

# СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ TiNiTa ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ГАЗОПЛАМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Русинов П.О., Бледнова Ж.М.

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия  
[ruspiter5@mail.ru](mailto:ruspiter5@mail.ru), [blednova@mail.ru](mailto:blednova@mail.ru)

Рассмотрены структурно-механические свойства поверхностно-модифицированного слоя с эффектом памяти формы TiNiTa на стали 45, включающего высокоскоростное газопламенное нанесение механически активированного порошка и последующую двухступенчатую термомеханическую обработку с промежуточным отжигом.

## Введение

В настоящее время технологии, использующие высокотемпературные наноструктурированные сплавы с эффектом памяти формы (ЭПФ), являются интенсивно развивающейся и самостоятельной областью современного материаловедения, которая по объему вкладываемого капитала, выходит на многомиллиардные обороты, поскольку безусловна их актуальность для таких областей производства, как авиа- и автомобилестроение, медицина, приборо- и машиностроение, космическая техника и т.п. На данном этапе в области машиностроения наибольший интерес представляют комплексные исследования структуры массивных поверхностно модифицированных слоев из сплавов с высокотемпературным ЭПФ, обеспечивающих функционально-механические характеристики объемного материала с памятью, доведенных до уровня, приемлемого для практического использования в деталях машин и элементах конструкций [1-6].

Целью настоящей работы является исследование структурно-механических свойств поверхностно-модифицированных слоев, содержащих сплав с ЭПФ TiNiTa, нанесенных методом высокоскоростного газопламенного напыления на сталь 45.

## Результаты исследований и их обсуждение

При механоактивации порошка с ЭПФ ПН43Т26Тан31 происходит его дробление и пластическое деформирование. Порошинки ПН43Т26Тан31 после механоактивации представляют собой плоские диски размером от 10 до 30 мкм (Рис.1). В качестве основы использовались, сталь 45. Нанесение покрытия осуществлялось на модернизированной универсальной установке GLC-720 с углом наклона горелки 46-50°, в защитной атмосфере (среда аргона).

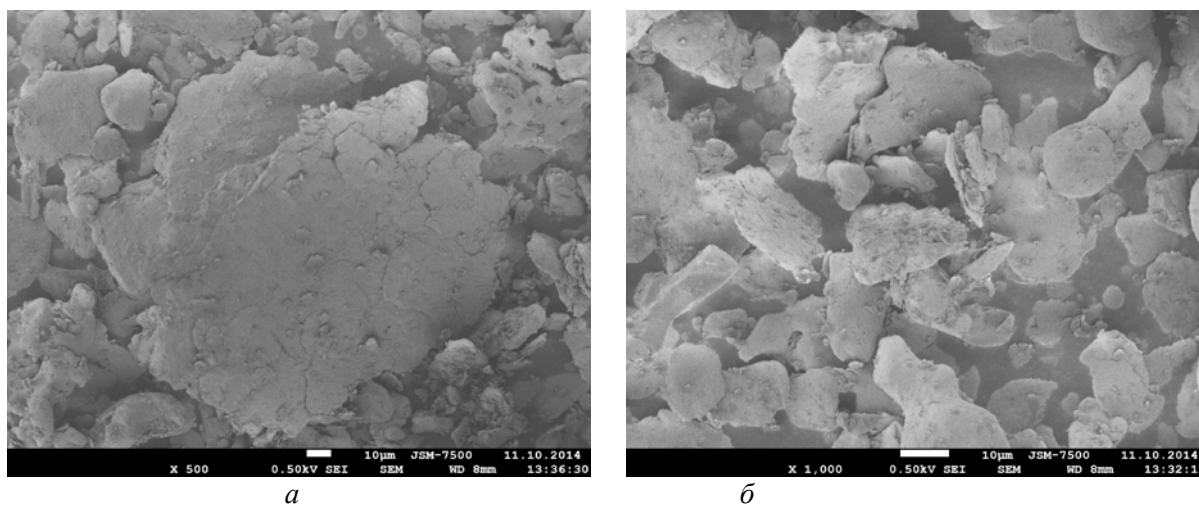
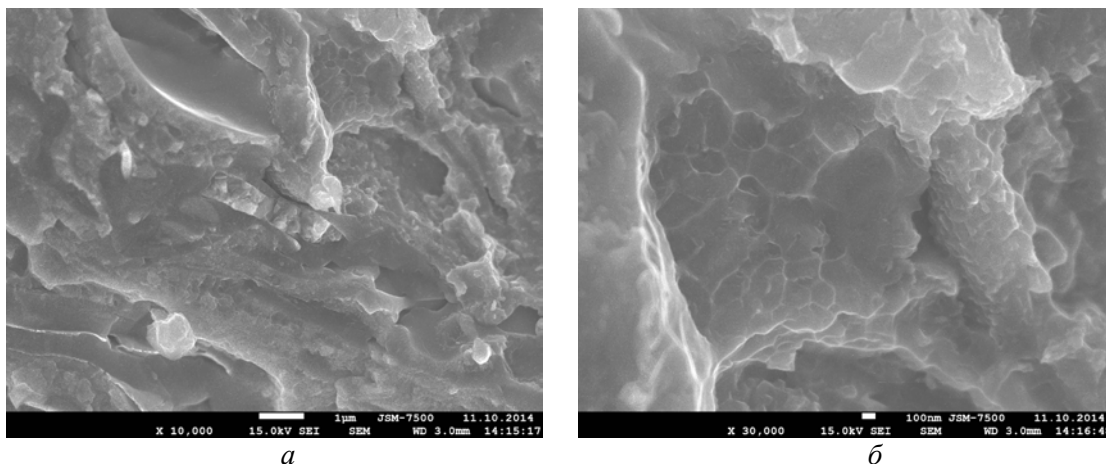


