

**О МОНОСЛОЙНОМ СОСТОЯНИИ ЗЕРНОГРАНИЧНЫХ СЕГРЕГАЦИЙ
МОЛИБДЕНА В МЕДИ**

Глущенко М.А., Соболев О.В., Зозуля Э.В., Зеленская Г.И., Зубков А.И.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, E-mail: maglushchenko@gmail.com

Одним из факторов, влияющих на свойства металла, являются зернограничные сегрегации атомов легирующих элементов, примесей и модификаторов, которые могут оказывать сильное воздействие на процессы формирования структуры, прочностные, физико-химические свойства и термическую стабильность. Их структурно-фазовое состояние связано с процессами адсорбции на межфазных и межзеренных границах раздела, которые имеют общие закономерности со свободными поверхностями. Это направление исследований приобрело особую актуальность в связи с разработкой наноструктурных термически стабильных металлов, имеющих большую удельную площадь внутризеренных границ раздела.

Вместе с тем, в настоящее время имеется ограниченное количество работ, посвященных изучению состояния адсорбционных слоев на границах зерен матричных металлов. В этой связи целью данной работы явилось исследование влияния молибдена на процессы формирования структуры двухкомпонентных вакуумных конденсатов Cu-Mo.

Объектами исследований служили фольги толщиной до 50 мкм, отделенные от неориентирующих подложек полученные электронно-лучевым испарением из различных источников в вакууме с остаточным давлением $\sim 10^{-3}$ Па. Варьировали температуру подложки, скорости осаждения меди и молибдена. Содержание молибдена в конденсатах изменяли в диапазоне от 0,1 до 1,7 ат. % и контролировали рентгеноспектральным методом.

Структуру изучали просвечивающей электронной микроскопией и рентгеновской дифрактометрией.

Особенностью системы Cu-Mo является отсутствие химических соединений и взаимной растворимости компонентов при равновесных условиях.

Обнаружено, что при содержании молибдена до $\sim 0,5$ ат. % происходит снижение размера зерна медной матрицы более чем на порядок. Концентрационные зависимости $L-f(C, \text{ ат. \% Mo})$ для разных технологических условий получения конденсатов имеют одинаковый характер [1]. Типичная зависимость представлена на рисунке 1, кривая 1.

На электронно-микроскопических изображениях структуры бинарных конденсатов Cu-Mo с концентрацией молибдена, соответствующей ниспадающей ветви зависимости размера зерна, не было обнаружено признаков второй фазы (рис. 2). Зеренная структура характерна для рекристаллизованного состояния. Период ГЦК решетки медной матрицы при таких концентрациях соответствует значению характерному для однокомпонентного конденсата меди (рис. 1, кривая 2). Таким образом, отсутствие второй фазы и твердого раствора дает основание полагать, что молибден сосредоточен в границах зерен, а снижение размера зерна связано с процессами адсорбции его атомов на поверхности зерен меди, тормозящих их рост при формировании конденсата.

Повышение концентрации Mo приводит к выходу кривой $L-f(C, \text{ ат. \% Mo})$ на пологий участок и перераспределению его атомов между границами зерен, твердым раствором и частицами второй фазы, о чем свидетельствует увеличение периода решетки меди и появление дифракционных рефлексов на электронограммах и частиц молибдена на светло- и темнопольных электронно-микроскопических изображениях.

Подобные явления были обнаружены в двухкомпонентных системах Cu-Ta [2], Fe-W [3], Al-Fe [4].

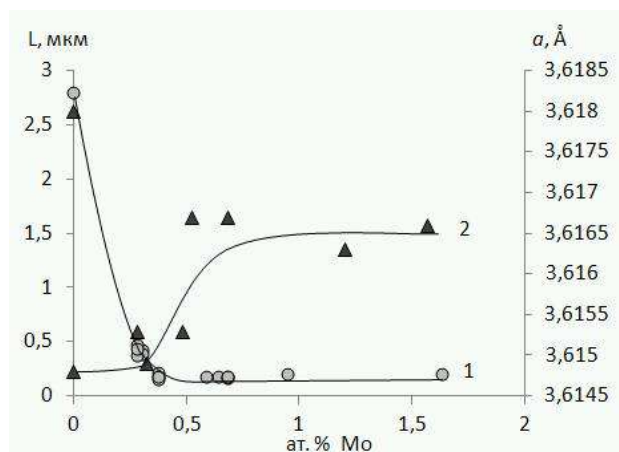


Рисунок 1 – Концентрационные зависимости размера зерна (1) и периода кристаллической решетки меди (2)

