения поверхностного слоя титанового сплава ВТ₆.

Обработка образцов сплава ВТ₆ тремя импульсами КПП осуществлялась в газоразрядном магнетроновом компрессоре компактной геометрии в атмосфере азота. Образцы в камере располагались на расстоянии 8 и 14 см от среза внутреннего электрода. Увеличение расстояния приводит к уменьшению плотности энергии, поглощаемой поверхностью образца, значения которой, согласно данным калориметрических измерений, составляют 23 и 10 Дж/см².

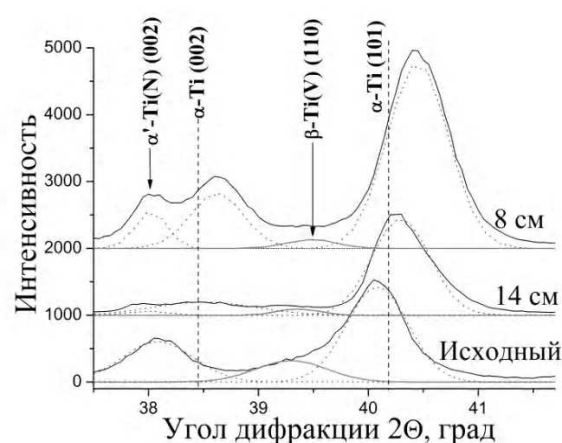
Фазовый состав исследовался методом рентгеноструктурного анализа с помощью дифрактометра RIGAKU Ultima IV с фокусировкой по Брэггу – Брентано в $\text{CuK}\alpha$ -излучении. Микротвердость исследуемых образцов измерялась на приборе ПМТ-3 при нагрузке 1 Н. Трибологические испытания проводились на установке ТАУ-1М (по схеме «палец – плоскость») при возвратно-поступательном движении индентора. Нагрузка на индентор составляла 1 Н.

На рис. 1 представлены участки дифрактограмм образцов сплава ВТ₆ до и после обработки КПП. Анализ дифрактограммы исходного образца показал наличие дифракционных линий α -Ti и линий β -Ti слабой интенсивности (рис. 1, б). Кроме того, наблюдается дифракционная линия при $2\theta = 41.9^\circ$, которая может быть идентифицирована как линия ванадия (110).

Воздействие КПП на образцы сплава ВТ₆ приводит к формированию нитрида титана $\delta\text{-TiN}_x$ в поверхностном слое в результате взаимодействия с атомами плазмообразующего газа.



а



б

Рис. 1. Участки дифрактограмм образцов сплава ВТ₆ до — и после воздействия КПП при разной плотности поглощенной энергии

С увеличением плотности поглощенной энергии наблюдается увеличение относительной интенсивности линий δ -Ti_x. После воздействия КПП на дифрактограммах также наблюдаются появление дифракционных линий мартенситной α' -Ti фазы (рис. 1, б), интенсивность которой увеличивается с ростом плотности поглощенной энергии. Согласно [2], она может быть отнесена к твердому раствору внедрения α' -Ti(N), формирующемуся в результате сверхбыстрого остывания из β -области при недостатке атомов азота для формирования нитрида титана. Сравнение относительных интенсивностей дифракционной линии β -фазы, показывает, что увеличение плотности поглощенной энергии приводит к снижению объемной доли β -Ti в анализируемом слое.

Модификация поверхности сплава ВТ₆ под действием КПП приводит к увеличению микро-

твердости (рис. 2). Это может быть обусловлено вкладом нескольких факторов: формированием нитрида титана, изменением количественного содержания β -Ti, а также, как показали ранее проведенные исследования [2], диспергированием структуры поверхностного слоя. С увеличением плотности поглощенной энергии микротвердость поверхностного слоя исследуемых образцов падает, что коррелирует со снижением объемной доли β -Ti.

Проведенные трибологические испытания показали (рис. 3), что обработка КПП приводит к уменьшению коэффициента трения по сравнению с исходным образцом. Возможной причиной уменьшения коэффициента трения может являться повышение микротвердости [3]. Согласно данным фазового анализа, увеличение плотности поглощенной энергии приводит к снижению относительного содержания β -Ti. Вероятно, имен-

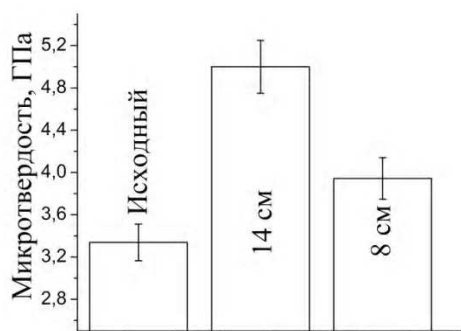


Рис. 2. Средние значения микротвердости на поверхности исходного образца и поверхности образцов, обработанной КПП

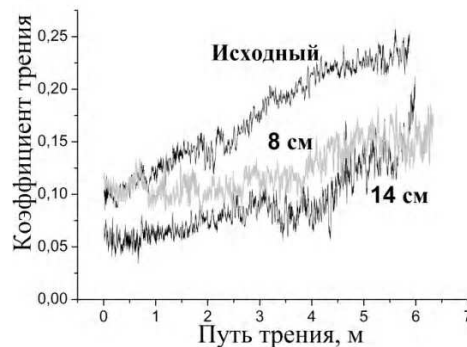


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения от длины пути трения в исходном образце и образцах, обработанных КПП

но эта фаза оказывает преимущественное влияние на механические свойства поверхностного слоя.

Обработка КПП образцов титанового сплава ВТ6 приводит к изменению фазового состава и механических свойств поверхностного слоя. Установлено формирование нитрида титана $\delta\text{-TiN}_x$ и мартенситной фазы $\alpha''\text{-Ti(N)}$. Модификация поверхности позволяет увеличить микротвердость в 1.5 раза и уменьшить коэффициент трения в 2 раза по сравнению с исходным образцом.

Литература

1. Liu X., Chu P.K., Ding Ch. Surface modification of titanium, titanium alloys and related materials for biomedical applications // Mater. Sci. and Eng. R. 2004. V. 47. P. 49 – 121.
2. Азотирование поверхностного слоя стали и титана компрессионными плазменными потоками / Н.Н. Черенда, В. И. Шиманский, В. В. Углов и др. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2012. № 4. С. 35 – 42.
3. Беркович И. И., Громаковский Д. Г. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения: учебник для вузов. – Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2000. 268 с.