

УДК 539.25:539.26

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

М. И. ЗАХАРОВА, В. В. КОРЧАЖКИН, В. В. МОШКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ СТРУКТУРНЫХ СОСТОЯНИЙ  
ПРИ РАСПАДЕ ТВЕРДОГО РАСТВОРА В СПЛАВАХ  
Co — Be и Co — Be — Ta

(Представлено академиком Н. В. Беловым 17 V 1971)

В данной работе методом диффузного рассеяния рентгеновских лучей на монокристаллах, дифракции электронов и электронной микроскопии изучались структурные состояния, возникающие в процессе распада пересыщенного твердого раствора в сплавах Co — 1,7% Be и Co — 1% Be — 7% Ta (вес. %). Исследование сплава Co — 1,7% Be проводилось после изотермического отпуска при температурах 500 и 650° С. Сплав Co — 1,7% Be после закалки с 1150° в воду представляет собой однофазный пересыщенный твердый раствор с г.л.к. структурой.

На начальных стадиях старения сплава Co — Be после отпуска при 500° в течение 10 и 30 мин. на рентгенограммах неподвижного кристалла, ориентированного осью типа  $\langle 100 \rangle$  по лучу, около следа первичного пучка наблюдается пара диффузных полос, пересекающихся под прямым углом по направлениям  $\langle 100 \rangle$ . На микроэлектронограммах с фольги сплава Co — Be с ориентацией  $(110)$  после 10 и 30 мин. отпуска при 500° также наблюдается диффузный штрих, проходящий через рефлексы матрицы  $(004)$ ,  $(002)$ ,  $(00\bar{2})$  и  $(00\bar{4})$  вдоль направления  $[001]$  (рис. 1, см. вкл. к стр. 893).

Существование диффузных штрихов по  $\langle 100 \rangle$  на рентгенограммах и микроэлектронограммах обусловлено образованием пластинчатых зон Гинье — Престона (Г.П.), обогащенных атомами бериллия и ориентированных параллельно кристаллографическим плоскостям  $\{100\}$  матрицы. После 1 часа отпуска диффузные штрихи по направлениям  $\langle 100 \rangle$  на микроэлектронограммах не выявляются, что свидетельствует об окончании зонной стадии. После 1 и 2 час. отпуска при 500° на рентгенограммах колебаний уже выявляются рефлексы выделяющейся фазы. По совокупности отражений была определена ее структура. Оказалось, что эта фаза является тетрагональной объемнопентрированной с упорядоченным расположением атомов и имеет постоянные  $a = 2,50 \text{ \AA}$ ,  $c = 3,16 \text{ \AA}$ . Она ориентирована по отношению к матрице следующим образом:

$$(001)_v \parallel (001)_m; [100]_v \parallel [110]_m.$$

Структура этой фазы подобна структуре метастабильной  $\gamma'$ -фазы в сплаве Cu — Be и обозначена по аналогии  $\gamma'$ -фазой CoBe. На электронной микрофотографии фольги с ориентацией  $(110)$  после 30 мин. отпуска при 500° (рис. 2, см. вкл. к стр. 893) видны частицы равносной формы со средним размером  $30 \text{ \AA}$ , выстроенные в цепочки по направлениям  $\langle 100 \rangle$ .

Как видно из табл. 1, выделения  $\gamma'$ -фазы обнаруживаются на рентгенограммах и электронных микрофотографиях после отпуска при 500° от 1 до 36 час.

Исследование старения сплава Co — 1,7% Be при 650° показало, что после 1 и 3 мин. отпуска на рентгенограммах колебаний обнаруживаются отражения от метастабильной  $\gamma'$ -фазы CoBe с постоянными  $a = 2,50 \text{ \AA}$ ,  $c = 3,16 \text{ \AA}$  (табл. 1). После старения при 650° от 1 до 3 мин. и при 500° от

Таблица 1

T-ра, °C	Продолжительность старения	Структурное состояние сплавов
Co — 1,7% Be		
500	10—30 мин.	г. ц. к. твердый раствор + зоны Г. П.
	1—10 час.	г. ц. к. то же + γ'-СоВе
650	36 час.	г. ц. к. » » + γ'-СоВе
	3 мин.	г. ц. к. » » + γ'-СоВе
Co — 1% Be — 7% Ta		
500	14 час.	г. ц. к. твердый раствор + зоны Г. П.
	50—150 час.	г. ц. к. то же + зоны Г. П. + γ'-СоВе
750	200—300 час.	г. ц. к. » » + γ'-СоВе
	3 мин.	г. ц. к. » » + зоны Г. П.
30 мин.	30 мин.	г. ц. к. » » + зоны Г. П. + γ'-СоВе
	1 час.	г. ц. к. » » + γ'-СоВе
30 мин. до 2 час. на рентгенограммах при повороте кристалла на $\pm 1^\circ$ , $\pm 2^\circ$ от брэгговского положения максимумов матрицы (111), (200), (220) около них наблюдаются пары диффузных пятен, которым в обратном пространстве соответствуют штабы по $\langle 110 \rangle$ , проходящие через узлы матрицы.		

