

Ф. С. НОВИК, М. В. ЛОМОНОСОВ, А. Л. ТАТАРКИНА,
М. В. РАЕВСКАЯ, Е. М. СОКОЛОВСКАЯ

**ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ПРЕДЕЛЬНОЙ РАСТВОРИМОСТИ
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНОД
В СИСТЕМАХ Ru — NbRu — HfRu И Ru — NbRu — ZrRu**

(Представлено академиком В. И. Спицыным 27 IV 1972)

При температуре 1050° частная система Ru — NbRu — Me^{IV}Ru образована двумя диаграммами эвтектического типа (Ru — NbRu, Ru — Me^{IV}Ru) и одной — с непрерывной растворимостью компонентов (NbRu — Me^{IV}Ru). Ставилась задача определения линий граничной растворимости тройных твердых растворов ρ и $\alpha(\alpha')$, а также построения конод в области сосуществования этих твердых растворов.

В настоящей работе был использован следующий способ обработки данных при построении изотермических сечений тройных систем. В системе Ru — NbRu — HfRu выбрали три, а в системе Ru — NbRu — ZrRu — четыре двухфазных сплава. С помощью локального рентгеноспектрального анализа определили составы находящихся в равновесии твердых растворов $\alpha(\alpha')$ и ρ . Сплавы предварительно гомогенизировали при 1600° в течение 400 час., а затем закаливали с температуры 1050°. Точки предельной растворимости растворов $\alpha(\alpha')$ и ρ в системах Ru — NbRu и Ru — ZrRu установили методом диффузионных слоев (¹), соответствующие данные по системе Ru — HfRu взяли из работы (²). Все исходные данные суммированы в табл. 1 и показаны на рис. 1. Здесь приняты следующие обозначения: цифры — это изученные тройные сплавы, те же цифры с одним штрихом — составы твердого раствора $\alpha(\alpha')$, с двумя штрихами — твердого раствора ρ . Таким образом, в системе Ru — NbRu — HfRu (рис. 1А) имели по 5 точек на линиях предельной растворимости $\alpha(\alpha')$ - и ρ -твердых растворов и 5 конод. Соответственно в системе Ru — NbRu — ZrRu (рис. 1Б) имели по 6 точек на линиях растворимости и 6 конод.

Задача заключалась в том, чтобы по экспериментально полученным точкам найти уравнения линий предельной растворимости и, кроме того,

Таблица 1

Составы изученных сплавов и равновесных фаз в них при 1050°

Состав сплава, ат. %				Концентрация $\alpha(\alpha')$ -фазы, ат. %				Концентрация ρ -фазы, ат. %			
Ru	Nb	Hf	Zr	Ru	Nb	Hf	Zr	Ru	Nb	Hf	Zr
60	30	10	—	59,4	29,2	11,2	—	77,5	21,4	1,0	—
60	10	30	—	55,2	4,7	40,0	—	82,5	15,1	2,3	—
70	10	20	—	57,3	4,05	38,6	—	84,6	13,7	1,6	—
—	—	—	—	53,0	—	47,0	—	98,0	—	2,0	—
65	25	—	10	57,6	26,9	—	15,3	75,6	22,6	—	7,6
55	35	—	10	53,5	35,1	—	11,5	77,2	23,1	—	0,8
65	10	—	25	53,9	8,5	—	37,5	84,1	11,29	—	3,9
59	10	—	31	53,4	7,9	—	38,6	83,2	15,6	—	1,0
—	—	—	—	57,0	43,0	—	—	76,0	24,0	—	—
—	—	—	—	52,0	—	—	48,0	—	—	—	—

по тем же данным получить возможность провести все коноды в двухфазных областях. Для облегчения расчетов ввели новую систему координат. Начало координат расположили на сторонах Ru—HfRu (рис. 1А) и Ru—ZrRu (рис. 1Б), ось x выбрали совпадающей с этой стороной, ось y — перпендикулярно ей. Ввели новый параметр h , представляющий собой

