

ЭВОЛЮЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ «ПОКРЫТИЕ – ПОДЛОЖКА» ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОТОКА ЭЛЕКТРОНОВ*

О.Н. Крюкова, А.Г. Князева, А.Л. Маслов

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия

Представлена модель, позволяющая проанализировать эволюцию механических напряжений в окрестности границы раздела «покрытие – подложка» в условиях обработки. В модели учитываются разные механизмы формирования напряжений, включая изменения температуры и фазового состава. Показано, что напряжения в покрытии значительно превышают предел прочности материала, а в их величину основной вклад вносит именно изменение состава.

Ключевые слова: обработка электронным пучком, никелид титана, температурные и концентрационные напряжения, математическое моделирование.

Главная особенность современных наукоемких технологий – стремление создавать и использовать новые материалы, обладающие уникальным сочетанием механических, физических свойств, а также имеющих способность активно реагировать на изменение внешних условий или воздействий [1, 2]. К таким материалам относятся сплавы с эффектом памяти формы. Использование таких материалов растет, так как они обладают уникальными эффектами термомеханической памяти, высокими прочностными свойствами, термомеханической надежностью и долговечностью, износостойкостью и коррозионной стойкостью. Однако использование чистого никелида титана нежелательно из-за токсичности никеля, считающегося канцерогеном и аллергеном [3]. Для того чтобы никель не выходил на поверхность изделия, создают различные ограничивающие барьерные покрытия из Ta, Si, Mo, Nb, Zn и т.д. на поверхности никелида титана.

Для нанесения тонких и однородных барьерных покрытий используют ионную имплантацию и обработку поверхности предварительно нанесенного покрытия потоком электронов [4, 5]. При этом между покрытием и подложкой образуется переходный слой, в котором покрытие постепенно переходит в основной материал. Переходный слой обладает сложной многокомпонентной и многофазной структурой [6] и при его формировании могут появляться значительные механические напряжения. Наличие в покрытиях остаточных напряжений высокого уровня крайне нежелательно, так как это приводит к снижению адгезионной прочности, отслаиванию покрытия в процессе эксплуатации [7, 8], существенно уменьшается надежность работы покрытия. Особенно опасны остаточные напряжения, возникающие на границе раздела покрытие – основной материал. Физические механизмы появления напряжений различны. В литературе выделяют несколько причин появления остаточных напряжений. Наиболее очевидная причина состоит в том, что при нагреве или охлаждении возникают термические напряжения, связанные с различиями в коэффициентах теплового расширения для различных материалов [9]. Другие механизмы появления напряжений могут быть связаны с наличием различных примесей в покрытии: кислорода, водорода, инертных газов и т.д. [10–12]. Еще одна причина появления напряжений объясняется различиями в химическом составе покрытия и подложки, что связано, в основном, с изменением удельного объема при химических реакциях.

Отметим, что аналитическое описание остаточных напряжений в таких структурах обычно сложно математически и подразумевает ряд упрощений, не всегда приемлемых в практических задачах, поэтому при решении последних активно используют численные методы [13], особенно метод конечных элементов в рамках коммерческих пакетов [14].

Цель настоящей работы – изучение эволюции состава и механических напряжений в окрестности границы раздела никелида титана и кремниевого покрытия в квазистатическом приближении вследствие диффузии и химических реакций.

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2022-0003.

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>