Рис.1. Механически активированный порошок TiNiTa, в атриторе в течение 0,5ч,  $\times 500$  – (а);  $\times 1000$  – (б)

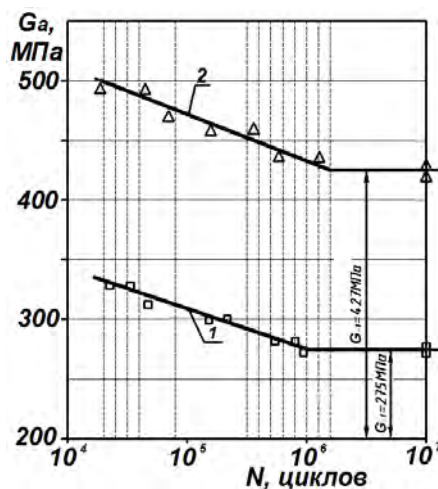
Исследования показали, что структура покрытия достаточно плотная, с минимальным содержанием и размером пор в покрытии с ЭПФ TiNiTa. Граница раздела между покрытием и основой без видимых трещин. Как показал металлографический анализ, структура формируемых в результате высокоскоростного газопламенного напыления слоев сплава TiNiTa имеет крайне слабую травимость обычными реактивами вследствие сильного измельчения зерна в результате высокой скорости соударения частиц с подложкой и высокой скорости их охлаждения. Полученное TiNiTa покрытие имеет наноразмерную структуру с размером зерна 100–200нм (рис.2). Дальнейшие исследования установили, что это обеспечивает особые структурные эффекты.



**Рис. 2.** Микроструктура TiNiTa покрытия полученного высокоскоростным газопламенным напылением в защитной атмосфере на сталь 45,  $\delta_{\text{TiNiTa}} = 0,3$  мм.  $\times 10000$  – (а);  $\times 30000$  – (б)

При комнатной температуре основные структурные составляющие поверхностного слоя TiNiTa – мартенситная фаза B19' с моноклинной решеткой, аустенитная B2-фаза с кубической решеткой,  $\beta$  - фазы Ta, а также наблюдается небольшое количество оксида титана (TiO) менее 2%. После высокоскоростного газопламенного напыления механически активированного порошка в защитной атмосфере, проводился отжиг в течение 1ч при температуре 1073К, далее осуществлялось поверхностно-пластическое деформирование (ППД) сплава TiNiTa. В процессе отжига происходит увеличение размера зерна до 300нм. После ППД при температуре мартенситного превращения размер зерна составляет порядка 50–90нм. Режимы ППД:  $P_k = 6$  кН,  $V_{об} = 90 \cdot 10^{-3}$  м/с,  $S_{пр} = 0,7$  мм/об, число проходов 10.

