

УДК 669.25

**Д. И. Давыдов<sup>\*</sup>, Н. В. Казанцева, Н. А. Попов**

Институт физики металлов имени М. Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург

<sup>\*</sup> davidov@imp.uran.ru

## ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ В КОБАЛЬТОВЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВАХ

Проведено исследование структуры и фазового состава серии жаропрочных сплавов системы Co–Al–Mo–Nb методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и растровой микроскопии. Определено влияние содержания ниобия и молибдена на фазовый состав сплава и температурные границы области существования интерметаллидной фазы Co<sub>3</sub> (Al, Mo, Nb).

*Ключевые слова:* кобальт, Co<sub>3</sub> (Al, W), структура, фазовый состав

**D. I. Davydov, N. V. Kazantseva, N. A. Popov**

## EFFECT OF ALLOYING ON PHASE COMPOSITION IN COBALT HEAT-RESISTANT ALLOYS

The structure and phase composition of a series of heat-resistant alloys of the Co–Al–Mo–Nb system were studied by methods of differential scanning calorimetry (DSC) and scanning microscopy. The effect of the niobium and molybdenum content on the phase composition of the alloy and the temperature boundaries of the region of existence of the Co<sub>3</sub> (Al, Mo, Nb) intermetallic phase are determined.

*Key words:* cobalt, Co<sub>3</sub> (Al, W), structure, phase composition

**В** качестве альтернативы никелевым интерметаллидным сплавам сейчас рассматривают жаропрочные кобальтовые сплавы нового поколения на основе интерметаллида Co<sub>3</sub> (Al, W). Они имеют схожую структуру с традиционными никелевыми сплавами, в которых упрочнение происходит за счет выделения интерметаллидной фазы [1]. В жаропрочных кобальтовых сплавах, кроме твердого раствора на основе ГЦК кобальта ( $\gamma$ -фаза) и упрочняющей  $\gamma'$ -фазы на основе интерме-

таллида  $\text{Co}_3$  (Al, W), могут присутствовать различные интерметаллидные фазы [2]. В настоящее время идет поиск легирующих элементов, способствующих увеличению концентрационной и температурной стабильности интерметаллида в других системах с тугоплавкими элементами, способными заменить вольфрам. В качестве системы в настоящей работе используются  $\text{Co-Al-Mo-Nb}$ , в которой обнаружена похожая структура [3].

Целью работы является изучение влияния концентрации ниобия и молибдена на структуру и фазовый состав сплавов, а также на область существования  $\gamma'$ -фазы.

Исследование структуры методом растровой электронной микроскопии проводилось на микроскопе Jeol JSM-6490LV с системой комбинированного волно- и энергодисперсионного анализа. Фазовый состав определялся с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3 в излучении меди. Термический анализ проводился на установке синхронного термического анализа STA 449 C Jupiter методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

Монокристаллы  $\text{Co-Al-Mo-Nb}$ , химический состав которых приведен в таблице, были получены методом Бриджмена. Исходно литые образцы подверглись гомогенизирующему отжигу при температуре  $1250^\circ\text{C}$  в течение 25 ч с последующим охлаждением в печи.

Таблица

Химический состав исследуемых образцов

Номер образца	Al, ат. %	Mo, ат. %	Nb, ат. %	Co, ат. %
1	10,5	7,2	2,8	79,5
2	10,2	5,5	2,1	82,2
3	10,9	4,2	1,6	83,3
4	10,1	5,6	1,0	83,3

На кривых ДСК нагрева и охлаждения исследованных образцов (рис. 1) можно выделить два совпадающих температурных диапазона, связанных соответственно с растворением фазы  $\text{DO}_{19} \text{Co}_3$  (Mo, Nb) и  $\gamma'$ -фазы типа  $\text{L1}_2 \text{Co}_3$  (Al, Mo, Nb) фазовыми превращениями. На кривых нагрева эти диапазоны лежат между:  $650...750^\circ\text{C}$  и  $800...900^\circ\text{C}$