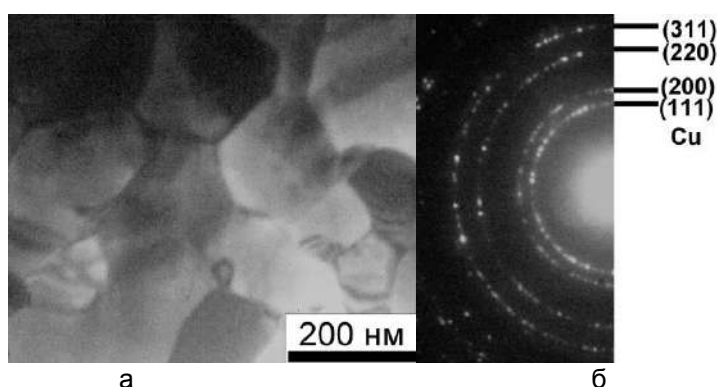


Рисунок 2 – Электронно-микроскопические изображения структуры вакуумных конденсатов Cu-0,28 ат. % Мо: а – светлопольное изображение, б – электронограмма

В работе были проведены оценки адсорбционной емкости границ зерен конденсатов, соответствующих ниспадающим ветвям зависимостей $L-f(C, \text{ ат. \% Мо})$, как по методике, приведенной в работе [3], так и с учетом площадей адсорбционных ячеек для плоскостей (110), которая составляет $9,25 \cdot 10^{-2} \text{ нм}^2$ [2]. Полученные результаты незначительно различаются между собой (рис. 3).

Монослойные зернограницные сегрегации молибдена в меди являются причиной высоких прочностных свойств и термической стабильности нанокристаллического состояния конденсатов Cu-Mo [5].

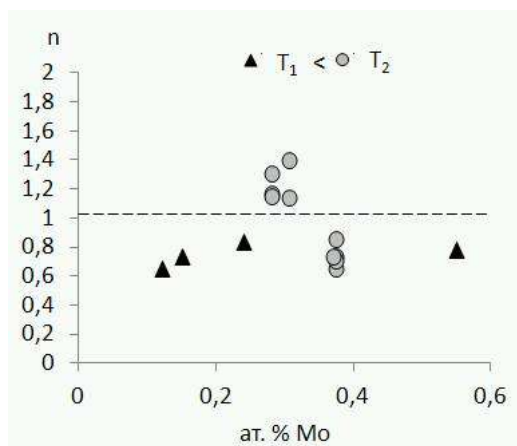


Рисунок 3 – Адсорбционная емкость границ зерен меди (n) для молибдена (в монослоях)

Выводы

1. Обнаружено, что легирование конденсатов меди молибденом до ~ 0.5 ат.% приводит к снижению размера зерна более чем на порядок.
2. При конденсации паровой смеси атомов меди и молибдена происходит распределение атомов молибдена между адсорбционным слоем на поверхности растущих зерен меди, пересыщенным раствором и частицами второй фазы.
3. Совокупность экспериментальных данных и теоретических оценок позволяет объяснить модифицирующее действие молибдена на структуру конденсатов меди формированием атомами молибдена зернограничных сегрегаций в виде моноатомных слоев. Монослойный характер адсорбционных слоев, предполагающий сильные межатомные связи между атомами молибдена и меди, обуславливает высокую термическую стабильность исходной нанодисперсной структуры двухкомпонентных вакуумных конденсатов Cu-Mo.

Список литературы:

1. Зубков А.И., Глущенко М.А. Структура вакуумных псевдосплавов Cu-Mo. Влияние концентрации молибдена и условий конденсации // Вестник НТУ «ХПИ». - 2012. -С. 186-189.
2. Зубков А.И., Зубарев Е.Н., Соболев О.В., Глущенко М.А., Луценко Е.В. Структура вакуумных конденсатов Cu-Ta // ФММ. -2017. -№2. -С. 1-7.
3. Бармин А.Е., Соболев О.В., Зубков А.И., Мальцева Л.А. Модифицирующее влияние вольфрама на вакуумные конденсаты железа // ФММ. -2015. -№4. -С. 70-86.
4. Луценко Е.В., Соболев О.В., Зубков А.И. О модифицирующем влиянии железа на вакуумные конденсаты алюминия // Журнал нано- и электронной физики. -2015.-Т. 7, № 3. -С. 03042(4pp).
5. Глущенко М.А., Луценко Е.В., Соболев О.В., Зубков А.И. Термическая стабильность структуры и свойства вакуумных псевдосплавов на основе меди и алюминия // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки. -2016. -Т. 21, вып. 3. -С. 933-935.