

В целом можно отметить, что режущие свойства опытной TiN керамики удовлетворительные; стойкость на низких скоростях резания сравнима со стойкостью оксидно-карбидной керамики, что свидетельствует о принципиальной возможности применения данного способа синтеза порошка и спекания пластин для получения режущего инструмента. Худшие показатели износостойкости на более высоких скоростях, а также замеченные неоднородности материала по сечению, требуют дальнейших работ по коррекции состава исходного порошка и поиску оптимальных режимов спекания.

Литература.

1. Bulk titanium nitride material obtained from SHS starting powder: Densification, mechanical characterization and tribological approach. J. Russias, S. Cardinal, J. Fontaine, G. Fantozzi, C. Esnouf, K. Bienvenu. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials - INT J REFRACT MET HARD MATER 01/2005; 23(4):344-349. DOI:10.1016/j.ijrmhm.2005.05.013
2. Mechanical properties of bulk sintered titanium nitride ceramics. Kuwahara, Hideyuki; Mazaki, Naoko; Takahashi, Makoto; Watanabe, Tomotaro; Yang, Xu; Aizawa, Tatsuhiko. Materials Science and Engineering: A vol. 319-321 December, 2001. p. 687 – 691
3. О возможности реализации полного цикла получения объемного поликристаллического нитрида титана с субмикронной структурой плазмодинамическими методами / А. А. Евдокимов [и др.] // Известия вузов. Физика. - 2012. - Т. 55, № 9. - С. 8-14

#### **ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИИ «МЕТАЛ-ПОЛИМЕР» НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА**

*В.А. Клименов\**, д.т.н., профессор, *К.В. Зайцев\*\**, к.т.н., доцент, *В.Ю. Борозна\*\*\**, к.т.н., ведущий инженер \*\*Томский государственный архитектурно-строительный университет  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2

*\*\* Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, (38451)-6-22-48  
E-mail: zaitsev81@rambler.ru*

*\*\*\*Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа  
634027, г. Томск, пр. Мира, 72*

В начале XX века на смену имплантатам из высококачественных нержавеющей сталей пришли легкие и прочные титановые имплантаты. Использование в тканях организма человека титановых имплантатов является одной из актуальных проблем современной техники и медицины. Титан и сплавы на его основе являются распространенными конструкционными материалами при производстве различных медицинских изделий. Широкое использование титановых имплантатов обусловлено его отличительными свойствами такими как, сравнительно низкий модуль упругости, высокая удельная прочность, а главное хорошая биосовместимость с тканями организма [1, 2].

Как показала многолетняя практика применения титановых имплантатов, их физико-механические характеристики не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым к изделиям, рассчитанным на длительный срок эксплуатации в условиях циклических нагрузок, трения и коррозии. Эффективным способом повышения стойкости к воздействию агрессивных сред с одновременным повышением износостойкости является нанесение полимерных покрытий [3–8]. Однако в медицине должны использоваться разрешенные для применения в живых организмах биосовместимые полимеры [9–11], одним из которых является политетрафторэтилен или принятое в России техническое название – фторопласт. Фторопластовые покрытия, получаемые известными способами, обладают низкими адгезионными свойствами и имеют не высокую несущую способность.

В связи с вышесказанным, целью работы являлось разработка способа формирования металл-полимерного фторопластового слоя на поверхности титановых сплавов с использованием ультразвуковой обработки.

В качестве материала основы был выбран технически чистый титан марки ВТ1-0 и титановый сплав ВТ6 в состоянии поставки. В качестве материала для формирования композиции использовался порошок фторопласта под торговой маркой «Флуралит» с размером частиц от 0,2 до 5 микрон, на концах молекул отсутствуют кислотные остатки и другие включения. Подготовка поверхностей образцов для нанесения порошка фторопласта осуществлялась точением их цилиндрических и торцевых поверхностей. Полимерный порошок наносился на поверхность образцов методом погружения в

емкость с порошком насыпной плотности. Для ультразвуковой обработки использовался ультразвуковой технологический комплект УЗТК-02, состоящий из ультразвукового генератора УЗГ-02/22 с рабочей частотой 18–23 кГц. Схема ультразвуковой обработки поверхности представлена на рисунке 1.

