

УДК 544.344.015.032.1.032.4
DOI: 10.20310/1810-0198-2016-21-3-933-935

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВАКУУМНЫХ ПСЕВДОСПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ И АЛЮМИНИЯ

© М.А. Глущенко¹⁾, Е.В. Луценко²⁾, О.В. Соболев¹⁾, А.И. Зубков¹⁾

¹⁾ Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина,
e-mail: anzubkov@km.ru

²⁾ Национальный научный центр Харьковский физико-технический институт, г. Харьков, Украина,
e-mail: lutsenkoev@mail.ru

Определены температурные интервалы возникновения пика дисперсионного твердения в конденсатах бинарных систем Cu-Ta, Cu-Mo, Cu-Co, Al-Fe. Пересыщенные аномальные растворы молибдена и тантала в медной матрице претерпевают необратимый распад при температурах выше 600 °С. Установлено, что этот процесс происходит при более высоких температурах по сравнению с металлургическими сплавами на основе меди и алюминия. Показано, что исходная зеренная структура легированных конденсатов на основе меди и алюминия сохраняется до ~ 700 и 500 °С соответственно.

Ключевые слова: конденсаты; Cu-Ta; Cu-Mo; Cu-Co; Al-Fe; пересыщенные растворы; дисперсионное твердение; температурная стабильность.

При конденсации смесей паров металлов, не имеющих растворимости в равновесных условиях ни в жидком, ни в твердом состоянии, могут формироваться аномальные пересыщенные растворы на основе одного из компонентов и существенно расширяться границы растворимости в системах, имеющих другие типы диаграмм состояния в равновесных условиях [1–2]. При последующем воздействии температур происходит необратимый распад этих растворов с возникновением пика дисперсионного твердения. В результате исходные физико-механические свойства этих материалов могут существенно повышаться [3]. Вместе с тем в литературе отсутствует информация о влиянии свойств составляющих компонентов на эти процессы.

В этой связи целью данной работы является определение температурных интервалов реализации этого эффекта в бинарных системах Cu-Ta, Mo, Co и Al-Fe и влияния на исходную зеренную структуру и прочностные свойства.

Объектами исследований служили конденсаты бинарных систем с несмешивающимися компонентами Cu-Ta, Cu-Mo и системы с ограниченной растворимостью в твердом состоянии Cu-Co и Al-Fe. Кобальт не образует химических соединений с медью, а в системе Al-Fe существуют интерметаллиды с различным стехиометрическим соотношением.

Образцы получали путем раздельного испарения компонентов из различных источников и последующей конденсации паровых смесей на неориентирующих подложках в вакууме ~ 10⁻³ Па. Содержание легирующих элементов варьировали в интервале 0,1–3,5 ат.% и контролировали рентгеноспектральным методом. Исследовали фольги, отделенные от ситалловых подложек толщиной до 50 мкм. Структуру изучали методами рентгеновской дифрактометрии и просвечивающей

электронной микроскопией предварительно утоненных образцов.

Отжиги проводили в интервале температур 200–800 °С в течение 0,5 ч. Отжигали образцы Cu-0,5 ат.% Mo, Cu-0,5 ат.% Ta, Cu-3,4 ат.% Co, Al-3 ат.% Fe, в которых наблюдалось заметное изменение периодов кристаллических решеток медной и алюминиевой матриц в исходном конденсированном состоянии (рис. 1).

Измеряли микротвердость каждого образца до и после отжига. В качестве анализируемой величины использовали отношение микротвердости отожженных образцов (Нотж) к аналогичной величине исходных образцов (Нисх), минимизируя тем самым влияние побочных факторов на изучаемые процессы.

На рис. 1 представлены концентрационные зависимости периодов кристаллических решеток (*a*) матричных металлов меди и алюминия от содержания легирующих элементов. Видно, что значения «*a*» изменяются в соответствии с разницей (Δd) атомных размеров меди, алюминия и легирующих элементов. Следует отметить, что в конденсатах Cu-Co и Al-Fe заметное изменение периодов решеток меди и алюминия происходит при концентрациях кобальта и железа более 1 ат.% и 2 ат.% соответственно. Такой характер зависимостей *a*–*f* (ат.% л.э.) объясняется формированием зернограницных сегрегаций легирующих элементов в матричных металлах [4–5].

