

УДК 544.344.015.3:544.344.3:[546.73+546.77+546.882]

ИЗОТЕРМИЧЕСКОЕ СЕЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ СИСТЕМЫ Co–Nb–Mo ПРИ 1375 К

Р.Х. Шаипов, Э.Ю. Керимов, Е.М. Слюсаренко

(кафедра общей химии, e-mail: slusarenko@laincom.chem.msu.ru)

Методом равновесных сплавов построено изотермическое сечение диаграммы фазовых равновесий системы Co–Nb–Mo при 1375 К. Установлено существование двух трехфазных равновесий в системе Co–Nb–Mo при 1375 К $\gamma_{Co} + \epsilon_{Co} + \lambda$ и $\epsilon_{Co} + \lambda + \mu$. В данной системе при 1375 К выдвинуто предположение о существовании трехфазного равновесия $\gamma_{Co} + \lambda + \lambda'$.

Ключевые слова: диаграмма фазовых равновесий, метод равновесных сплавов, кобальт, ниобий, молибден, электронно-зондовый микроанализ, растровая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ.

Сплавы на основе кобальта широко используются для изготовления жаропрочных и износостойких материалов. В состав таких материалов часто входят ниобий и молибден, обеспечивающие упрочнение твердого раствора и являющиеся эффективными карбидообразователями [1, 2].

Разработка жаропрочных и жаростойких материалов, а также прогнозирование изменения их свойств в процессе эксплуатации основываются на данных о строении диаграмм состояния многокомпонентных систем переходных металлов. Однако в литературе отсутствует информация о строении диаграммы фазовых равновесий трехкомпонентной системы Co–Nb–Mo при 1375 К, являющейся температурой гомогенизирующего отжига при получении большинства кобальтовых сплавов. Цель данной работы – построение изотермического сечения диаграммы фазовых равновесий трехкомпонентной системы Co–Nb–Mo при 1375 К.

Для определения фазовых равновесий в трехкомпонентной системе Co–Nb–Mo необходимо иметь информацию о трех двухкомпонентных системах: Co–Mo, Nb–Mo и Co–Nb. Из анализа диаграмм состояния указанных выше двухкомпонентных систем видно, что в трехкомпонентной системе Co–Nb–Mo при 1375 К будут существовать фазы на основе двойных соединений ($Co_{0,8}Mo_{0,2}$ (ϵ -фаза), $NbCr_2$ (λ -фаза), $Nb_{6,5}Co_{6,5}$ (μ -фаза), $NbCo_2$ (λ -фаза)), а также твердый раствор на основе кобальта (γ_{Co}) и твердый раствор на основе молибдена и ниобия (β), данные о структуре которых представлены в табл. 1 [3–5].

В работах [5–8] указано, что в двухкомпонентной системе Co–Nb при 1375 К фаза со структурой $MgNi_2$ (λ' -фаза) находится в равновесии с фазой со структурой $MgCu_2$ (λ -фаза). В последнем исследо-

вании, приведенном в работе [9], не удалось установить двухфазную область между фазами Лавеса λ' и λ (рис. 1). Если обе указанные фазы существуют и находятся друг с другом в равновесии в двухкомпонентной системе, то в трехкомпонентной системе должно существовать трехфазное равновесие $\lambda + \lambda' + X$, где X – третья фаза.

В работе [10] приведено изотермическое сечение диаграммы фазовых равновесий системы Co–Nb–Mo при 1273 К (1000°C), построенное методом равновесных сплавов (рис. 2). В системе Co–Nb–Mo при 1273 К установлены следующие трехфазные равновесия:

- 1) $Co + MoCo_3 + NbCo_4$,
- 2) $Nb_{0,75}Co_{2,25} + MoCo_3 + NbCo_4$,
- 3) $NbCo_2 + Nb_{0,75}Co_{2,25} + MoCo_3$,
- 4) $NbCo_2 + Mo_6Co_7 + MoCo_3$,
- 5) $NbCo_2 + Mo_6Co_7 + Nb_{6,5}Co_{6,5}$,
- 6) $(Nb, Mo) + Mo_6Co_7 + Nb_{6,5}Co_{6,5}$.