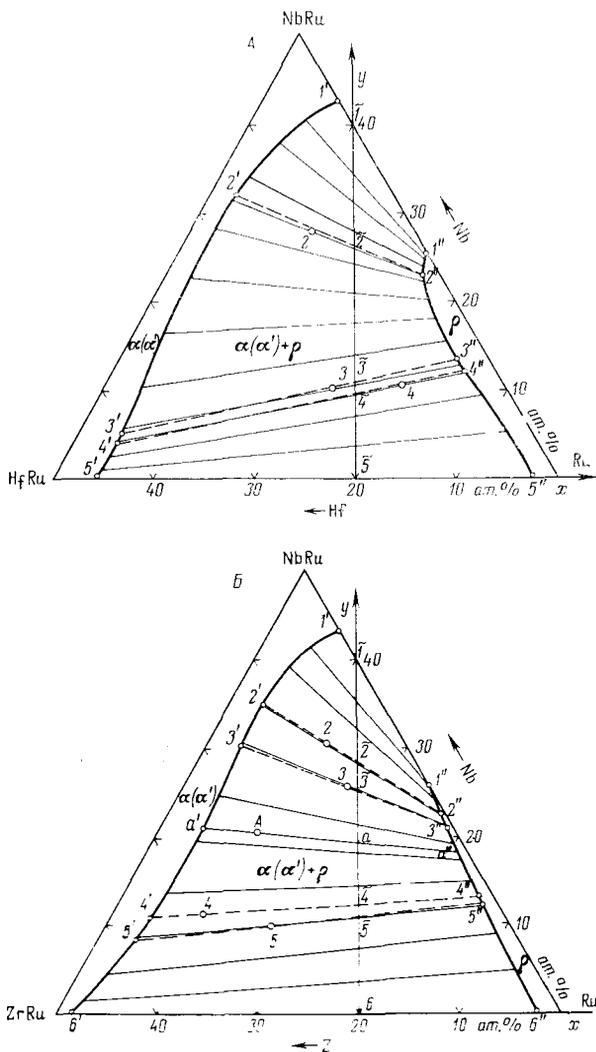


Рис. 1. Изотермический разрез систем Ru—NbRu—HfRu (А) и Ru—NbRu—ZrRu (Б) при 1050° С. Сплошные кривые — вычисленные, штриховые — экспериментальные

отрезок, отсекаемый на оси ординат той или иной конодой. Например, коноде 1'—1'' (рис. 1А) соответствует параметр h_1 , равный отрезку 1—5: коноде 4'—4'' (рис. 1Б) — параметр h_4 , равный отрезку 4—6, и т. д. Направление конод определяется некоторой величиной k , являющейся тангенсом угла наклона коноды в новых координатах. Естественно, что k зависит от h . Функцией от h являются и координаты точек (1', 1'', 2', 2'', ...), лежащих на линиях предельной растворимости. При известных конодах для получения точек на линии граничной растворимости достаточно определить одной координаты (x или y). Таким образом, уравнение

$$k = f(h), \quad (1)$$

$$x' = f(h) \quad \text{или} \quad y' = f(h), \quad (2)$$

$$x'' = f(h) \quad \text{или} \quad y'' = f(h) \quad (3)$$

полностью описывают линии предельной растворимости компонентов в обеих фазах и позволяют провести все коноды в двухфазных областях.

Общий вид уравнений (1)–(3), естественно, не известен. Задача, следовательно, сводится к хорошо известным способам подбора эмпирических формул по экспериментальным данным.

В табл. 2 приведены координаты всех исходных точек, значения k , характеризующие наклоны конод, и соответствующие величины параметра h .

Таблица 2

Исходные данные для построения уравнений линий ограниченной растворимости и определения направления конод в системах Ru–NbRu–HfRu и Ru–NbRu–ZrRu

$\frac{\text{Nb}}{\text{Ru}}$ п.п.	h	x'	x''	k	$\frac{\text{Nb}}{\text{Ru}}$ п.п.	h	x'	x''	k
Система Ru–NbRu–HfRu					Система Ru–NbRu–ZrRu				
1	0	5,7	8,7	0	1	0	9,3	5,9	0
2	2,6	3,9	8,0	0,22	2	3,4	7,2	4,1	0,11
3	3,0	3,3	7,4	0,28	3	3,4	6,9	3,9	0,09
4	7,5	2,8	2,0	-0,54	4	7,0	3,6	3,0	-0,40
5	11,5	2,7	0,4	-1,80	5	8,4	2,8	2,8	-0,67
					6	11,3	0,5	2,4	-1,74