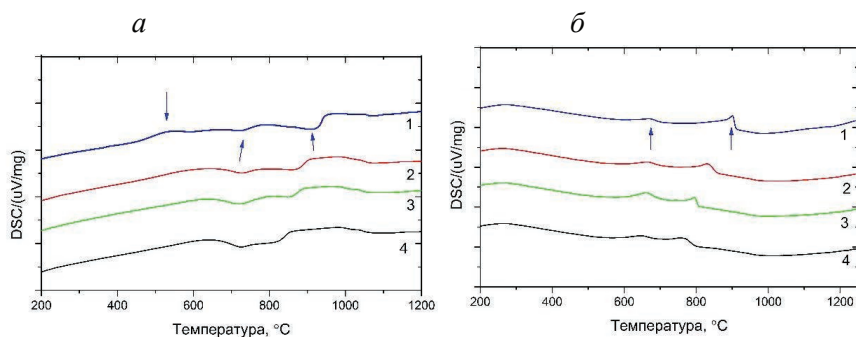


Рис. 1. ДСК-кривые нагрева образцов системы Co–Al–Mo–Nb:  
*a* — нагрев; *б* — охлаждение

С увеличением содержания тугоплавких элементов наблюдается разделение эндотермических пиков на кривой нагрева, что может свидетельствовать о смещении сольвуса  $\gamma'$ -фазы в область более высоких температур.

Кроме двух экзотермических пиков на кривых нагрева (рис. 1, *a*) также присутствует эндотермический пик, который, по-видимому, принадлежит высокотемпературной фазе B2 (CoAl).

На рис. 2 приведена микроструктура исследованных сплавов. В сплаве можно видеть кубоидную  $\gamma/\gamma'$  структуру. Размер кубоидов зависит больше от содержания молибдена, чем от содержания ниобия в сплаве.

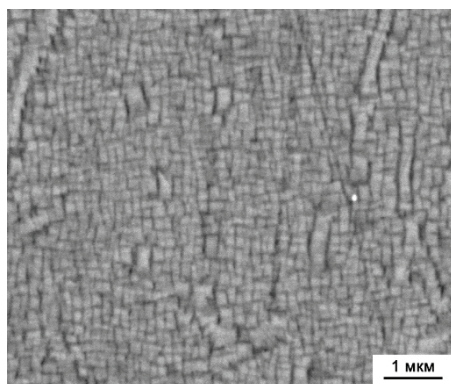


Рис. 2. Кубоидные выделения  $\gamma'$ -фазы в сплаве 4

Размер  $\gamma'$ -кубоидов в исследованных сплавах зависит от содержания молибдена в сплаве, что требует дальнейшего исследования, поскольку

ку формирование  $\gamma'$ -фазы связано с присутствием ниобия в сплаве. В тройной системе Co–Al–Mo упорядоченной  $\gamma'$ -фазы не наблюдается.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ  
по гранту (проект № 20–33–70221).*

### **Литература**

1. Cobalt-base high-temperature alloys / J. Sato, T. Omori, K. Oikawa, I. Ohnuma, R. Kainuma, K. Ishida // Science. 2006. V. 7. P. 90–91.
2. Phase diagram of the Co–Al–W system. Structure and phase transformations near the Co<sub>3</sub> (Al, W) intermetallic composition range / N. V. Kazantseva, S. L. Demakov, A. S. Yurovskikh, N. N. Stepanova, N. I. Vinogradova, D. I. Davydov, S. V. Lepikhin // Physics of Metals and Metallography. 2016. V. 117. Is. 7. P. 701–709.
3. Makineni S. K., Nithin B., Chattopadhyay K. A new tungsten-free  $\gamma$ – $\gamma'$  Co–Al–Mo–Nb-based superalloy // Scripta Materialia. 2015. V. 98. P. 36–39.