

УДК 669.174:620.187.3:539.27:539.261

DOI: 10.17223/00213411/64/5/79

С.Н. МЕЙСНЕР, Л.Л. МЕЙСНЕР, А.А. НЕЙМАН, С.В. ПАНИН, И.В. ВЛАСОВ

УСТАЛОСТНЫЕ СВОЙСТВА НИКЕЛИДА ТИТАНА И ИХ ПОВЫШЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА *

Показано, что обработка поверхностей никелида титана с помощью низкоэнергетического сильноточного электронного пучка микросекундной длительности со следующими параметрами: плотностью энергии $E_s = 1.5$ и 3.7 Дж/см², числом импульсов $n = 5$ – позволяет повысить усталостные характеристики материала почти в 1.5 раза благодаря очистке поверхности от частиц/включений Ti₂Ni, TiC(O) и наличию в быстрозакаленном поверхностном слое TiNi остаточных напряжений сжимающего типа, ориентированных перпендикулярно поверхности облучения.

Ключевые слова: никелид титана, импульсный низкоэнергетический сильноточный электронный пучок, структура поверхностного слоя, остаточные напряжения, малоцикловая усталость при растяжении – сжатии.

Введение

Сплавы с памятью формы (СПФ) представляют научный и практический интерес благодаря их особым свойствам. Эффект памяти формы (ЭПФ) [1] используют во многих современных твердотельных актуаторах [2], эффект сверхэластичности (СЭ) [1] используют в медицинских имплантатах, таких, как саморасширяющиеся стенты [3] или проволочные ортодонтические дуги [4], а также в промышленности, например, в комбинации с эластокалорическим эффектом [5], для новых типов твердотельных холодильников. В основе механизмов ЭПФ–СЭ лежит обратимое термоупругое мартенситное превращение (ТПП), которое обусловлено изменением температуры в случае ЭПФ и механическим напряжением в случае СЭ. Обратимость структурного фазового превращения означает, что фазы, испытывающие превращения, являются упруго совместимыми, а следовательно, структурные искажения, возникающие в результате превращения, не превышают предела обратимости [6]. Тем не менее ограничивающим фактором применения свойств ЭПФ–СЭ в условиях приложения циклических нагрузок является развитие процессов усталости по отношению к целостности материала (структурная усталость) и изменению функциональных свойств этого материала, включая их обратимость (функциональная усталость). Представление о том, насколько полно и при каком количестве циклов такое превращение может быть реализовано в СПФ, т.е. понимание их усталостного поведения, до сих пор отсутствует, хотя в настоящее время оно является основным препятствием для использования данных материалов в новых приложениях [7].

Наиболее широко используемые СПФ – это сплавы на основе TiNi эквиатомного состава. Комбинация таких свойств, как большая величина обратимой деформации, возможность управлять температурами превращений путем частичного замещения Ni или Ti другими элементами (такими, как Cu, Pd, Pt, Au, Cu, Fe, Co, Mo и др.), а также хорошие механические и коррозионные свойства бинарных TiNi СПФ [8] определяют их преимущества при выборе материалов для прикладных целей.

Несмотря на широкое использование бинарных TiNi СПФ [9], эти сплавы демонстрируют низкую усталостную долговечность в случае реализации полного цикла мартенситного превращения (МП) под нагрузкой. Уже после нескольких первых циклов наблюдаются изменение температур превращения [10], уменьшение уровня обратимой деформации, накопление остаточного мартенсита [11]. Различные исследования усталостных свойств в этих сплавах показали, что предел усталостной выносливости (т.е. максимальная амплитуда деформации, позволяющая обеспечить 10 млн циклов нагружения при эксплуатации) в объемном сверхэластичном TiNi в среднем не превышает 0.4–0.6% [3, 10]. Например, усталостная долговечность сверхэластичной проволоки из

* Работа выполнена по государственной Программе фундаментальных научных исследований (проект госзадания 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>