На рис.3 приведены результаты многоцикловых усталостных испытаний цилиндрических образцов ( $\varnothing 10$  мм) из стали 45 как без покрытия, так и после поверхностного модифицирования сплавом с ЭПФ TiNiTa при изгибе с вращением (симметричный цикл с коэффициентом асимметрии  $R = -1$ ). Толщина TiNiTa слоя составляла 0,3 мм.



**Рис.3.** Кривые многоциклового усталости стали 45: без покрытия (1), после ПМСЭПФ TiNiTa (2)

Наибольшее значение амплитуды переменных напряжений, до которого образцы не разрушались базовое число циклов (предел выносливости,  $\sigma_{-1}$ ) для стали 45 без покрытия составляет 275 МПа, а после поверхностного модифицирования сплавом с эффектом памяти формы TiNiTa – 427 МПа, т. е. увеличилось на  $\approx 35,6\%$ .

### **Выводы**

На основе анализа экспериментальных данных определены оптимальные режимы технологического процесса поверхностного модифицирования механически активированным порошком TiNiTa стали 45 при использовании высокоскоростного газопламенного напыления в защитной атмосфере. Определены режимы термомеханической обработки и степень восстановления формы наноструктурированного сплава TiNiTa. В результате многоцикловых испытаний на изгиб при вращении стали 45 ПМСЭПФ TiNiTa предел выносливости увеличился на 35,6%.

*Работа выполнена по проекту № 9.555.2014/К в рамках государственного задания при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ и гранта Президента РФ № МК-5017.2014.8.*

### **Список литературы**

1. Бледнова Ж.М., Будревич Д.Г., Махутов Н.А., Чаевский М.И. Поверхностное модифицирование материалами с эффектом памяти формы для получения разъемных соединений. - Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2002. – № 5. – С. 64-71.
2. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления: Учеб. пособие по курсу «Технология конструкций из металлокомпозитов». 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 360 с.
3. Zh.M. Blednova, P.O. Rusinov. Mechanical and Tribological Properties of the Composition “Steel - nanostructured Surface Layer of a Material with Shape Memory Effect Based TiNiCu” Applied Mechanics and Materials Vols. 592-594 (2014) pp 1325-1330.
4. Zh.M. Blednova, P.O. Rusinov, M.A. Stepanenko Influence of Superficial Modification of Steels by Materials with Effect of Memory of the Form on Wear-fatigue Characteristics at Frictional-cyclic Loading. Advanced Materials Research Vols. 915-916 (2014) pp 509-514.
5. Rusinov P.O., Blednova Zh.M., Chaevsky M.I. Options for Forming of Nanostructured Surface Coatings. Advanced Materials Research Vol. 1064 (2015) pp. 154-159.
6. P.O. Rusinov, Zh.M. Blednova. Technological Features of Obtaining of Nanostructured Coatings on TiNi Base by Magnetron Sputtering. Advanced Materials Research Vol. 1064 (2015) pp 160-164.

## **О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОПЛАСТКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ АЭС В БЕЛАРУСИ**

**Немцев В.А., Сорокин В.В., Степаненко В.Н., Телущенко Е.А.**

*ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН  
Беларуси, Минск, Беларусь  
[lab19@tut.by](mailto:lab19@tut.by)*

Термопласткомпозитные материалы состоят из связующего компонента – полимерного вещества (отходы полиэтилена и т.п.) и наполнителя (песок, бой стекла, древесные опилки и стружка и т.п.). Технология получения термопласткомпозитных материалов к настоящему времени достаточно изучена и отработана в Беларуси. Есть опыт изготовления шпал для рельсовых путей метрополитена, торфяных разработок, строительных