

УДК 669.174; 620.187.3; 539.27; 539.261

DOI: 10.17223/00213411/62/8/112

Л.Л. МЕЙСНЕР^{1,2}, А.А. НЕЙМАН¹, В.О. СЕМИН¹, Е.Ю. ГУДИМОВА^{1,2}, М.Г. ОСТАПЕНКО¹

МНОГОСЛОЙНАЯ СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБЛАСТИ И ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНОГО КИСЛОРОДА НА ЕЕ ФОРМИРОВАНИЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ СПЛАВА TiNi НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИЛЬНОТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ *

Исследованы структура и фазовый состав приповерхностного слоя сплава TiNi, модифицированного в режиме импульсного плавления низкоэнергетическим (до ~ 40 кэВ) сильноточным (до ~ 50 кА) электронным пучком микросекундной длительности. Рассмотрено влияние числа импульсов при постоянной плотности энергии на характеристики структуры, изменение фазового состава и закономерности распределения фаз вблизи поверхности. Обсуждается роль кислорода в стабилизации столбчатой структуры поверхностного перекристаллизованного слоя.

Ключевые слова: никелид титана, импульсные низкоэнергетические сильноточные электронные пучки, атомно-кристаллическая структура, нанопазы.

Введение

Сплавы на основе никелида титана (TiNi) характеризуются высокими параметрами сверхэластичности и эффекта памяти формы (СЭ и ЭПФ) и демонстрируют высокую механическую прочность, пластичность и обрабатываемость [1, 2]. Эти сплавы обладают сравнительно высокой коррозионной стойкостью, благодаря чему используются в медицинских устройствах и имплантатах, таких, как дентальные брекет-системы, стенты, проволочные направляющие катетеров [1].

Наличие примесей (преимущественно – O, C) в исходной шихте, атмосфере печи, а также контакт расплава со стенками графитовой изложницы являются основными причинами появления в составе сплава TiNi кислорода и углерода. Эти элементы присутствуют в сплаве в виде оксидов и карбидов титана {Ti₄Ni₂O, TiC, TiC(O), Ti₂Ni(C, O)} [3, 4], а также в виде примесных атомов внедрения в высокотемпературной B2-фазе. Установлено, что такие неметаллические включения в приповерхностных слоях сплава TiNi являются очагами питтинговой коррозии в биологических жидкостях [5]. Эти же частицы на поверхности и в объеме сплава TiNi являются местами зарождения усталостных трещин [6].

В настоящее время общепризнано, что эффективным способом повышения коррозионных свойств и/или биосовместимости металлических имплантатов является обработка их поверхностей электронно-пучковыми [7, 8], ионно-плазменными [9] методами или путем ионной имплантации [10]. При использовании этих методов для сплавов TiNi изменяется не только соотношение Ti:Ni в поверхностном слое, но и содержание в нем кислорода и углерода [8, 11–14]. При использовании электронно-пучкового воздействия кислород также попадает в модифицированный слой TiNi-сплава из остаточной атмосферы рабочей камеры [15]. Очевидно, что наличие кислорода должно оказывать влияние на процесс кристаллизации, структуру в зонах кристаллизации расплава и термического влияния и, в конечном итоге, влиять на физико-механические свойства как самих модифицированных слоев, так и материала в целом.

Цель работы – исследовать структуру поверхностного слоя сплава TiNi в зависимости от параметров его обработки низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком в режиме импульсного плавления; определить роль кислорода в многослойном строении, фазовом составе, условиях формирования и стабилизации столбчатой структуры в области модификации.

1. Материал, методы обработки и исследований

Для обработки и исследований использован промышленный сплав TiNi (марка TH1, МАТЕКС-СПФ, Россия), выплавленный в вакуумной индукционной печи. Химический состав сплава: Ti – 55.08 Ni – 0.051 C – 0.03 O – 0.002 N (вес. %), температуры мартенситных превращений $M_s = 283$ К, $M_f = 261$ К, $A_s = 299$ К, $A_f = 322$ К. Экспериментальные образцы (шайбы) размерами $\varnothing 13 \times 1$ мм были вырезаны из прутка методом электроэрозионной резки (далее – образцы TiNi). После этого об-

* Работа выполнена по программе ФНИ на 2018–2020 гг., проект III.23.2.1.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>