

## ВЛИЯНИЕ ЗЕРНОГРАНИЧНОЙ ДИФФУЗИИ НА ОКИСЛЕНИЕ СПЛАВА $Ti_3Al^*$

М.В. Чепак-Гизбрехт, А.Г. Князева

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

Представлена модель зернограничной диффузии, дополненная уравнениями кинетики образования оксидов. Условия считаются изотермическими. Материал сплава в модели представлен чередующимися зёрнами интерметаллида с явным выделением тройных стыков между ними. Диффузионные и кинетические свойства зёрен и границ различны. Модель использована для описания процесса окисления интерметаллидного сплава в объёме и по границам зёрен. Исследованы распределения концентраций элементов и оксидов, а также изменение среднеинтегральных концентраций оксидов при варьировании констант скоростей реакций в объёме зёрен и в окрестности границ раздела.

**Ключевые слова:** *зернограничная диффузия, окисление интерметаллида, моделирование.*

### Введение

Управление механическими свойствами сплавов возможно как с помощью добавления легирующих элементов, так и за счёт изменения параметров зеренной структуры. Формирование структуры возможно с помощью обработки прессованием. Измельчение структуры титановых сплавов позволяет повышать прочность изделий при сохранении пластичности [1]. Измельчение размеров зёрен, в свою очередь, сопровождается увеличением доли дефектов и границ, которые могут способствовать окислительным процессам за счёт активизации диффузии кислорода [2]. В отличие от черных сплавов, в которых окисление сопровождается фатальным разрушением материала, цветные сплавы могут как разрушаться, так и упрочняться при окислении [1]. Такие свойства являются преимуществом при проектировании конструкций, находящихся длительное время в окислительной среде и под нагрузением. Однако детальные механизмы протекания процессов проникновения кислорода в материал и последовательность образования оксидов в настоящее время являются предметом исследований [3–8]. Поэтому важно построение моделей, на основе которых можно было бы организовывать более детальные экспериментальные исследования и интерпретировать данные эксперимента. Моделирование окислительных процессов может пролить свет на проблему устойчивости сплавов к окружающей атмосфере.

Классическими моделями для описания взаимодействия агрессивной окружающей среды и материалов конструкций являются феноменологические [9–11]. Даже наиболее простые из них позволяют оценить толщину оксидной пленки и время ее роста. Законы роста пленки могут быть линейными и нелинейными, а также могут учитывать зависимость скорости роста от внешней нагрузки [12]. Однако физические закономерности процесса окисления на разных масштабных уровнях в подобных моделях остаются неясными. Более детальное представление о закономерностях окисления металлов и сплавов удастся получить, учитывая диффузионный механизм проникновения окислителя в материал матрицы. В зависимости от соотношения скоростей переноса компонентов матрицы и реакций окисления может либо появляться защитный слой [13], либо интенсифицироваться процесс коррозии за счёт механического разрушения окисленного слоя и материала матрицы вследствие различия их свойств или за счёт межкристаллитного растрескивания в зоне реакции окисления [14]. В работах [13, 14] диффузия окислителя рассматривается как процесс переноса в сплошной среде, тогда как реальные материалы имеют кристаллическую структуру, содержат зёрна, агломераты, дефекты и границы, состояние которых значительно влияет на механизмы диффузии [15].

Известно, что границы зёрен способствуют ускорению диффузии, повышают химическую активность и влияют на прочность и пластичность материалов [16]. Также известно, что границы являются путями ускоренной диффузии [17]. Наиболее простой моделью для исследования зернограничной диффузии является модель изолированной границы, предложенная Фишером [18], и ее

\* 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>