

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ СТАЛЕЙ МАТЕРИАЛАМИ С ЭПФ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Русинов П.О., Бледнова Ж.М., Балаев Э.Ю.

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»,

Краснодар, Россия

ruspiter5@mail.ru

Расширяющееся практическое применение сплавов с эффектом памяти формы (ЭПФ) на основе никелида титана в различных областях техники, таких как авиа- и автомобилестроение, медицина, приборо- и машиностроение, космическая техника выдвигает на первый план не только непрерывно повышающиеся требования к обеспечению функциональных свойств, но и требования ресурсосбережения [1,2]. Поэтому задача создания поверхностно-модифицированных слоев из материалов с ЭПФ, обеспечивающих функционально-механические характеристики объемного материала с памятью, доведенных до уровня, приемлемого для практического использования в деталях машин и элементах конструкций является и в обозримом будущем останется актуальной [3]. Для формирования поверхностно-модифицированных слоев из сплавов с ЭПФ на основе TiNiCu используется метод термического переноса масс, аргонно-дуговая, лазерная наплавка и плазменное напыление [4-9]. Одним из перспективных методов формирования поверхностных слоев является высокоскоростное газопламенное напыление.

Целью настоящей работы является исследование структурно-фазового состояния поверхностных слоев на основе TiNiCu полученных с помощью высокоскоростного газопламенного напыления.

Исследования проводились на стали 45. Высокоскоростное газопламенное напыление TiNiCu производилась на установке GLC на цилиндрические образцы ($\text{Ø}10 \times 50$ мм) (рис.1). В качестве горючего газа использовалась смесь метана и кислорода, аргон являлся транспортирующим газом для порошка. Высокоскоростное газопламенное напыление осуществлялась при угле наклона горелки $40-90^\circ$. В качестве материала для напыления использовали механически активированный порошок $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{45}\text{Cu}_5$ с размером фракций $5 \div 15$ мкм.

При комнатной температуре основными структурными составляющими поверхностного слоя TiNiCu являются: аустенитная B2-фаза с кубической решеткой, мартенситная фаза B19' с моноклинной решеткой, Cu с кубической решеткой, в небольшом количестве отмечено наличие TiO₂.

Как показал металлографический анализ, структура формируемых в результате высокоскоростного газопламенного напыления слоев сплава TiNiCu имеет крайне слабую травимость обычными реактивами вследствие сильного измельчения зерна. Исследования микроструктуры поверхностного слоя TiNiCu на просвечивающем электронном микроскопе высокого разрешения показали, что покрытие TiNiCu на 70-80% имеет наноразмерную структуру с размером зерна 30-170 нм (рис.1). Во многом образование такого покрытия связано с особенностями высокоскоростного газопламенного напыления (высокая скорость соударения частиц с подложкой, высокая скорость их охлаждения и быстрая закалка сплава). Измельчение зерна в свою очередь приводит к уменьшению объемной концентрации пор на 20-28 % и формированию более плотных границ раздела.

Из рисунка 1 видно, что рефлексы выделяющейся фазы размыты, но практически отсутствует вытянутость рефлексов, что говорит об образовании их малыми равноосными выделениями. Действительно, выделения имеют характер очень малых равноосных частиц с размером порядка 60-200 нм, покрывающих часть поля рассматриваемого участка, встречаются и более мелкие наночастицы с размером порядка 20-30 нм (рис. 1, в). Создается впечатление, что в результате высокоскоростного газопламенного напыления механоактивированного порошка за счет высокоэнергетического воздействия в сплаве TiNiCu уже в первые минуты происходит перестройка структуры аустенит → мартенсит охлаждения, что и определяет форму выделений.

