

УДК 539.1.043:544.039

DOI: 10.17223/00213411/64/5/88

*Г.П. ГРАБОВЕЦКАЯ<sup>1</sup>, И.П. МИШИН<sup>1</sup>, Е.Н. СТЕПАНОВА<sup>2</sup>, А.Д. ТЕРЕСОВ<sup>3</sup>***ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРУКТУРУ И ДИФФУЗИЮ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО НИКЕЛЯ \***

Проведено исследование влияния облучения импульсным электронным пучком (ИЭП) в режиме отсутствия плавления поверхности на диффузию меди в приповерхностном слое ультрамелкозернистого (УМЗ) никеля. Определены профили распределения концентрации меди по глубине в УМЗ-никеле после изотермического диффузионного отжига и отжига в условиях облучения поверхности ИЭП. Установлено, что в результате облучения ИЭП в приповерхностном слое никеля повышается коэффициент зернограничной диффузии меди в никеле и изменяется режим зернограничной гетеродиффузии по сравнению с изотермическим диффузионным отжигом.

**Ключевые слова:** никель, ультрамелкозернистое состояние, диффузия, импульсный электронный пучок, приповерхностный слой.

**Введение**

Формирование защитных покрытий на металлических материалах с использованием электронных пучков позволяет повышать их износостойкость, коррозионную стойкость и динамическую прочность [1–5]. В связи с разработкой методов создания таких защитных покрытий возрос интерес к эволюции структуры и свойств приповерхностных слоев металлических материалов в процессе облучения импульсным электронным пучком (ИЭП). Проведенные в [6–9] исследования показали, что при воздействии ИЭП в приповерхностных слоях материала возникают высокие градиенты температур и напряжений, инициирующие, в зависимости от режимов облучения, образование дефектов, перераспределение примесей и образование новых фаз. В процессе облучения при температурах ниже  $0.4T_{пл}$  ( $T_{пл}$  – температура плавления) в приповерхностных слоях материала происходит накопление и взаимодействие дефектов с уже существующими дефектами [4, 10, 11]. В поликристалле стоками различных видов дефектов являются границы зерен [12]. Накопление дефектов в объеме и границах зерен может привести к изменению их диффузионной проницаемости и, как следствие, к развитию в приповерхностном слое таких диффузионно-контролируемых процессов, как активизация диффузии примеси из внешней среды, миграция границ зерен и образование сегрегаций. Как правило, развитие этих процессов нельзя предсказать, исходя из представлений о развитии диффузии в изотермических условиях. Поэтому представляется важным изучение влияния облучения ИЭП на развитие диффузии в приповерхностных слоях металлических поликристаллов.

Цель настоящей работы – исследование на примере системы никель – медь диффузии в приповерхностном слое поликристалла в условиях облучения ИЭП в режиме отсутствия плавления поверхности.

**Материал и методы исследования**

Для исследования использовали систему никель – медь (Ni(Cu), здесь и далее в скобках указан диффундирующий элемент), имеющую полную взаимную растворимость элементов [13]. Основой в исследованной системе был ультрамелкозернистый (УМЗ) никель высокой чистоты (99.998%). Ультрамелкозернистая структура в никеле была сформирована методом равноканального углового прессования (РКУП) за восемь проходов при комнатной температуре. Диффундирующий элемент в виде слоя толщиной  $\sim 0.5$  мкм был нанесен на поверхность никеля методом электролитического осаждения.

Размеры структурных элементов и спектр разориентировок границ зерен УМЗ-никеля были определены с помощью просвечивающего электронного микроскопа (марка ЭМ-125К) и растрового электронного микроскопа Quanta 200 3D соответственно. Разориентировки границ зерен опре-

\* Работа выполнена в рамках госзадания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0004, с использованием оборудования Томского материаловедческого центра коллективного пользования ТГУ.

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>