ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

**посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/250

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫЕ СОСТОЯНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ
СЛОЯХ НИКЕЛИДА ТИТАНА И ИХ ЭВОЛЮЦИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ
ОРИЕНТАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦА К НАПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОННОГО
ПУЧКА**

¹Остапенко М.Г., ¹Нейман А.А., ^{1,2}Мейснер Л.Л.

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

²*НИ Томский государственный университет, Томск*

В настоящее время в качестве авиационных материалов для лопаток газотурбинных двигателей используют титановые сплавы. Для увеличения прочности и износостойкости этих сплавов применяют обработку электронным пучком микросекундной длительности [1]. В результате этой обработки в поверхностном слое материала возникают остаточные напряжения, которые в дальнейшем могут приводить к его разрушению [2]. В работе [3] была предложена система из нескольких источников электронных пучков, расположенных симметрично относительно поверхности образцов. Предполагалось, что одновременное воздействие электронного пучка на все поверхности образца, позволит скомпенсировать это воздействие и уменьшить величину остаточных напряжений. В то же время, работ по оценке величины остаточных напряжений, возникающих в результате такой обработке, в литературе практически нет. Поэтому целью данной работы было изучение напряженно-деформационных состояний в поверхностных слоях сплава на основе Ti и их эволюции при изменении ориентации поверхности образца к направлению электронного пучка таким образом, чтобы обеспечить реализацию синхронного двухстороннего облучения образца. В качестве материала исследования был взят сплав на основе TiNi с памятью формы, который, благодаря реализации в нем термоупругого мартенситного превращения, может быть использован как индикатор уровня остаточных напряжений, индуцированных поверхностной обработкой.

В работе исследовались образцы сплава марки TN1 (МАТЕК-СПФ, Россия) в виде пластин и призм. Образцы-пластины подвергались электронно-пучковому воздействию с длительностью импульса $\tau=2-2,5$ мкс и плотностью энергии электронов в пучке $E_1=3,4$ Дж/см² с одной стороны. Образцы-призмы подвергали синхронной обработке электронным пучком той же длительности с плотностью $E_2=7$ Дж/см² с двух сторон, симметрично наклоненных друг к другу. Рентгеноструктурные исследования всех образцов проводили на дифрактометре Simadzu XRD-7000 (Japan) с использованием высокоскоростного широкоугольного детектора OneSight. Анализ полученных данных проводили путем построения экстраполяционных графиков и определения деформации, связанной с напряжениями I-го и II-го рода.

Показано, что уровень остаточных напряжений зависит от параметров электронного пучка и ориентации поверхности образца к направлению электронного пучка. В плоском образце в поверхностном модифицированном слое величина остаточных напряжений на порядок выше, чем на симметрично расположенных сторонах пирамиды, что может быть связано с эффектами взаимной компенсации упруго-напряженных состояний, распространяющихся с противоположных облученных сторон образца. На рентгеновских дифракционных картинах образцов обоих типов после их облучения наблюдаются, кроме рефлексов исходной B2 фазы, рефлексы мартенситной фазы B19', отсутствующие на дифрактограммах необлученных образцов. Объемная доля фазы B19' растет при увеличении плотности энергии в пучке, что свидетельствует о ее деформационной природе. В совокупности это позволяет предположить, что компенсация остаточных напряжений в облученных образцах обеспечивается обратимым мартенситным B2 $\leftrightarrow$ B19' превращением с образованием мартенсита напряжения B19'. Предполагается, что данный механизм реализуется в поверхностном слое толщиной 2-5 мкм, в более глубоких слоях всех образцов

Секция 6. Иерархически организованные материалы и низкоразмерные структуры для биомедицинских приложений

уровень остаточных напряжений практически одинаков, но выше его уровня в необлученных образцах.

Работа выполнена в рамках ПФНИ государственных академий наук на 2013-2020 годы (проект ГЗ III.23.2.1). Электронно-пучковая обработка поверхности образцов была проведена при финансовой поддержке РНФ №18-19-00198 (от 26.04.2018).

1. J.X. Zou, T. Grosdidier, K.M. Zhang, C. Dong, S. Weber, Mechanism of surface modifications on a NiTi alloy treated with low energy high current pulsed electron beam, Eur. Phys. J. Appl. Phys. 43 (3) (2008) 327–331, <https://doi.org/10.1051/epjap:2008072>.
2. Мейснер Л.Л., Лотков А.А., Остапенко М.Г., Гудимова Е.Ю. Анализ методами рентгеновской дифрактометрии градиента внутренних напряжений в никелиде титана после электронно-пучковой обработки поверхности // Физ. мезомех. 2012. Т.15. №3. С.79–90.
3. Марков А.Б., Миков А.В., Озур Г.Е., Падей А.Г. Установка РИТМ-СП для формирования поверхностных сплавов // ПТЭ. 2011. № 6. С. 122–126.