На поверхности образцов в результате предварительной токарной обработки был сформирован регулярный микрорельеф, представляющий собой последовательное чередование выступов и впадин определенной высоты [12, 13]. Формирование подобного микрорельефа поверхности является принципиально необходимой частью предлагаемого метода получения композиции «металл-полимер» на поверхности титановых образцов. Он позволяет удерживать частицы порошка во впадинах шероховатости в процессе последующей ультразвуковой обработки (рис. 1 а).

В результате высокоэнергетического воздействия при ультразвуковой обработке происходит интенсивное деформирование выступов шероховатости и консолидация порошка фторопласта. Формируется специфическая поверхность (рис. 1 б), представляющая собой композитный полимерный слой, состояние которого, при прочих равных условиях, существенно зависит от исходной шероховатости поверхности.

При исходной шероховатости поверхности ( $Rz < 20 \text{ мкм}$ ), закрепления порошка фторопласта во впадинах шероховатости не происходит. После ультразвуковой обработки таких поверхностей прирост значений микротвёрдости составляет для ВТ1-0 – 30%, для ВТ-6 – 20%. Значения исходной микротвёрдости для титанового сплава ВТ1-0 составляли  $2400 \pm 100 \text{ Мпа}$ , а для сплава ВТ-6  $4000 \pm 200 \text{ Мпа}$ . При исходной шероховатости поверхности ( $Rz 20\text{--}40 \text{ мкм}$ ) прирост значений микротвёрдости для сплавов ВТ1-0 и ВТ-6 составляет до 70% и 30% соответственно.

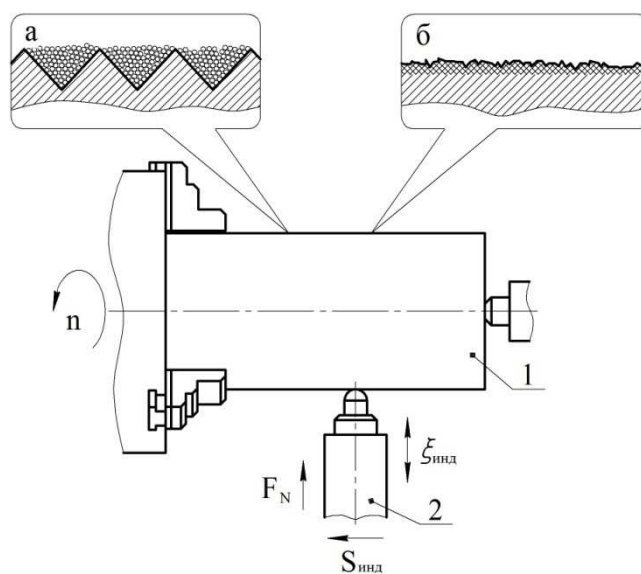


Рис. 1. Схема ультразвуковой обработки: а – поверхность после предварительной обработки; б – поверхность после ультразвуковой обработки; 1 – заготовка; 2 – инструмент

При этом на поверхности присутствуют отдельные области композитного покрытия. При исходной шероховатости поверхности ( $Rz 40\text{--}80 \text{ мкм}$ ) наблюдался незначительный прирост значений микротвёрдости для сплава ВТ1-0 и ВТ6-0 – 17%. На обработанных поверхностях равномерно сформирован композиционный слой.

Методом инфракрасной спектроскопии в области спектра ( $4000\text{--}400 \text{ см}^{-1}$ ) исследовался состав сформированного поверхностного слоя после ультразвуковой обработки. Исследования проводились на инфракрасном Фурье спектрометре Nicolet 5700, идентификация веществ по инфракрасным спектрам осуществлялась сравнением полного инфракрасного спектра анализируемого образца со спектрами, имеющимися в электронной библиотеке, атласах, а также со спектрами эталонов. В спектре композита, (на рисунке 2 обозначено – I), четко просматриваются, хотя и несколько уширенные, основные полосы спектра политетрафторэтилена в области  $1100\text{--}1200 \text{ см}^{-1}$ . В то же время, заметно уменьшается интенсивность полос, связанных с кристаллическостью политетрафторэтилена – область  $500\text{--}650 \text{ см}^{-1}$  [14]. Очевидно, что политетрафторэтилен в композите сохраняется, однако ультразву-

ковая обработка приводит к изменению супрамолекулярного строения полимера, в частности уменьшается кристалличность.