В фазах $MoCo_3$ и Mo_6Co_7 системы Co–Mo растворяется 6,2 и 27,3 ат.% ниобия соответственно. В фазах $NbCo_4$, $Nb_{0,75}Co_{2,25}$, $NbCo_2$ и $Nb_{6,5}Co_{6,5}$ системы Co–Nb растворяется 3,4; 4,4; 14,7 и 14,3 ат.% молибдена соответственно. Твердый раствор на основе Nb и Mo растворяет в себе при 1000°C не более 2,0 ат.% Co. Структурные типы фаз, существующих при 1273 К в трехкомпонентной системе Co–Nb–Mo, по данным работы [10], приведены в табл. 2. Существование тройных соединений в данной системе при 1273 К авторами работы [10] не установлено.

Экспериментальная часть

Для приготовления сплавов использовали кобальт электролитический (чистота не менее 99,99 мас.%), молибден (чистота не менее 99,95 мас.%);

Т а б л и ц а 1

Данные о структуре фаз, существующих при 1375 К в двухкомпонентных системах, составляющих трехкомпонентную систему Co–Nb–Mo

Фаза	Символ Пирсона	Пространственная группа	Структурный тип	Система	Состав фазы	Ссылки
β	cI2	Im-3m, № 229	W	Nb–Mo	Непрерывный ряд твердых растворов	[3]
				Co–Nb	0–2,6 ат.% Co	[5]
				Co–Mo	0–0,4 ат.% Co	[4]
γ _{Co}	cF4	Fm-3m, № 225	Cu	Co–Mo	0–12,5 ат.% Mo	[4]
				Co–Nb	0–3,0 ат.% Nb	[5]
ε _{Co}	hP2	P6 ₃ /mmc, № 194	Mg	Co–Mo	18,8–19,4 ат. % Mo	[4]
λ	cF24	Fd-3m, № 227	MgCu ₂	Co–Nb	26,9–32,8 ат. % Nb	[5]
	hP12	P6 ₃ /mmc, № 194	MgZn ₂			
λ'	hP24	P6 ₃ /mmc, № 194	MgNi ₂	Co–Nb	25,0–25,2 ат. % Nb	[5]
μ	hR39	R-3mh, № 166	W ₆ Fe ₇	Co–Nb	48,5–55,2 ат.% Nb	[5]
				Co–Mo	41,3–49,2 ат.% Mo	[4]

ниобий электронно-лучевой плавки (чистота не менее 99,8 мас.%). Сплавы готовили в дуговой печи с нерасходуемым вольфрамовым электродом в атмосфере аргона с многократным переплавом. Сплавы гомогенизировались при 1375±5 К в печах электросопротивления в течение 700 ч. Гомогенизирующий отжиг проводили в вакуумированных

двойных кварцевых ампулах, между которыми помещали циркониевую стружку.

Концентрацию элементов в сплавах и количественное содержание элементов в фазах сплавов исследовали методом электронно-зондового микроанализа (ЭЗМА) на приборе «LEO EVO 50 XVP», снабженном энергодисперси-