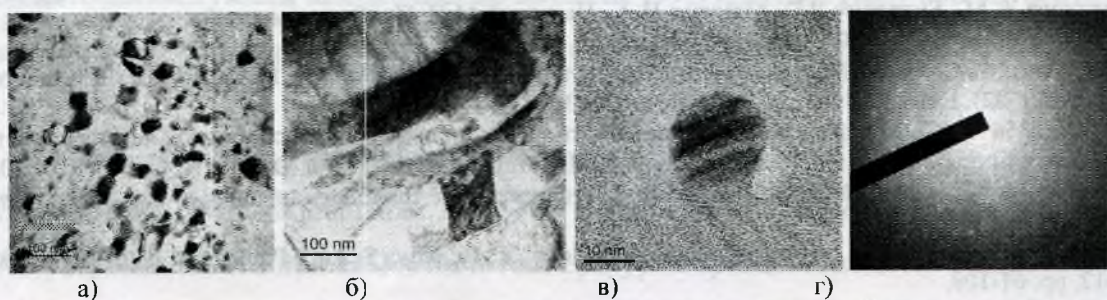


Рисунок 1. Микроструктура B2 аустенита сплава TiNiCu, $\times 120000$ – а,б); твидовый электронно-микроскопический контраст – в); микроэлектроннограмма покрытия TiNiCu полученная в условиях высокоскоростного газопламенного напыления механически активированного порошка – г)

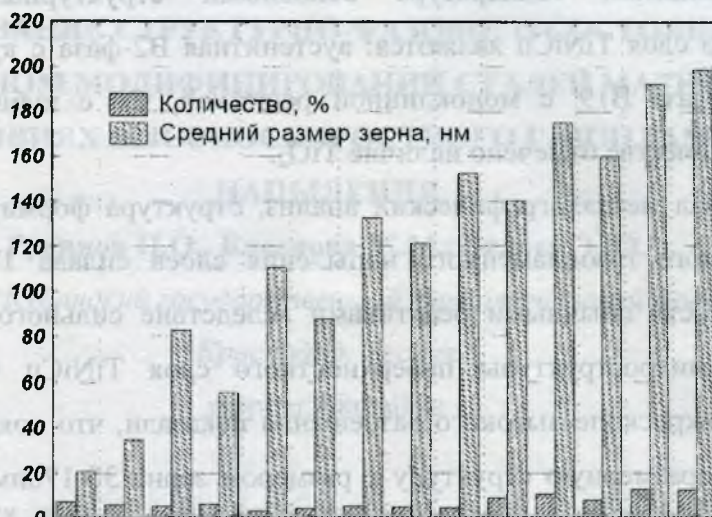


Рисунок 2. Количественный анализ размера зерен в структуре покрытия TiNiCu

Выполненный анализ структуры покрытия из материалов с ЭПФ на основе TiNiCu, полученного с использованием механоактивированного порошка, показал, что предварительная механическая активация приводит к существенному улучшению внутренней структуры покрытия, уменьшению пористости и увеличению адгезии, что, вероятно, объясняется запасом энергии, накопленной в процессе механической активации в виде различного рода дефектов, энергия которых выделяется при высокоскоростном газопламенном напылении, что и приводит к лучшему проплавлению частиц, формированию практически монолитной структуры с меньшей пористостью.

Работа выполнена при поддержке грантов министерства образования и науки Российской Федерации (проекты № 7.722.2011, №2014/70. 2014).

1. Горынин И.В. Российские нанотехнологии. - 2007. - Т.1-2.- С. 37-40.
2. Лякишев Н.П., Алымов М.И. Российские нанотехнологии . 2006. -Т.1-2. С. 71-81.
3. Панин В.Е. Ультрадисперсные (нано-) материалы. Научная сессия МИФИ-2005. - Т.9.- С. 168-169.
4. Бледнова Ж.М., Будевич Д.Г., Махутов Н.А., Чаевский М.И. Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2002. – № 5. – С. 64-71.
5. Blednova J.M., Chaevsky M.I., Budrevich D.G. Phys. IV // Proc. Int. Conf. on Martensitic Transformations (ICOMAT-02). Helsinki. June, 2002., October, 2003. V.112. P. 1151-1155.
6. Пат. № 2354750 Способ формирования наноструктурированного поверхностного слоя на поверхности стального листа. Авторы: Ж.М. Бледнова, Н.А.Махутов, М.И. Чаевский. Оpub. БИ № 13 от 10.05.09.
7. Бледнова Ж.М., Чаевский М.И., Русинов П.О. Упрочняющие технологии и покрытия. - 2008г. - № 11. – С.23-32.
8. Zh. Blednova, P. Rusinov. Advances in nanotechnology. V. 10, Nova Science Publishers, Inc., New-York, 2012, pp. 61-109.
9. Zh. M. Blednova, P. O. Rusinov. Nanotechnologies in Russia V. 5, №3-4, (2010).