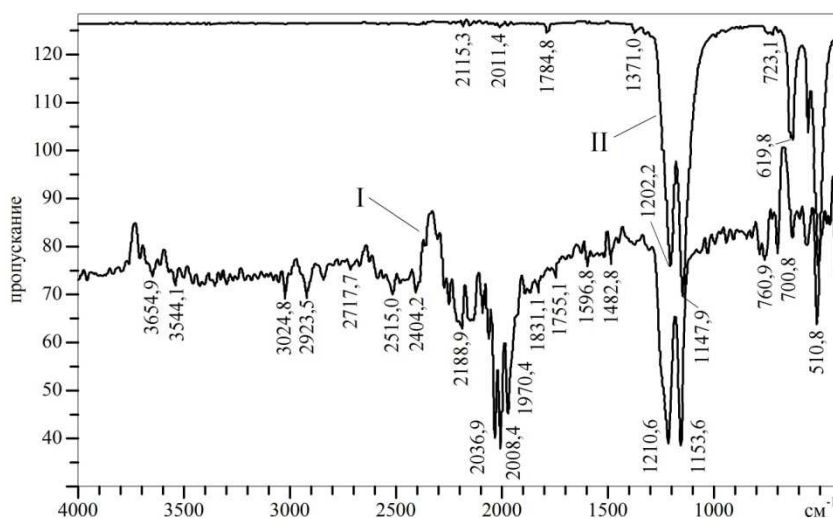


Рис. 2 Результаты исследования композиции «метал-полимер» методом инфракрасной спектроскопии

Исследование образцов на износостойкость проводилось на комплексе PC-Controlled High Temperature Tribometer ТНТ-S-AX0000 в режиме трения без смазочного материала по схеме «шарик-индентор – вращающийся диск». Величина коэффициента трения определялась при линейной скорости 5 см/с, нагрузка на индентор составляла 3 Н, длина пути скольжения 100 м. Использовался твёрдосплавный индентор диаметром 3 мм. Износ образцов оценивался по площади поперечного сечения трека после износа на профилометрическом комплексе «MICRO MEASURE 3D station». Для исследования коэффициента трения поверхности и износостойкости были подготовлены три группы образцов: с полимерным композитным слоем, обработанные только ультразвуком выглаживанием и шлифованные. Шероховатость поверхности всех трёх групп образцов была одинаковой.

На рис. 3 представлены зависимости коэффициента трения  $\mu$  исследуемых образцов от продолжительности трибологических испытаний. Характер изнашивания поверхности, представленный в виде графика зависимости коэффициента трения  $\mu$  от длины пробега  $L$  индентора, показывает, что весь путь износа можно разделить на три участка. Участок приработки, на котором происходит быстрое повышение коэффициента трения. Участок износа композиционного слоя, на котором наблюдается плавное повышение коэффициента трения. Участок износа основного материала с установившимся коэффициентом трения.

На начальных стадиях испытаний образец из титанового сплава ВТ1-0 с композитным слоем имеет низкую интенсивность изнашивания, что характеризуется пониженным коэффициентом трения ( $\mu \approx 0,1-0,2$ ). Коэффициенты трения поверхностей, обработанные ультразвуковым выглаживанием без порошка фторопласта и обработанные шлифованием заметно больше. На начальных стадиях составляют  $\mu \approx 0,35$  и  $\mu \approx 0,45$ , соответственно. Очевидно трибологическое достоинство фторполимерного композита, в сравнении с металлической поверхностью. По мере увеличения износа и истирания композиционного слоя коэффициенты трения всех поверхностей возрастают до значений, отвечающих исходному состоянию материала. У шлифованного образца (ВТ1-0) коэффициент трения на втором участке незначителен. Так как сплав ВТ1-0 имеет низкую твердость и склонен к упрочнению, то данный факт можно объяснить тем, что при трении без смазочного материала происходит интенсивное пластическое деформирование поверхностных слоев контактирующих тел [15–17]. Степень пластической деформации при трении может достигать  $10^2-10^3$  [18].

У титанового сплава ВТ6 наблюдаются те же закономерности. На начальных стадиях испытаний образец имеет весьма низкую интенсивность изнашивания ( $\mu \approx 0,1-0,2$ ). Коэффициенты трения поверхностей образцов обработанных ультразвуковым выглаживанием без нанесения порошка фторопласта и образцов, обработанных шлифованием, также заметно больше и на начальных стадиях составляют  $\mu \approx 0,3$  и  $\mu \approx 0,4$  соответственно. По мере увеличения пути износа и истирания компози-

ционного слоя коэффициенты трения всех поверхностей возрастают до значений, отвечающих исходному состоянию материала.