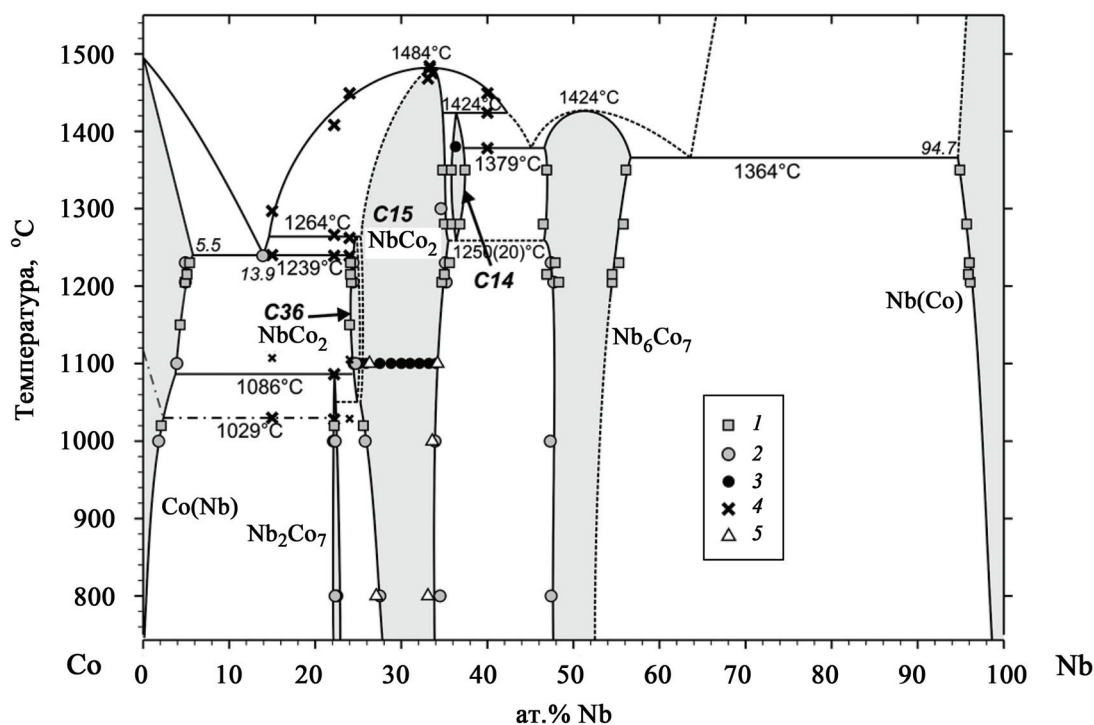


Рис. 1. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы Co–Nb [9]

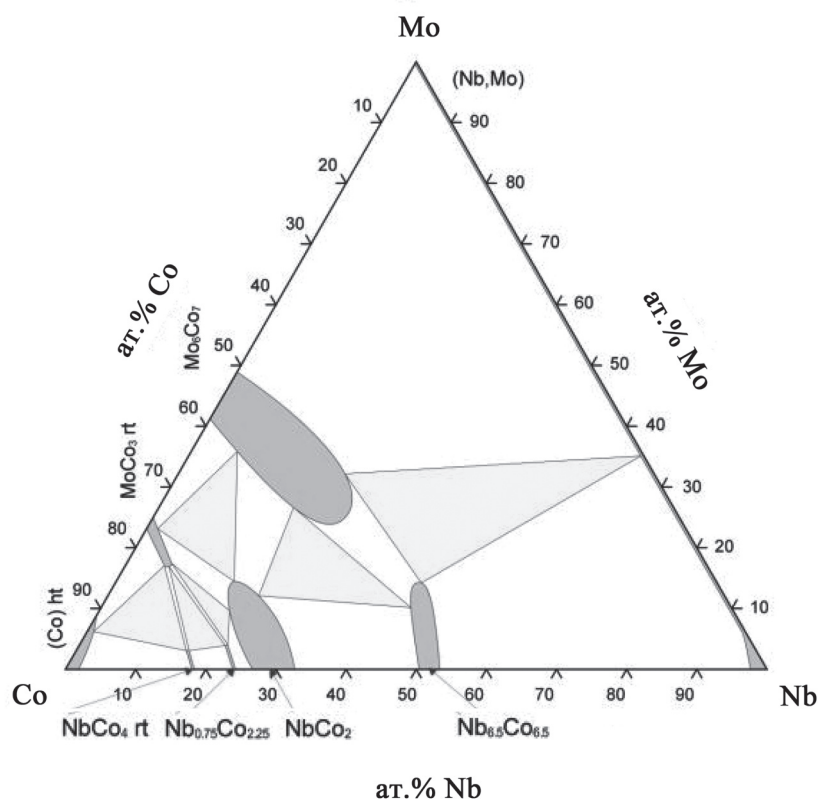


Рис. 2. Изотермическое сечение диаграммы фазовых равновесий трехкомпонентной системы Co–Nb–Mo при 1273 К [10]

Т а б л и ц а 2

Структурные типы фаз, существующих при 1273 К в трехкомпонентной системе Co–Nb–Mo по данным работы [10]

Обозначение фазы	Структурный тип
Mo ₆ Co ₇	W ₆ Fe ₇ , <i>hR39</i> , 166
MoCo ₃ rt	Mg ₃ Cd, <i>hP8</i> , 194
(Co) ht	Cu, <i>cF4</i> , 225
Nb ₂ Co ₇ rt	*, <i>mS18</i> , 12
Nb _{0,75} Co _{2,25} ht	MgNi ₂ , <i>hP24</i> , 194
NbCo ₂	MgCu ₂ , <i>cF24</i> , 227
Nb _{6,5} Co _{6,5}	W ₆ Fe ₇ , <i>hR39</i> , 166
(Nb,Mo)	W, <i>cI2</i> , 229

онным анализатором «Inca Energy 450 (Oxford instruments)».