На рис. 2 представлены зависимости относительной микротвердости изучаемых объектов от температуры отжига. Как следует из представленных данных, для всех бинарных систем реализуется пик дисперсионного твердения, высота и положение которого зависит как от матричного металла, так и легирующего элемента и его концентрации. Например, для бинарных систем на

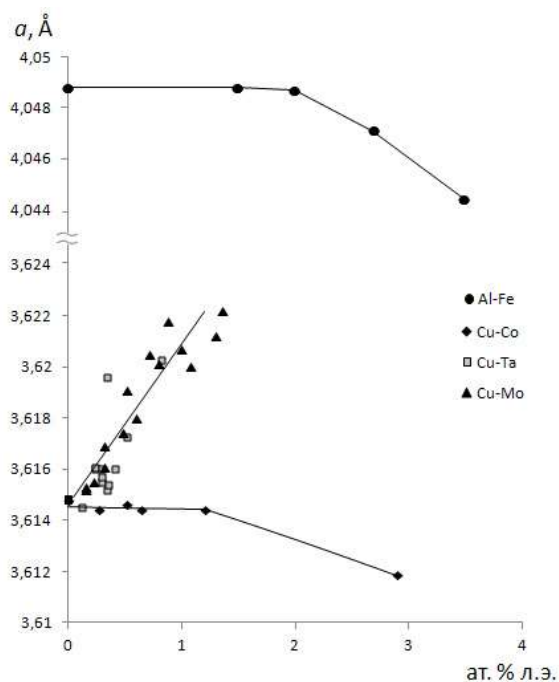


Рис. 1. Концентрационные зависимости периодов кристаллических решеток меди и алюминия от содержания легирующих элементов

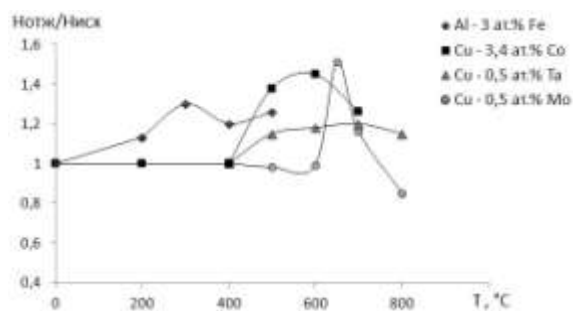


Рис. 2. Зависимости относительной микротвердости конденсатов Cu-Mo, Cu-Ta, Cu-Co, Al-Fe от температуры отжига

основе меди прослеживается смещение в область больших температур отжига по мере увеличения температуры плавления легирующего элемента. Общей закономерностью является более высокая температура проявления этого эффекта по сравнению со сплавами на основе меди и алюминия металлургического происхождения [6].

Рис. 3 демонстрирует влияние температуры отжига на зеренную структуру изучаемых материалов. Видно, что температура начала роста зерна конденсатов Cu-Ta значительно превышает аналогичный параметр для Cu-Co и Cu-Mo. Это связано с меньшей диффузионной

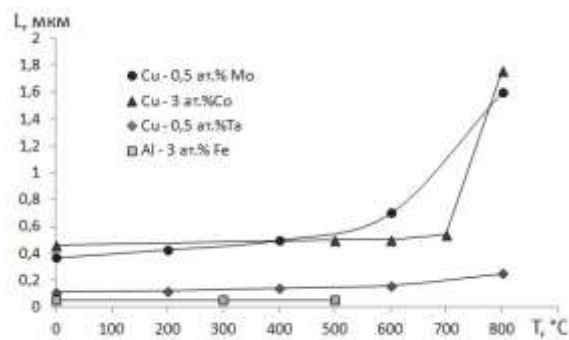


Рис. 3. Влияние температуры отжига на размер зерна вакуумных конденсатов Cu-Co, Cu-Ta, Cu-Mo, Al-Fe

подвижностью атомов тантала в объеме и по границам зерен медной матрицы и скоростью коагуляции частиц тантала, а также их морфологией в исходном конденсированном состоянии. Для всех изучаемых бинарных систем температура начала роста зерна матричных металлов значительно превосходит аналогичные температуры металлургических сплавов на основе меди и алюминия [7].

Таким образом, результаты, полученные в данной работе, свидетельствуют о высокой термической стабильности исходного структурного состояния изучаемых материалов и их прочностных свойств. Необходимо подчеркнуть то важное обстоятельство, что процесс распада аномальных пересыщенных растворов молибдена и тантала имеет необратимый характер. Обратного растворения частиц молибдена и тантала не происходит вплоть до температуры плавления медной матрицы. В результате эти объекты по уровню прочностных свойств и термической стабильности сочетают достоинства стареющих сплавов и дисперсно-упрочненных композитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильинский А.И., Фукс М.Я., Аринкин А.В., Зубков А.И., Базаров Ю.Л. Структура быстрозакаленных пленок сплавов Cu-Mo // ФММ. 1985. Т. 60. Вып. 5. С. 943-947.
2. Палатник Л.С., Фукс М.Я., Косевич В.М. Механизм образования и структура конденсированных пленок. М.: Наука, 1972.
3. Зубков А.И., Ильинский А.И., Подгорная О.А., Севрук В.И., Сокол-Пруцкий Я.Г. О возможности старения быстрозакаленных сплавов Cu-Mo // ФММ. 1990. № 10. С. 197-199.
4. 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.
5. 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).
6. Смирязин А.П., Смирязина Н.А., Белова А.В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М.: Металлургия, 1974.
7. Беляев А.И., Бочвар О.С., Буйнов Н.Н. Металловедение алюминия и его сплавов: справочник. М.: Металлургия, 1983.

