

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° C. Сплав Co — 1,7% Be после закалки с 1150° в воду представляет собой однофазный пересыщенный твердый раствор с г.н.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), (002) и (004) 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 объемноцентрированной 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:

$$(001)_{\gamma'} \parallel (001)_m; \quad [100]_{\gamma'} \parallel [110]_m.$$

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

Как видно из табл. 1, выделения γ' -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 γ' -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

Т-ра, °С	Продолжительность старения	Структурное состояние сплавов
Со — 1,7% Ве		
500	10—30 мин.	г. ц. к. твердый раствор + зоны Г. П.
	1—10 час.	г. ц. к. то же + γ' -CoBe
650	36 час.	г. ц. к. » » + γ -CoBe
	3 мин.	г. ц. к. » » + γ' -CoBe
	30 мин. — 9 час.	г. ц. к. » » + γ -CoBe
Со — 1% Ве — 7% Та		
500	14 час.	г. ц. к. твердый раствор + зоны Г. П.
	50—150 час.	г. ц. к. то же + зоны Г. П. + γ' -CoBe
	200—300 час.	г. ц. к. » » + γ' -CoBe
750	3 мин.	г. ц. к. » » + зоны Г. П.
	30 мин.	г. ц. к. » » + зоны Г. П. + γ' -CoBe
	1 час.	г. ц. к. » » + γ' -CoBe
	3—5,5 час.	г. ц. к. » » + γ -CoBe + α -Co ₃ Ta

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° на дебаграммах кроме отражений матрицы наблюдаются линии (100) и (110) от выделяющейся равновесной γ -фазы CoBe (табл. 1).

Исследование старения сплава Со — 1% Ве — 7% Та. После закалки с 1200° сплав Со — 1% Ве — 7% Та представляет собой однофазный твердый раствор с г.ц.к. структурой. После 14 час. старения при 500° на микроэлектронограммах наблюдаются диффузные штрихи от пластинчатых зон Г.П., проходящие через рефлексy 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° 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), (002), (004) (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 Со — Ве зоны Г.П. исчезают после 1 часа отпуска при 500° . Следовательно, добавление тантала к двойному сплаву Со — Ве существенно расширяет временной интервал существования зон при 500° .

После 50 час. отпуска при 500° 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° на микроэлектронограммах кроме рефлексов матрицы и диффузных штрихов по $\langle 100 \rangle$ от зон Г.П. имеются рефлексы выделившейся фазы γ' -CoBe. После 200 час. старения на электронограммах штрихи по $\langle 100 \rangle$ от зон не обнаруживаются, а имеются только рефлексы матрицы и метастабильной γ' -фазы CoBe.

Исследование структурного состояния сплава Со — Ве — Та после изотермического отпуска при 750° 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., рефлекс-

сы матрицы и рефлексы γ' -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 γ -фазы CoBe и фазы α -Co₃Ta (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 γ' -фаза с тетрагональной структурой с постоянными $a = 2,50 \text{ \AA}$, $c = 3,16 \text{ \AA}$.

Вхождение в тройном сплаве Co — Be — Ta атомов тантала 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