Микроструктуру образцов исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на приборе «LEO EVO 50 XVP» при ускоряющем напряжении 15 кВ. Изображение получали, ис-

пользуя детектор обратно рассеянных электронов (QBSD).

Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили методом порошка на автодифрактометре STOE STADI-P в геометрии на пропускание (Ge-монохроматор, излучение CuK_{α1}, линейный PSD, интервал углов 2θ = 10–90°, шаг 0,01, время экспозиции 10 с на точку), а также на дифрактометре «ДРОН-4» с использованием CuK_{α1}-излучения (Ge-монохроматор, интервал углов 2θ = 10–90°, шаг 0,1, время экспозиции 10 с на точку). Для идентификации фаз и расчета параметров решетки использовали программное обеспечение STOE WinXPOW (Version 1.06 (17-Aug-1999) Copyright (C) 1999 STOE & Cie GmbH).

Результаты и их обсуждения

Для определения равновесий в системе Co–Nb–Mo были исследованы 26 сплавов. Концентрация элементов в этих сплавах, количественное содержание элементов в фазах сплавов и фазовый состав сплавов представлены в табл. 3. Микроструктуры сплавов приведены на рис. 3. Методами электронной микроскопии (РЭМ), электронно-зондового микроанализа (ЭЗМА) и рентгенофазового анализа (РФА) было установлено, что

Т а б л и ц а 3

Концентрация элементов в сплавах, концентрация элементов в фазах сплавов и фазовый состав сплавов системы Co–Nb–Mo, гомогенизированных при 1375 К

Номер сплава	Концентрация элементов в сплавах, ат. %			Фазовый состав сплавов	Концентрация элементов в фазах, ат. %			Структурный тип	Параметры ячейки, Å	
	Co	Nb	Mo		Co	Nb	Mo		<i>a</i>	<i>c</i>
1	28,5	71,5	0,0	β	7,1	92,9	0,0	W, <i>Im-3m</i> , 229	–	–
				μ	45,1	54,9	0,0	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
2	38,9	51,4	9,7	β	5,4	59,8	34,8	W, <i>Im-3m</i> , 229	–	–
				μ	43,7	50,5	5,8	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
3	40,2	43,4	16,4	β	5,8	50,8	43,4	W, <i>Im-3m</i> , 229	–	–
				μ	45,8	44,1	10,1	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
4	42,1	35,1	22,8	β	5,5	36,5	58,0	W, <i>Im-3m</i> , 229	–	–
				μ	47,2	35,9	16,9	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
5	40,0	31,8	28,2	β	5,6	30,3	64,1	W, <i>Im-3m</i> , 229	–	–
				μ	48,2	32,8	19,0	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
6	37,8	28,5	33,7	β	5,5	24,3	70,2	W, <i>Im-3m</i> , 229	–	–
				μ	49,5	28,3	22,2	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
7	40,2	23,2	36,6	β	5,1	19,5	75,4	W, <i>Im-3m</i> , 229	–	–
				μ	48,8	24,9	26,3	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
8	45,6	10,3	44,1	β	5,7	7,2	87,1	W, <i>Im-3m</i> , 229	–	–
				μ	47,4	13,9	38,7	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
9	35,1	0,0	64,9	β	10,2	0,0	89,8	W, <i>Im-3m</i> , 229	–	–
				μ	45,3	0,0	54,7	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
10	56,9	43,1	0,0	λ	52,0	48,0	0,0	MgCu ₂ , <i>cF24</i> , 227	–	–
								MgZn ₂ , <i>hP12</i> , 194		
				μ	62,1	37,9	0,0	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
11	59,0	36,3	4,7	λ	61,8	34,0	4,2	MgCu ₂ , <i>cF24</i> , 227	–	–
								MgZn ₂ , <i>hP12</i> , 194		
				μ	54,2	40,7	5,1	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
12	58,1	32,4	9,5	λ	61,4	30,4	8,2	MgCu ₂ , <i>cF24</i> , 227	–	–
								MgZn ₂ , <i>hP12</i> , 194		
				μ	55,2	35,7	9,1	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
13	58,9	23,8	17,3	λ	61,0	22,0	17,0	MgCu ₂ , <i>cF24</i> , 227	–	–
								MgZn ₂ , <i>hP12</i> , 194		
				μ	57,3	24,3	18,4	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–
14	58,5	18,6	22,9	λ	60,3	17,6	22,1	MgCu ₂ , <i>cF24</i> , 227	–	–
								MgZn ₂ , <i>hP12</i> , 194		
				μ	57,2	17,9	24,9	Fe ₇ W ₆ , <i>hR39,166</i>	–	–