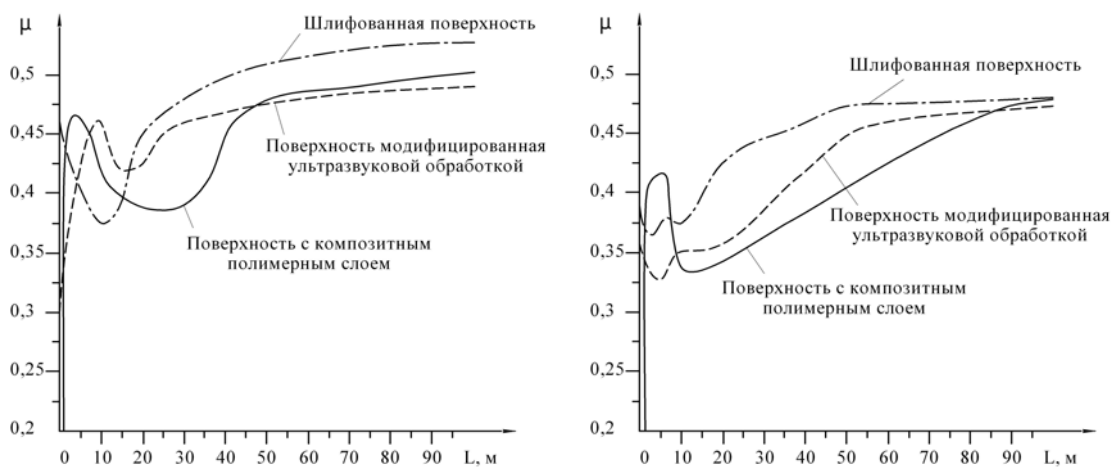


Рис. 3. Зависимости коэффициента трения от продолжительности триботехнических испытаний:  
а – сплав VT1-0; б – сплав VT6

Представлено изображение (рис. 4 а, рис. 4 б) канавок износа поверхностей для сплава VT1-0 и VT6 соответственно. Поверхность канавки (рис. 4 а) для сплава VT1-0 представляет собой последовательное чередование углублений и выступов. Износ этой поверхности носит не равномерный характер в силу его высокой вязкости. Поверхность канавки износа (рис. 4 б) для сплава VT6 является более правильной формы.

Износостойкость образцов обработанных шлифованием для сплавов VT1-0 и VT6 существенно ниже износостойкости образцов, подвергнутых ультразвуковой обработке. Так при вдвое меньшей длине пробега индентора по поверхности образцов обработанных шлифованием площадь поперечного сечения образовавшейся на поверхности канавки износа существенно больше. У образцов с композитным полимерным слоем и образцов, обработанных только ультразвуковым выглаживанием, максимальная глубина канавки износа одинаковая. Однако площади поперечного сечения канавок износа различны и наименьшей площадью сечения обладают образцы с композитным полимерным слоем, что свидетельствует об их меньшем износе.

Методом ультразвукового воздействия на поверхность титановых сплавов с нанесенным слоем ультрадисперсного фторполимерного порошка получены композитные слои типа композиция «металл-полимер». В результате ультразвукового воздействия в приповерхностном слое происходит образование материала титановой основы с полимерным порошком, что будет способствовать адгезии полимерных покрытий, на титановых сплавах.

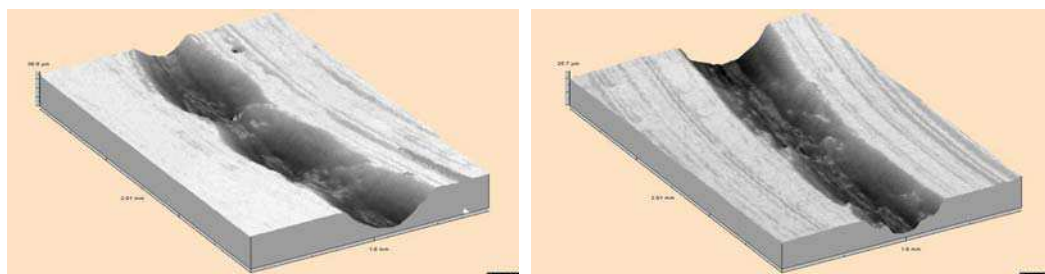


Рис. 4. Канавки износа поверхностей образцов с композиционным слоем:  
а – сплав VT1-0; б – сплав VT6

В процессе воздействие индентора при ультразвуковой обработке на поверхность образцов в присутствии и без полимерного материала происходит модифицирование структуры поверхностного слоя титана, приводящее к увеличению микротвердости.