Анализ зависимостей x' , x'' и k от h показал, что их общий вид в случае системы Ru – NbRu – HfRu следующий:

$$x_1 = a_1 + a_2 h + a_3 h^2, \quad (4)$$

$$x'' = b_1 + b_2 h + b_3 h^2, \quad (5)$$

$$k = c_1 h + c_2 h^2, \quad (6)$$

а для системы Ru – NbRu – ZrRu

$$x' = a_1 + a_2 h, \quad (7)$$

$$1/x'' = b_1 + b_2 h, \quad (8)$$

$$k = c_1 h + c_2 h^2. \quad (9)$$

По данным табл. 2 рассчитали коэффициенты уравнений (4)–(6) и (7)–(9). Расчет вели методом средних, причем, определяя зависимости k от h для обеих изученных систем, учитывали, что коноды 1'–1'' и 5'–5'' (рис. 1А), а также 1'–1'' и 6'–6'' (рис. 1Б) должны точно совпадать со сторонами концентрационного треугольника.

Оказалось, что соответствующие уравнения выглядят следующим образом. В системе Ru – NbRu – HfRu (рис. 1А) направление конод в области $\alpha(\alpha') + \rho$ определяется из выражения

$$k = 0,137 h - 0,0255 h^2, \quad (10)$$

линия предельной растворимости компонентов в $\alpha(\alpha')$ -твердом растворе – выражением

$$x' = 5,70 - 0,924h + 0,062h^2, \quad (11)$$

линия предельной растворимости в ρ -твердом растворе – выражением

$$x'' = 8,70 - 0,186h - 0,061h^2. \quad (12)$$

Соответственно в системе Ru—Nb—Ru—ZrRu (рис. 1B) коноды можно провести с помощью уравнения

$$k = 0,106h - 0,0227h^2, \quad (13)$$

линию предельной растворимости α (α')-твердого раствора — по уравнению

$$x' = 9,461 - 0,8045h, \quad (14)$$

линию предельной растворимости ρ -твердого раствора — по уравнению

$$1/x'' = 0,177 - 0,0219h. \quad (15)$$

Графически полученные результаты показаны на рис. 1. Вначале по уравнениям (10) и (13) при некоторых h проводили в двухфазных областях соответствующих систем ряд конод, а затем, рассчитав из уравнений (11) и (12), а также (14) и (15) по тем же значениям h координаты x' и x'' и отметив их на проведенных конодах, строили линии предельной растворимости.

В заключение укажем, что полученные уравнения позволяют определять составы равновесных фаз у любого двухфазного сплава изученных систем. Предположим, необходимо определить составы α (α')- и ρ -твердых растворов, находящихся в сплаве А (рис. 1B) при 1050° . Этот сплав содержит 60% Ru и по 20% Nb и Zr. В выбранной же системе координаты сплава А: $x_A = -3,25$, $y_A = 5,75$. Далее необходимо узнать для этого сплава параметр h и тогда можно будет пользоваться уравнениями (13)–(15). Очевидно, что уравнение коноды, проходящей через точку А, будет

$$y_A = h + x_A k(h). \quad (16)$$

Но зависимость k от h уже известна — это уравнение (13) или в общем виде (9). Подставим (9) в (16):

$$y_A = h + x_A(c_1 h + c_2 h^2)$$

или

$$c_2 x_A h^2 + (c_1 x_A + 1)h - y_A = 0. \quad (17)$$

Решение уравнения (17) и дает искомую величину h .

В нашем случае

$$0,0227 \cdot 3,25h^2 + (-0,106 \cdot 3,25 + 1)h - 5,75 = 0,$$

откуда $h_A = 5,44$ (отрицательный корень, очевидно, смысла не имеет). Определим теперь составы равновесных фаз в этом сплаве. Пользуясь уравнением (13), проведем вначале через сплав А коноду (рис. 1B), а затем по уравнениям (14) и (15) определим концы этой коноды, которые и будут являться составами фаз. В сплаве А при температуре 1050° находится α (α')-твердый раствор состава 54% Ru, 21% Nb и 25% Zr и ρ -твердый раствор состава 81% Ru, 18% Nb и 1% Zr. По правилу отрезков в сплаве имеется 77,6% α (α')-фазы и 22,4% ρ -фазы.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
11 IV 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Л. Татаркина, В. И. Грызунов и др., Сборн. Диаграммы состояния металлических систем, «Наука», 1971, стр. 197. ² Е. М. Савицкий, В. М. Полякова, Н. И. Рошан, Там же, стр. 190.