Окончание табл. 3

Номер сплава	Концентрация элементов в сплавах, ат. %			Фазовый состав сплавов	Концентрация элементов в фазах, ат. %			Структурный тип	Параметры ячейки, Å	
	Co	Nb	Mo		Co	Nb	Mo		<i>a</i>	<i>c</i>
15	56,9	9,2	33,9	λ	61,1	11,7	27,2	MgCu ₂ , <i>cF</i> 24, 227	–	–
							MgZn ₂ , <i>hP</i> 12, 194			
				μ	56,2	9,4	34,4	Fe ₇ W ₆ , <i>hR</i> 39,166	–	–
16	59,4	6,7	33,9	ε_{Co}	77,5	2,4	20,1	Mg, <i>hP</i> 2,194	2,631(2)	4,227(3)
				μ	56,0	3,4	40,6	Fe ₇ W ₆ , <i>hR</i> 39,166	4,727(1)	25,475(3)
				λ	64,8	8,3	26,9	MgCu ₂ , <i>cF</i> 24, 227	6,663(3)	
								MgZn ₂ , <i>hP</i> 12, 194	4,715(2)	7,685(1)
17	63,5	1,5	35,0	μ	53,3	1,6	45,1	Fe ₇ W ₆ , <i>hR</i> 39,166	4,745(4)	25,371(7)
				ε_{Co}	75,5	1,6	22,9	Mg, <i>hP</i> 2,194	2,736(1)	4,139(2)
18	61,9	0,0	38,1	ε_{Co}	76,6	0,0	23,4	Mg, <i>hP</i> 2,194	–	–
				μ	54,8	0,0	45,2	Fe ₇ W ₆ , <i>hR</i> 39,166	–	–
19	70,2	6,5	23,3	λ	66,3	9,3	24,4	MgCu ₂ , <i>cF</i> 24, 227	6,671(4)	–
								MgZn ₂ , <i>hP</i> 12, 194	4,726(2)	7,706(8)
				ε_{Co}	74,2	5,5	20,3	Mg, <i>hP</i> 2,194	2,519(4)	4,124(1)
20	69,6	12,1	18,3	λ	66,6	13,8	19,6	MgCu ₂ , <i>cF</i> 24, 227	6,682(3)	–
								MgZn ₂ , <i>hP</i> 12, 194	4,728(6)	7,712(2)
				ε_{Co}	75,5	7,0	17,5	Mg, <i>hP</i> 2,194	2,524(5)	4,176(1)
21	74,1	11,2	14,7	γ_{Co}	88,7	2,6	8,7	Cu, <i>cF</i> 4, 225	3,571(9)	–
				λ	69,1	18,7	12,2	MgCu ₂ , <i>cF</i> 24, 227	6,687(4)	–
								MgZn ₂ , <i>hP</i> 12, 194	4,738(1)	7,717(5)
				ε_{Co}	76,0	9,8	14,2	Mg, <i>hP</i> 2,194	2,639(3)	4,221(6)
22	76,1	13,9	10,0	γ_{Co}	89,7	2,4	7,9	Cu, <i>cF</i> 4, 225	3,5886(6)	–
				λ	67,5	17,4	15,1	MgCu ₂ , <i>cF</i> 24, 227	6,692(1)	–
								MgZn ₂ , <i>hP</i> 12, 194	4,727(7)	7,751(4)
23	82,8	15,0	2,2	γ_{Co}	94,4	2,7	2,9	Cu, <i>cF</i> 4, 225	3,5547(4)	–
				λ'	74,6	23,1	2,3	MgNi ₂ , <i>hP</i> 24, 194	4,736(2)	15,441(1)
24	85,4	14,6	0,0	γ_{Co}	94,1	5,9	0,0	Cu, <i>cF</i> 4, 225	–	–
				λ'	75,5	24,5	0,0	MgNi ₂ , <i>hP</i> 24, 194	–	–
25	78,8	3,1	18,1	γ_{Co}	89,5	3,0	7,5	Cu, <i>cF</i> 4, 225	–	–
				ε_{Co}	73,9	5,5	20,6	Mg, <i>hP</i> 2,194	–	–
26	0,0	83,1	16,9	γ_{Co}	0,0	85,5	14,5	Cu, <i>cF</i> 4, 225	–	–
				ε_{Co}	0,0	82,8	17,2	Mg, <i>hP</i> 2,194	–	–

