

**Д. И. Давыдов\*, Н. В. Казанцева**

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

\*davidov@imp.uran.ru,

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДА $\text{Co}_3$ (W, Al)**

Проведено исследование влияния термообработки на структуру и фазовый состав сплава  $\text{Co}-7,9\text{Al}-6,8\text{W}$  (ат. %). Отжиг выше температуры  $\gamma'$ -сольвуса с последующей закалкой приводит к образованию пересыщенного твердого раствора кобальта. Температура старения оказывает сильное влияние на размер и морфологию частиц упрочняющей  $\gamma'$ -фазы.

*Ключевые слова:* кобальт,  $\text{Co}_3$  (Al, W), термообработка, структура, фазовый состав.

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

## **EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF $\text{Co}_3$ (W, Al) BASED ALLOYS**

Morphology of the  $\gamma'$ -precipitations in the  $\text{Co}-7.9\text{Al}-6.8\text{W}$  (at. %) alloy in depending on heat treatments is investigated. Annealing at temperature just higher than the  $\gamma'$ -solvus one allowed us to conserve the supersaturated  $\gamma'$ -phase. The size and morphology of the hardening phase particles depends on the aging temperature.

*Key words:* cobalt,  $\text{Co}_3$  (Al, W), heat treatments, structure, phase composition.

Сплавы системы  $\text{Co}-\text{Al}-\text{W}$  рассматриваются как перспективные конструкционные материалы, обладающие ферромагнитными свойствами [1, 2, 3]. Они имеют схожую структуру с традиционными никелевыми сплавами, в которых упрочнение происходит за счет выделения интерметаллидной фазы. В жаропрочных кобальтовых сплавах, кроме ферромагнитного твердого раствора на основе ГЦК-кобальта ( $\gamma$ -фаза) и упрочняющей  $\gamma'$ -фазы на основе интерметаллида  $\text{Co}_3$  (Al, W), могут присутствовать различные интерметаллидные фазы как ферромагнитные, так и парамагнитные.

Проведено исследование влияния термообработки на структуру, фазовый состав и магнитные свойства сплава следующего состава

ва Co–7,9Al–6,8W (ат. %). Исследования структуры проведены с использованием просвечивающего электронного микроскопа JEM-200СХ с последующей обработкой снимков в программе SIAMS-600. Фазовый состав определялся с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3 в излучении меди. Для магнитных измерений был использован вибрационный магнитометр Lake Shore 7407.

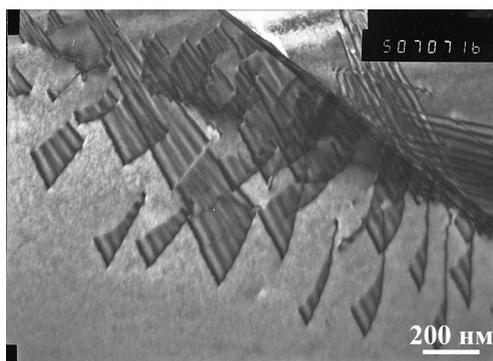
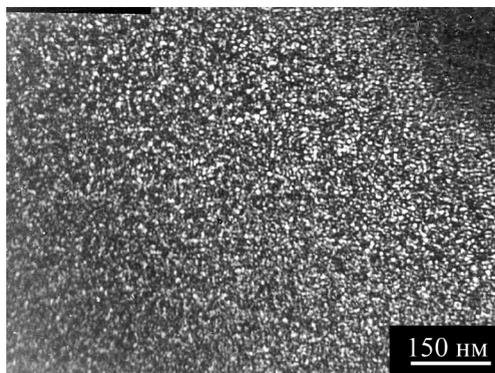


Рис. 1. Структура сплава после закалки с температуры 1050 °С

Исходно литые образцы подверглись гомогенизирующему отжигу при температуре 1250 °С в течение 24 ч с последующим охлаждением с печью. В дальнейшем была проведена термообработка по следующему режиму: нагрев до температуры 1050 °С, выдержка 40 мин, закалка в воду. В результате происходит полное растворение  $\gamma'$ -фазы, структура сплава представляет собой структуру твердого раствора без выделений упрочняющей фазы (рис. 1).

Закаленный сплав без выделений  $\gamma'$ -фазы подвергался старению при температурах 650, 800, 850 °С в течение 6 ч с последующим охлаждением в воде. После термообработки наблюдались выделения  $\gamma'$ -фазы различного размера (рис. 2).

*a*



*б*

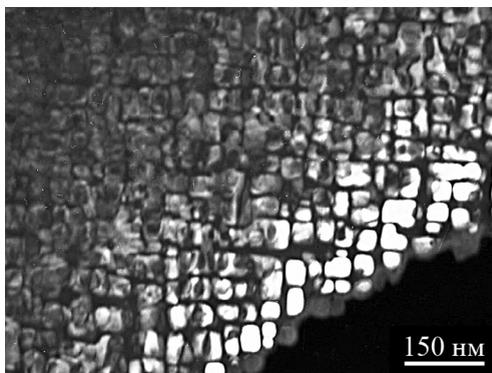


Рис. 2. Структура сплава после старения при различных температурах: *a* — при 650 °С; *б* — при 850 °С

В зависимости от температуры старения средний размер частиц определен как 9 нм для температуры старения 650 °С, 13 нм для 800 °С

и 30 нм для 850 °С. Результаты исследования фазового состава и магнитных свойств представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Влияние термообработки на фазовый состав и магнитные свойства исследуемого сплава**

Параметры сплава	Термообработка		
	1050 °С + 650 °С	1050 °С + 800 °С	1050 °С + 850 °С
Фазовый состав	$\gamma + \gamma'$	$\gamma + \gamma' + \text{Co}_3\text{W}$	$\gamma + \gamma' + \text{Co}_3\text{W} + \text{Co}_7\text{W}_6$
Нс, Э	4,35	10,4	117,9
Средний размер частиц $\gamma'$ -фазы, нм	9	13	30
Объемная доля частиц $\gamma'$ -фазы, %	50	43.6	87

Морфология частиц упрочняющей  $\gamma'$ -фазы  $\text{Co}_3(\text{Al}, \text{W})$  также зависит от температуры старения: при температуре 650 °С частицы имеют округлую форму, с увеличением температуры старения форма частиц становится ближе к кубоидной. С увеличением температуры отжига увеличивается коэрцитивная сила сплава с 4 до 120 Э, что, по-видимому, связано с увеличением среднего размера частиц  $\gamma'$ -фазы. При этом намагниченность насыщения меняется незначительно.

*Работа выполнена при поддержке проекта УрО РАН № 18-10-2-24 в рамках бюджетной темы «Давление» АААА-А18-118020190104-3.*

**ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Cobalt-base high-temperature alloys / J. Sato [et al.] // Science. 2006. V. 312. P. 90–91.
- 2 Suzuki A., Pollock T. M. High-temperature strength and deformation of  $\gamma/\gamma'$  two-phase Co–Al–W-base alloys // Acta Materialia. 2008. V. 56, № 6. P. 1288–1297.
- 3 Heat-Resistant Alloys Based on Intermetallic  $\text{Co}_3(\text{Al}, \text{W})$  / E. P. Romanov [et al.] // Doklady Chemistry. 2017. V. 473. P. 88–91.