Коэффициент трения образцов с композитным полимерным слоем существенно ниже, чем у образцов обработанных шлифованием и ультразвуковым выравниванием и составляет  $\mu \approx 0,1-0,2$ . Износостойкость титановых сплавов с композитным полимерным слоем повышается, их трибологические свойства улучшаются. Такие материалы могут быть рекомендованы для конструирования пар трения. Предлагаемая технология может быть реализована для улучшения свойств изделий из других металлов.

Литература.

1. Ильин А.А., Карпов В.Н., Мамонов А.М., Коллеров М.Ю. Применение титана и материалов на его основе в медицине // *Ti – 2006 в СНГ*, 2006. С. 324-327.
2. Ильин А.А., Скворцова С.В., Мамонов А.М. и др. Применение титана и его сплавов в медицине // *Перспективные технологии легких и специальных сплавов*. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. С. 399-408.
3. Гимаев И.Е., Гвоздев А.А. Повышение ресурса узлов трения при ремонте и изготовлении машин с использованием металлополимерных композиций // *Сб. науч. тр. ГНУ ГОСНИТИ*, Т. 105.-М.: ГОСНИТИ, 2010. С. 141-144.
4. Гвоздев А.А., Чернов Ю.И., Герасимов А.И. Повышение ресурса узлов трения при ремонте и изготовлении сельскохозяйственной техники с использованием полимерных композиций // *Сб. науч. тр. Кубанского ГАУ, серия: АГРОИНЖЕНЕР*. – Краснодар: КубГАУ, 2008, №1, С. 90-91.
5. Истомин Н.П., Семенов А.П. Антифрикционные свойства композиционных материалов на основе фторполимеров. – М.: Наука, 1981. – 148с.
6. Полимеры в узлах трения машин и приборов: Справочник / Чичинадзе А.В. – 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: машиностроение, 1988. – 328с. Ил.
7. Chpman E.M. Propertis and applications of reinforced Teflon. – *Mach. Desing*, 1958, vol. 30, p. 148-154.
8. Jjurin A.S. Use of TEE, and ist derivatives in antifriction bearing components. – *ModPlast.*, 1965, vol. 43, №1, p. 178-244.
9. Лаппо В.Г. Современные проблемы токсикологии полимерных материалов для медицины // *Синтетические полимеры медицинского назначения*. – Ташкент, 1984. – С. 25- 40.
10. Платэ Н.А. Полимеры для медицины // *Наука в СССР*, 1986, № 1, С. 2-9.
11. Полимеры медицинского назначения: Пер. с япон. / Под ред. С. Манабу.- М.: Медицина, 1981. – 248 с.
12. Klimentov V.A., Kovalevskaya Zn.G., Borozna V.Yu., Sun Zeming, Zhu Qifang. Nanocrystallization surface treatment of titanium alloys // *RARE METALS Vol. 28, Spec. Issue, Oct 2009*, p. 195-198.
13. Klimentov V.A., Borozna V.Yu., Zaitsev K.V. Influence of ultrasonic superficial processing on properties of titanic alloys // *18th International Metallurgical and Materials Conference, Hradec nad Moravici, Czech Republic, 2009*. P. 243-248.
14. Игнатъева Л.Н., Бузник В.М. ИК-спектроскопическое исследование политетрафторэтилена и его модифицированных форм // *Российский химический журнал*. 2008. Т. 52. №3. С. 139-146.
15. Панин А.В. Особенности пластической деформации и разрушения технического титана и малоуглеродистой стали, подвергнутых ультразвуковой обработке // *Физика металлов и металловедение*. 2004, том 98. № 1, С. 109-118.
16. Панин А.В., Панин В.Е., Почивалов Ю.И. и др. Особенности локализации деформации и механического поведения титана ВТ1-0 в различных структурных состояниях // *Физ. мезомех.* – 2002. – Т. 5. – № 4. – С. 73-84.
17. Овчеренко В.Е., Иванов Ю.Ф. Трибологические свойства наноструктурированной поверхности металлокерамического сплава на основе карбида титана. // *Известия Томского политехнического университета*. 2008. Т. 313. №2. С. 114-118.
18. Марков Д.П., Келли Д. Адгезионно-инициируемые типы катастрофического изнашивания // *Трение и износ*. – 2002 (23), №5. С. 483-493.