сплавы № 1–9 содержат две фазы: β -твердый раствор хрома и μ -фазу (рис. 3, 1, 2, табл. 3). Сплавы № 10–15 по данным РЭМ, ЭЗМА и РФА содержат

две фазы: λ и μ (рис. 3, 3 табл. 3). Анализ результатов сплава № 16 методами РЭМ, ЭЗМА и РФА (рис. 3, 4, табл. 3) показал, что в данном сплаве в

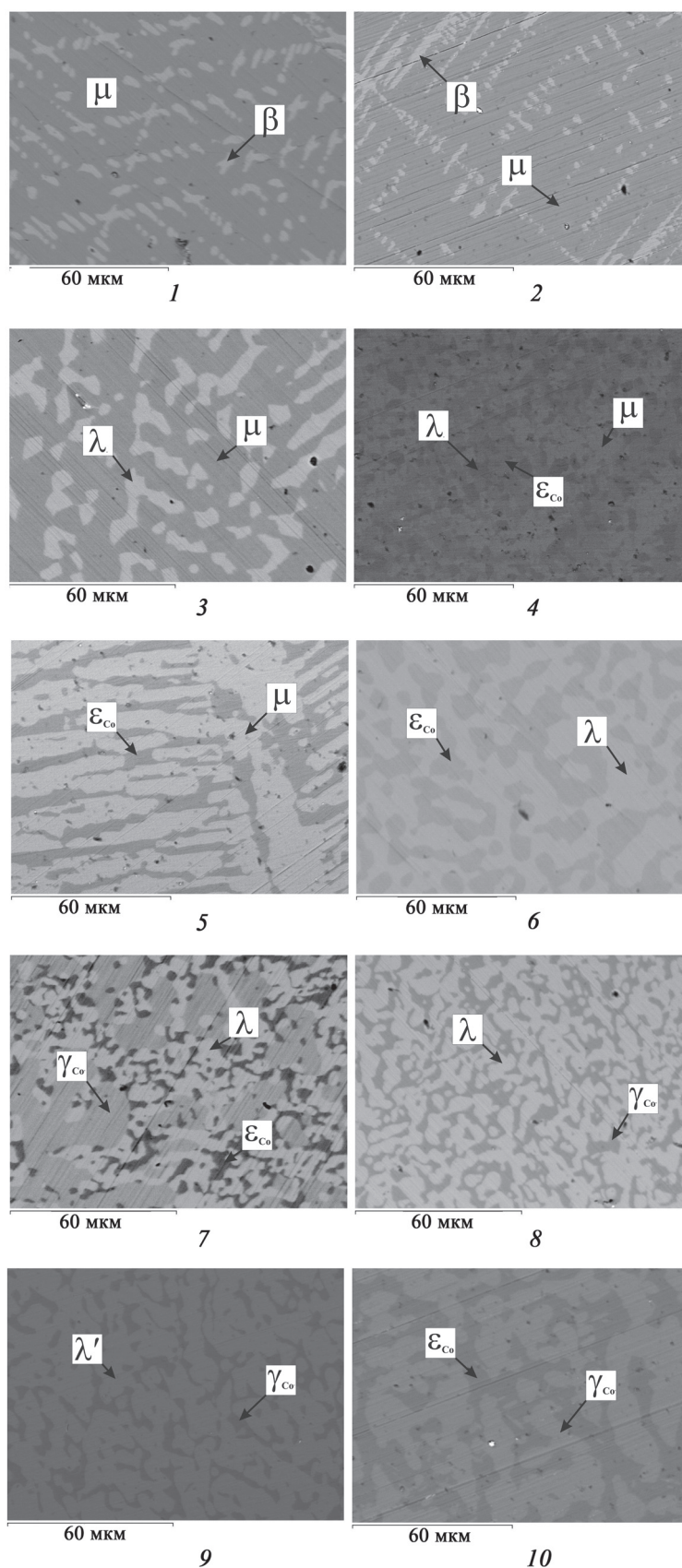


Рис. 3. Микроструктуры сплавов: 1 – № 4, 2 – № 6, 3 – № 12, 4 – № 16, 5 – № 17, 6 – № 20, 7 – № 21, 8 – № 22, 9 – № 23, 10 – № 25

