

$$D_{Nb} = (2,0^{+46,0}_{-1,9}) 10^4 \exp \left[ -\frac{85,9 \pm 8,1}{RT} \right], \text{ см}^2/\text{с}$$

при  $T = 1318 \div 1513 \text{ K}$ ;

$$D_{Ce} = (3,4^{+8,9}_{-2,4}) 10^2 \exp \left[ -\frac{72,5 \pm 4,5}{RT} \right], \text{ см}^2/\text{с}$$

при  $T = 1223 \div 1513 \text{ K}$ .

Для ниобия и церия получены значения коэффициентов диффузии в  $\alpha$ - и  $\beta$ -бериллии, т. е. в ГПУ- и ОЦК-решетках. Подвижность в ОЦК-решетке выше, чем в ГПУ\*.

По опубликованным работам [3, 4] и экспериментальным данным построен график зависимости энергии

Коэффициент диффузии и растворимость ниобия в бериллии Таблица 2

T, K	D, см <sup>2</sup> /с	S, ат.%	T, K	D, см <sup>2</sup> /с
1173±5	—	0,015±0,003	1473±5	(3,4±0,7) 10 <sup>-9</sup>
1318±5	(1,3±0,3) 10 <sup>-10</sup>	—	1493±5	(3,9±0,8) 10 <sup>-9</sup>
1393±5	(6,3±1,2) 10 <sup>-10</sup>	—	1513±5	(9,0±2,0) 10 <sup>-8</sup>
1423±5	(1,7±0,3) 10 <sup>-9</sup>	0,039±0,008	1538±5	(5,5±1,4) 10 <sup>-6</sup>

Коэффициент диффузии и растворимость церия в бериллии

Таблица 3

T, K	D, см <sup>2</sup> /с	S, ат.%	T, K	D, см <sup>2</sup> /с	S, ат.%
1223±5	(4,8±0,8) 10 <sup>-11</sup>	—	1513±5	(1,4±0,8) 10 <sup>-8</sup>	(0,30±0,05) 10 <sup>-2</sup>
1273±5	(1,2±0,2) 10 <sup>-10</sup>	—	1518±5	(4,2±0,8) 10 <sup>-8</sup>	—
1323±5	(4,0±0,8) 10 <sup>-10</sup>	(0,16±0,03) 10 <sup>-2</sup>	1523±5	(6±2) 10 <sup>-8</sup>	(0,45±0,13) 10 <sup>-2</sup>
1423±5	(2,6±0,5) 10 <sup>-9</sup>	—	1528±5	(3,0±0,8) 10 <sup>-7</sup>	—
1456±5	(4,8±0,9) 10 <sup>-9</sup>	(0,25±0,05) 10 <sup>-2</sup>			

активации диффузии от теплоты плавления диффундирующих элементов (рисунок), из которого видно, что очки, соответствующие переходным элементам, хорошо ложатся на прямую вида

$$Q = 13,8 \Delta H_{пл.}$$

Значительное отклонение точки, соответствующей церию, позволяет предположить, что редкоземельные

\* Для сравнения значения коэффициентов диффузии в ГПУ-решетке были экстраполированы до соответствующих температур.

металлы подчиняются иной зависимости, чем переходные.

Поступило в Редакцию 25/VI 1975 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грузин П. Л. Проблемы металловедения и физики металлов. М., Металлургиздат, 1952.
2. Ананьин В. М. и др. В сб.: Общие закономерности в строении диаграмм состояния металлических систем. М., «Наука», 1973, с. 184.
3. Папиров И. И., Тихинский Г. Ф. Физическое металловедение бериллия. М., Атомиздат, 1968.
4. Ананьин В. М. и др. «Атомная энергия», 1970, т. 29, вып. 3, с. 220.

УДК. 539.219.3:546.45:546.621

## Диффузия и растворимость алюминия в бериллии

ГЛАДКОВ В. П., СВЕТЛОВ А. В., СКОРОВ Д. М., ТЕНИШЕВ В. И., ШАБАЛИН А. Н.

В печати опубликованы результаты изучения само-диффузии Ве [1, 2], диффузии в бериллии Ni [3], С [4], Fe, Ag, Cu, H, He [5]. Данные по диффузионной подвижности и растворимости алюминия в бериллии необходимы, так как алюминий входит в число основных примесей промышленного металла и сильно влияет на его свойства. Диффузия алюминия в бериллии ранее не изучалась. Электронный локальный анализ двух-фазных сплавов показывает, что растворимость его в бериллии составляет 0,02 ат.% при 630°С [6].

