

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДИФфуЗИОННО-КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПРОЦЕССОВ ЭВОЛЮЦИИ СТРУКТУРЫ
ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПСЕВДОСПЛАВА W–Cu
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ***

А.Ю. Токмачева-Колобова¹, М.Г. Токмачев², Л.С. Яновский¹, Ю.Р. Колобов¹

¹ *Институт проблем химической физики РАН, г. Черноголовка, Россия*

² *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

Представлены результаты математического моделирования процесса выхода атомов меди на внешнюю поверхность экспериментальных образцов псевдосплава (двухкомпонентного композита, приготовленного методом порошковой металлургии) W – 18% Cu (марки ВД-МП) путем диффузии по границам зерен (ГЗ) вольфрама из частиц меди, расположенных в объеме и на ГЗ вольфрама в приповерхностном слое толщиной около 30 мкм в результате воздействия на поверхность высокотемпературным (1500 К) газовым потоком. Проведена оценка параметров диффузии атомов меди по ГЗ вольфрама в температурном интервале, когда растворимые в кристаллической решетке вольфрама частицы меди находятся в жидком состоянии. С использованием известных экспериментальных данных в рамках построенной компьютерной модели рассчитано значение высокотемпературного коэффициента зернограничной диффузии меди в поликристаллической вольфрамовой матрице изучаемого псевдосплава. Значение этого коэффициента $D = 7 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ оказалось близким к соответствующему для диффузии в жидкой меди.

Ключевые слова: псевдосплав, медь, вольфрам, микроструктура, диффузия, граница зерна, математическое моделирование.

Введение

Псевдосплавы на основе тугоплавких металлов, содержащие два или более компонентов и характеризующиеся отсутствием взаимной растворимости даже в жидком состоянии (W–Cu, Mo–Cu и др.) или обладающие униполярной растворимостью (W–Ni, Mo–Ni и др.), широко применяются в современной технике в качестве жаропрочных материалов для элементов конструкций тепло- и газогенераторов, а также изделий авиационной и космической техники [1]. В работе [2] проведено экспериментальное исследование изменений микроструктуры в приповерхностных слоях и объеме экспериментальных образцов двухфазной системы (псевдосплава) W – 18% Cu в процессе нагрева и контакта с высокотемпературным газовым потоком. По данным цитируемой работы в рассматриваемой системе присутствуют включения нерастворимой в кристаллической решетке, но сегрегирующей по границам зерен вольфрама меди мезоскопического размера (1–5 мкм). В структуре поликристаллической вольфрамовой матрицы кроме большеугловых границ зерен присутствуют малоугловые дислокационные границы субзерен, разбивающие объем зерен на субзерна размером порядка 0.3 мкм (рис. 1, а).

Как известно, для улучшения смачиваемости поверхностей порошков вольфрама (молибдена) медью в их порошковую смесь вводят активные к кислороду легирующие элементы, например, кремний. Последний, образуя оксиды, очищает границы зерен (ГЗ) от кислорода и углерода, тем самым предотвращая образование оксидов и карбидов вольфрама (молибдена) и меди. Это приводит к улучшению технологичности рассматриваемых псевдосплавов и повышению их пластичности и прочности [3]. Как было показано в работе [4], зернограничное дисперсное упрочнение указанными частицами псевдосплава W–Cu (сплав ВД-МП) приводит к повышению его пластичности в интервале температур от 80 до 800 °С.

Известно, что при температурах выше температуры плавления легкоплавкого компонента (меди) выход меди на поверхность и ее испарение приводят к охлаждению поверхности таких материалов. По этой причине их относят к классу так называемых «потеющих сплавов».

Как уже отмечалось выше, в работе [2] проведено экспериментальное исследование процессов эволюции микроструктуры приповерхностных слоев экспериментальных образцов псевдосплава W–Cu (марки ВД-МП) в результате воздействия на внешнюю поверхность высокотемпературным газовым потоком ($T = 1500 \text{ К}$, время воздействия – 88 с). Было обнаружено, что в приповерхност-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания ИПХФ РАН, № госрегистрации AAAA-A19-119100800130-0.

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>