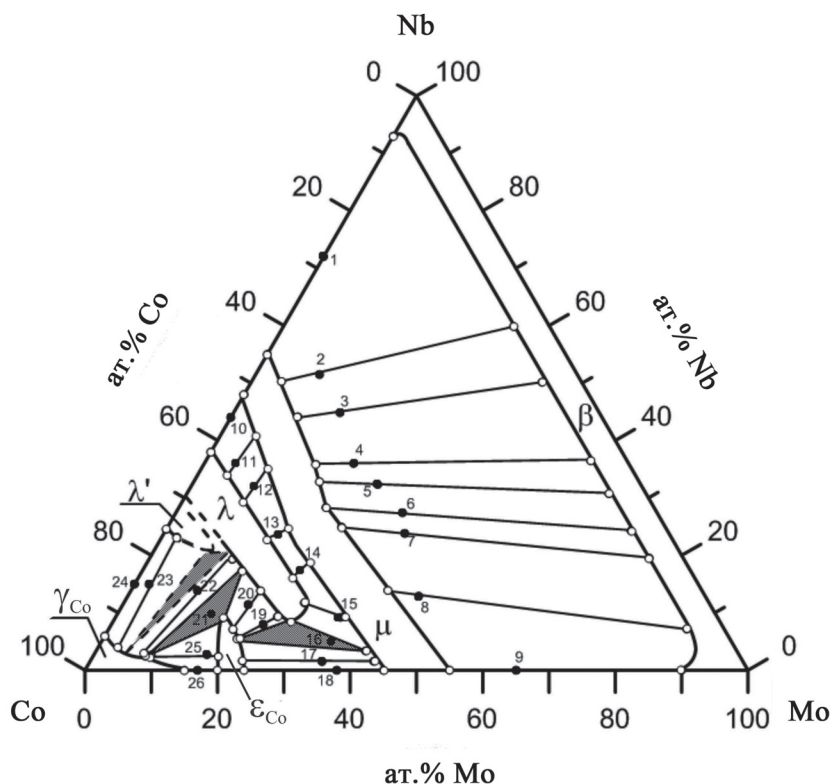


Рис. 4. Изотермическое сечение диаграммы фазовых равновесий трехкомпонентной системы Co–Nb–Mo при 1375 К с нанесенными на нее номерами сплавов согласно данным табл. 3

равновесии находятся фазы ϵ , μ и λ . Исследование сплавов № 17 и № 18 системы Co–Nb–Mo (рис. 3, 5 табл. 3) показало существование равновесия $\epsilon_{\text{Co}} + \mu$. Сплавы № 19–20 по результатам исследования являются двухфазными, содержащими фазы ϵ_{Co} и λ (рис. 3, 6 табл. 3).

Анализ результатов исследования сплава № 21 (рис. 3, 7, табл. 3) показал существование трехфазного равновесия $\gamma_{\text{Co}} + \lambda + \epsilon_{\text{Co}}$.

При исследовании сплава № 22 (рис. 3, 8, табл. 3) установлено, что только две структуры фазы Лавеса (MgCu_2 и MgZn_2) индицируются в сплаве, между которыми методом сканирующей электронной микроскопии не удалось установить фазовую границу, что указывает на образование политипов фаз Лавеса.

Сплавы № 23–24 являются двухфазными и по данным РФА содержат фазу γ_{Co} и фазу со структурой MgNi_2 (рис. 3, 9, табл. 3).

Исследование сплавов № 25–26 (рис. 3, 10, табл. 3) указывает на существование равновесия $\gamma_{\text{Co}} + \epsilon_{\text{Co}}$.

На основе полученных экспериментальных данных было построено изотермическое сечение диаграммы фазовых равновесий трехкомпонентной системы Co–Nb–Mo при 1375 К, приведенное

на рис. 4. В системе Co–Nb–Mo при 1375 К установлены два трехфазных равновесия $\gamma_{\text{Co}} + \epsilon_{\text{Co}} + \lambda$ и $\epsilon_{\text{Co}} + \lambda + \mu$. Растворимость ниобия в ϵ_{Co} фазе при 1375 К составляет 9,8 ат.%. В λ -фазе системы Co–Nb растворяется до 26,9 ат.% молибдена. Твердый раствор на основе Nb и Mo (β -фаза) растворяет в себе при 1375 К не более 5,5 ат.% Co. В отличие от данных работы [10] в настоящей работе при 1375 К обнаружен непрерывный ряд твердых растворов μ -фазы (структурный тип Fe_7W_6).