В настоящей работе исследовался дистиллированный бериллий, переплавленный в дуговой печи на

водоохлаждаемом медном поду в атмосфере очищенного гелия (табл. 1). Для изучения диффузионной подвижности использовался метод снятия слоев и определения интегральной радиоактивности остатка образца. На поверхность образцов наносили слой AgCl<sub>3</sub>, содержащий изотоп <sup>26</sup>Al. При диффузионных отжигах изотоп <sup>26</sup>Al диффундировал из слоя Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Интенсивность  $\gamma$ -излучения определялась с помощью сцинтилляционного детектора УСД-1 с выводом информации на анализатор импульсов АИ-128-2. Амплитудный анализатор применялся для увеличения отношения полезного сигнала к фону и исключения погрешности от возмож-



Содержание примесей в литом бериллии

Таблица 1

Элемент	C · 10 <sup>-3</sup> , ат.%	Элемент	C · 10 <sup>-3</sup> , ат.%
C	75,2	Cr	0,5
Al	4	Cu	0,2
Fe	3,4	Mn	1,6
Si	1,0	Ni	0,5

ного присутствия в растворе изотопа других радиоактивных примесей. Для постоянного источника диффузии, из зависимости интегральной активности остатка образца  $I_h$  от глубины проникновения диффундирующего вещества  $x$  можно определить растворимость  $S$  диффундирующего элемента (табл. 2) в матрице образ-

Диффузионная подвижность и растворимость алюминия в бериллии

Таблица 2

T, K	D, см <sup>2</sup> /с	S, ат.%
1356 ± 5	(3,3 ± 0,5) 10 <sup>-7</sup>	—
1313 ± 5	(2,3 ± 0,7) 10 <sup>-7</sup>	0,10 ± 0,06
1248 ± 5	(8,7 ± 2,5) 10 <sup>-8</sup>	0,075 ± 0,028
1191 ± 5	(5,4 ± 1,7) 10 <sup>-8</sup>	0,069 ± 0,029
1068 ± 5	(3,7 ± 2,6) 10 <sup>-9</sup>	0,034 ± 0,015

ца. При этом используют известное выражение для определения концентрации в твердом растворе [7]:

$$C_{\text{тв.р}} = \frac{\left[ -\frac{\partial I(x)}{\partial x} \Big|_{x_0} + \mu I(x) \Big|_{x_0} \right]_{\text{тв.р}}}{\left[ -\frac{\partial I(x)}{\partial x} \Big|_{x_0} + \mu I(x) \Big|_{x_0} \right]_{\text{сл}}} C_{\text{сл}}, \quad (4)$$

где  $\mu$  — линейный коэффициент поглощения излучения;  $x_0$  — координата раздела слоя диффузанта и матрицы образца. Температурная зависимость коэффициента диффузии алюминия в бериллии в области температур 795—1083 °С выражается уравнением

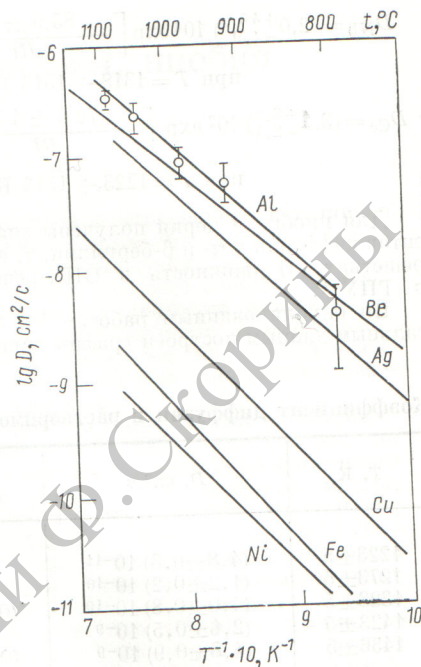
$$D = 1,0^{+2,1}_{-0,9} \exp \left[ -\frac{40200 \pm 4300}{RT} \right], \quad \text{см}^2/\text{с}. \quad (2)$$

Температурная зависимость для растворимости, полученная из экспериментальных данных, имеет вид

$$S = 13^{+18}_{-12} \exp \left[ -\frac{12600 \pm 2500}{RT} \right], \quad \text{ат. \%}. \quad (3)$$

Формулы (2) и (3) даны со среднеквадратическими погрешностями и рассчитаны по методу наименьших квадратов.

Экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что алюминий имеет более высокую диффузион-



Температурная зависимость коэффициентов диффузии различных элементов в бериллии. (Данные по диффузии Ag, Cu, Fe, Ni и самодиффузии из работы [5]).

ную подвижность по сравнению с другими изученными элементами, соизмеримую с подвижностью бериллия при самодиффузии в интервале температур 795—1083 °С (рисунок). Данные о растворимости, полученные экстраполяцией экспериментальных результатов до температуры 630 °С, согласуются с литературными сведениями [6].

Поступило в Редакцию 25/VI 1975 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дурoux I., Mathie I., Adda Y. «Mem. Sci. Rev. Metal.», 1966, v. 63, N 5, p. 481.
2. Павлинов Л. В., Григорьев Г. В., Севастьянов Ю. Г. «Физика металлов и металловедение», 1968, т. 25, № 3, с. 565.
3. Ананьин В. М. и др. «Атомная энергия», 1970, т. 29, вып. 3, с. 220.
4. Зотов В. С. и др. В сб.: Труды IV республиканского совещания «Получение и исследование свойств чистых металлов». Т. II. Харьков, изд. ФТИ АН УССР, 1970, с. 59.
5. Паширов И. И., Тихинский Г. Ф. Физическое металловедение бериллии. М., Атомиздат, 1968.
6. Шанк Ф. А. Структуры двойных сплавов. М., «Металлургия», 1973.
7. Ананьин В. М. и др. В кв.: Общие закономерности в строении диаграмм состояния металлических систем. М., «Наука», 1973, с. 184.