После 30 мин. отпуска при  $650^\circ$  на дебаеграммах кроме отражений матрицы наблюдаются линии (100) и (110) от выделяющейся равновесной γ-фазы СоВе (табл. 1).

Исследование старения сплава Co — 1% Be — 7% Ta. После закалки с  $1200^\circ$  сплав Co — 1% Be — 7% Ta представляет собой однофазный твердый раствор с г.ц.к. структурой. После 14 час. старения при  $500^\circ$  на микроэлектронограммах наблюдаются диффузные штрихи от пластинчатых зон Г.П., проходящие через рефлексы матрицы по направлениям  $\langle 100 \rangle$ . На электронных микрофотографиях обнаруживается деформационный контраст от пластинчатых зон, расположенных в двух направлениях  $\langle 100 \rangle$ .

С увеличением времени отпуска при  $500^\circ$  до 50 час. интенсивность диффузных штрихов по  $\langle 100 \rangle$  увеличивается. На микроэлектронограмме с фольги с ориентацией, близкой к (110), виден интенсивный диффузный штрих, проходящий через максимумы (002), (004), (002̄), (004̄) (рис. 1Б). Так как плоскость фольги не точно совпадает с (110) матрицы и повернута вокруг оси [001], то сечения сферой Эвальда штабов, проходящих через узлы типа (111), (220), (113), (222), проявляются в виде дополнительных рефлексов около отражений матрицы типа (111), (220), (113) и (222).

В двойном сплаве Co — Be зоны Г.П. исчезают после 1 часа отпуска при  $500^\circ$ . Следовательно, добавление tantalа к двойному сплаву Co — Be существенно расширяет временной интервал существования зон при  $500^\circ$ .

После 50 час. отпуска при  $500^\circ$  на электронных фотографиях видны пластинки выделившейся γ'-фазы со средними размерами  $50 \times 100 \text{ \AA}$ , выстроившиеся в виде цепочек по направлениям типа  $\langle 100 \rangle$ . После 150 час. старения при  $500^\circ$  на микроэлектронограммах кроме рефлексов матрицы и диффузных штрихов по  $\langle 100 \rangle$  от зон Г.П. имеются рефлексы выделившейся фазы γ'-СоВе. После 200 час. старения на микроэлектронограммах штрихи по  $\langle 100 \rangle$  от зон не обнаруживаются, а имеются только рефлексы матрицы и метастабильной γ'-фазы СоВе.

Исследование структурного состояния сплава Co — Be — Ta после изотермического отпуска при  $750^\circ$  показало, что старение при этой температуре также начинается с зонной стадии. После 30 мин. отпуска на микроэлектронограмме видны диффузные штрихи по  $\langle 100 \rangle$  от зон Г.П., рефлек-

сы матрицы и рефлексы  $\gamma'$ -фазы CoBe. После 1 часа отпуска диффузные штрихи по  $\langle 100 \rangle$  исчезают, т. е. зонная стадия заканчивается. После 3—5,5 час. отпуска на рентгенограммах колебаний выявляются отражения матрицы, равновесной выделяющейся  $\gamma$ -фазы CoBe и фазы  $\alpha$ -Co<sub>3</sub>Ta (табл. 1).

Таким образом, при распаде твердого раствора в сплавах Co—Be и Co—Be—Ta сначала образуются пластинчатые зоны Г.П., затем выделяется метастабильная  $\gamma$ -фаза с тетрагональной структурой с постоянными  $a = 2,50 \text{ \AA}$ ,  $c = 3,16 \text{ \AA}$ .

Вхождение в тройном сплаве Co—Be—Ta атомов tantalа с большим радиусом в пластинчатые зоны Г.П., обогащенные бериллием с малым радиусом атомов, уменьшает упругие искажения зон и окружающих участков матрицы. Благодаря этому расширяется временной интервал существования зон — при 500° до 150 час., и повышается температура существования зон до 750°.

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова

Поступило  
28 IV 1971