В настоящей работе при исследовании сплава № 22 (табл. 3) рентгенофазовым анализом обнаружено существование двух структурных типов MgCu_2 и MgZn_2 . В тоже время в сплаве № 23 для фазы Лавеса индицируется только структурный тип MgNi_2 (табл. 3). Из вышеизложенного можно предположить существование трехфазного равновесия $\gamma_{\text{Co}} + \lambda + \lambda'$.

Выводы

1. В системе Co–Nb–Mo при 1375 К установлены два трехфазных равновесия $\gamma_{\text{Co}} + \epsilon_{\text{Co}} + \lambda$ и $\epsilon_{\text{Co}} + \lambda + \mu$.
2. В системе Co–Nb–Mo при 1375 К обнаружен непрерывный ряд твердых растворов μ -фазы.
3. Предположено существование трехфазного равновесия $\gamma_{\text{Co}} + \lambda + \lambda'$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Reed R.C.* The Superalloys. Fundamentals and Applications. Cambridge, 2006.
2. Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок. / Под ред. Ч.Т. Симса, Н.С. Столоффа, У.К. Хагеля. Кн. 1. М., 1995. С. 128.
3. *Brewer L., Lamoreaux R.H.* // Binary Alloy Phase Diagrams. Vol 2 / Ed. T.B. Massalski. Ohio, 1990. P. 2631.
4. *Lamoreaux R.H., Brewer L.* // Binary Alloy Phase Diagrams. Vol 2 / Ed. T.B. Massalski. Ohio, 1990. P. 1208.
5. *Massalski T.B.* // Binary Alloy Phase Diagrams. Vol 2 / Ed. T.B. Massalski. Ohio, 1990. P. 1211.
6. *Pargeter J.K., Hume Rothery W.* // J. Less-Common Metals. 1967. Vol 12. P. 366.
7. *Баталева С.К., Куприна В.В., Маркив В.Я., Бурнашова В.В., Романи Г.Н., Кузнецова С.М.* // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 1970. Т. 11. С. 432.
8. *Raman A.* // Transactions of the Metallurgical Society of AIME. 1966. Vol 236. P. 561.
9. *Stein F., Jiang D., Palm M., Sauthoff G., Grüner D., Kreiner G.* // Intermetallics. 2008. Vol 16. P. 785.
10. *Селюкова С.В., Мешков Л.Л.* // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 1986. Т. 27. № 4. С. 398.

Поступила в редакцию 06.12.14

ISOTHERMAL SECTION OF THE PHASE DIAGRAM OF THE TERNARY SYSTEM Co–Nb–Mo AT 1375 K**R.Kh. Shaipov, E.Yu. Kerimov, E.M. Slyusarenko***(Department of General Chemistry)*

Isothermal section of the phase diagram of the ternary system Co–Nb–Mo at 1375 K has been constructed by means of equilibrium alloys. The existence of two three-phase equilibria $\gamma_{\text{Co}} + \varepsilon_{\text{Co}} + \lambda$ and $\varepsilon_{\text{Co}} + \lambda + \mu$ has been established in the Co–Nb–Mo system at 1375 K. The existence of three-phase equilibrium $\gamma_{\text{Co}} + \lambda + \lambda'$ has been suggested in this system at 1375 K.

Key words: phase diagram, equilibrium alloys, cobalt, niobium, molybdenum, electron probe microanalysis, scanning electron microscopy, X-ray analysis.

Сведения об авторах: *Шаипов Рамиль Хайдарович* – аспирант кафедры общей химии химического факультета МГУ (shaipov-ramil@mail.ru); *Керимов Эльшат Юсифович* – доцент кафедры общей химии химического факультета МГУ, канд. хим. наук (eukr@yandex.ru); *Слюсаренко Евгений Михайлович* – вед. науч. сотр. кафедры общей химии химического факультета МГУ, докт. хим. наук (slusarenko@laincom.chem.msu.ru).