УДК 531+536-1

DOI: 10.17223/00213411/63/6/63

О.Н. КРЮКОВА, А.Г. КНЯЗЕВА, А.Л. МАСЛОВ

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОКРЫТИЕ – ПОДЛОЖКА ПРИ ОБРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ *

Представлена модель для расчета остаточных напряжений в окрестности границы раздела покрытие – подложка. В модели учитывается изменение не только температуры, но и фазового состава. Выявлено, что напряжения в покрытии значительно превышают предел текучести материала покрытия. Для данных условий модификации поверхности напряжения являются следствием изменения состава в результате диффузии и химических реакций, вызванных нагревом.

Ключевые слова: никелид титана, переходная зона, численное моделирование, диффузия, химические реакции, остаточные напряжения.

Введение

В настоящее время одним из популярных материалов с эффектом памяти формы [1, 2], который используется для создания изделий медицинского назначения, является никелид титана. В чистом виде никелид титана имеет ограниченное использование из-за токсичности никеля для организма [3]. Данная проблема может быть решена путем формирования на поверхности изделий из никелида титана различных барьерных покрытий. К перспективным методам получения таких покрытий относятся ионная имплантация и обработка поверхности предварительно нанесенного покрытия потоком электронов [4, 5], поскольку в этом случае можно получать тонкие и однородные покрытия [6–9]. При этом между покрытием и подложкой образуется переходный слой, в котором покрытие постепенно переходит в основной материал. Этот слой обладает сложной многокомпонентной и многофазной структурой, в которой можно выделить различные области [10]. При образовании переходного слоя могут возникать значительные механические напряжения. При этом растягивающие напряжения могут привести к образованию трещин в покрытии и в подложке, а сжимающие – вызвать отслоение покрытия [11, 12]. Указанная проблема актуальна для практических приложений.

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 различных материалов [13]. Есть ряд публикаций, связывающих напряжения в пленках с дислокациями несоответствия. Другие механизмы появления напряжений могут быть связаны с наличием примесей кислорода [14], водорода [15], инертных газов [16] и т.д. Еще одна причина появления напряжений объясняется различиями в химическом составе покрытия и подложки, что связано, в основном, с изменением удельного объема при химических реакциях. Аналитическое описание остаточных напряжений в таких структурах обычно сложно математически и требует упрощений, не всегда приемлемых в практических задачах, поэтому при решении последних активно используют численные методы, особенно метод конечных элементов в рамках коммерческих пакетов [17].

В настоящей работе появление остаточных напряжений связывается с изменением состава в окрестности границы раздела покрытие – подложка вследствие диффузии и химических реакций, существенно дополняющих термические напряжения.

Постановка задачи

Пусть на образец из никелида титана нанесено однородное покрытие постоянной толщины. На покрытие падает поток электронов, интенсивность энергии в котором однородна вдоль всей поверхности покрытия. По мере повышения температуры интенсифицируются диффузия компо-

* Работа выполнена в рамках госзадания ИФПМ СО РАН, 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://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>