Поступила в редакцию 10 апреля 2016 г.

UDC 544.344.015.032.1.032.4
DOI: 10.20310/1810-0198-2016-21-3-933-935

THERMAL STABILITY OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF VACUUM COPPER AND ALUMINIUM ALLOYS

© M.A. Glushchenko¹⁾, E.V. Lutsenko²⁾, O.V. Sobol¹⁾, A.I. Zubkov¹⁾

¹⁾ National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkov, Ukraine, e-mail: anzubkov@km.ru

²⁾ National Science Center Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov, Ukraine, e-mail: lutsenkoev@mail.ru

The temperature intervals of emergence of the precipitation hardening peak in Cu-Ta, Cu-Mo, Cu-Co, Al-Fe condensates are determined. The irreversible decomposition of supersaturated solid solutions of molybdenum and tantalum in a copper matrix occurs at temperatures above 600 °C. It is found that this process occurs at higher temperatures compared to metallurgical alloys based on copper and aluminum. It is shown that the initial grain structure of copper and aluminum condensates is stable up to ~ 700 and 500 °C respectively.

Key words: condensates; Cu-Ta; Cu-Mo; Cu-Co; Al-Fe; supersaturated solution; precipitation hardening; thermal stability.

REFERENCES

1. Il'inskiy A.I., Fuks M.Ya., Arinkin A.V., Zubkov A.I., Bazarov Yu.L. Struktura bystrozakalennykh plenok splavov Cu-Mo. *Fizika metallov i metallovedenie – The Physics of Metals and Metallography*, 1985, vol. 60, no. 5, pp. 943-947.
2. Palatnik L.C., Fuks M.Ya., Kosevich V.M. *Mekhanizm obrazovaniya i struktura kondensirovannykh plenok*. Moscow, Nauka Publ., 1972.
3. Zubkov A.I., Il'inskiy A.I., Podgornaya O.A., Sevruk V.I., Sokol-Prusskiy Ya.G. O vozmozhnosti stareniya bystrozakalennykh splavov Cu-Mo. *Fizika metallov i metallovedenie – The Physics of Metals and Metallography*, 1990, no. 10, pp. 197-199.
4. Barmin A.E., Sobol' O.V., Zubkov A.I., Mal'tseva L.A. Modifitsiruyushchee vliyanie vol'frama na vakuumnye kondensaty zheleza. *Fizika metallov i metallovedenie – The Physics of Metals and Metallography*, 2015, no. 4, pp.70-86.
5. Lutsenko E.V., Sobol' O.V., Zubkov A.I. O modifitsiruyushchem vliyani zheleza na vakuumnye kondensaty alyuminiya. *Zhurnal nano-i elektronnoy fiziki – Journal of Nano- and Electronic Physics*, 2015, vol. 7, no. 3, pp. 03042(4pp).
6. Smiryagin A.P., Smiryagina N.A., Belova A.V. *Promyshlennyye tsvetnyye metally i splavy*. Moscow, Metallurgy Publ., 1974.
7. Belyaev A.I., Bochvar O.S., Buynov N.N. *Metallovedenie alyuminiya i ego splavov*. Moscow, Metallurgy Publ., 1983.

Received 10 April 2016

Глушенко Мария Александровна, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, аспирант, e-mail: maglushchenko@gmail.com

Glushchenko Mariya Aleksandrovna, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkov, Ukraine, Post-graduate Student, e-mail: maglushchenko@gmail.com.

Луценко Евгений Валентинович, Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина, младший научный сотрудник, e-mail: lutsenkoev@mail.ru

Lutsenko Evgeniy Valentinovich, National Science Center Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov, Ukraine, Junior Research Worker, e-mail: lutsenkoev@mail.ru

Соболь Олег Валентинович, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой материаловедения, e-mail: sool@kpi.kharkov.ua

Sobol Oleg Valentinovich, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkov, Ukraine, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of Materials Science Department, e-mail: sool@kpi.kharkov.ua

Зубков Анатолий Иванович, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения, e-mail: anzubkov@km.ru

Zubkov Anatoliy Ivanovich, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkov, Ukraine, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of Material Science Department, e-mail: anzubkov@km.ru