

И. И. КОРНИЛОВ

**НЕПРЕРЫВНЫЕ ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ МЕТАЛЛОВ ПЕРЕХОДНОЙ ГРУППЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ МЕНДЕЛЕЕВА**

(Представлено академиком И. И. Черняевым 22 V 1950)

При рассмотрении вопроса растворимости элементов в железе и классификации его твердых растворов<sup>(1)</sup> в основу было принято следующее положение: для образования непрерывных твердых растворов железа необходимо соблюдение двух основных условий:

- а) одинаковый тип кристаллической решетки,
- б) различие межатомных расстояний не более 8—10 %.

На основе этого правила была показана возможность образования непрерывных твердых растворов железа. Оно же позволило обсудить вопрос образования непрерывных твердых растворов железа не только в двойных, но в тройных, четверных и более сложных системах.

Пользуясь этим правилом, был также рассмотрен вопрос образования непрерывных твердых растворов на основе никеля. Никель, являясь аналогом железа, во многих отношениях подчиняется правилу растворимости элементов в железе. При соблюдении перечисленных выше двух условий не только никель, но и все элементы VIII группы (cobальт, металлы группы платины) способны образовать между собой непрерывные твердые растворы.

В развитие этих идей в настоящей статье обсуждается возможность распространения правила образования непрерывных твердых растворов на другие элементы.

В приведенных выше работах<sup>(1)</sup> было показано, что правило растворимости среди металлов особенно хорошо оправдывается при рассмотрении взаимной растворимости между элементами одних и тех же подгрупп А или подгрупп Б периодической системы Менделеева и наблюдаются некоторые отклонения при рассмотрении растворимости элементов подгрупп В в элементах подгрупп А.

При соблюдении перечисленных выше условий можно ожидать образования между элементами подгрупп А непрерывных твердых растворов. Таковыми являются преимущественно металлы III, IV, VI, VII и VIII групп или металлы так называемой переходной группы.

Образование непрерывных твердых растворов между металлами этих групп можно представить по трем классам, в соответствии с типом кристаллической решетки металлов растворителя. Этими тремя классами являются:

- 1) непрерывные твердые растворы с гранецентрированной решеткой (решеткой  $\gamma$ -Fe);

Таблица 1

Двойные системы металлов	Атомные диаметры металлов и различие между ними			Предполагаемая растворимость *	
	I	II	различие в %		
	в Å				

Непрерывные твердые растворы металлов с решеткой гранецентрированного куба

γ-Fe — Ni . . . . .	2,52	2,49	1,2	(2)
γ-Fe — Co . . . . .	2,52	2,50	0,8	(2)
γ-Fe — Rh . . . . .	2,52	2,68	6,3	(2)
γ-Fe — Pd . . . . .	2,52	2,74	8,7	(3)
γ-Fe — Ir . . . . .	2,52	2,71	7,6	(2)
γ-Fe — Pt . . . . .	2,52	2,77	9,9	(2)
β-Co — Ni . . . . .	2,50	2,49	0,4	+
β-Co — Rh . . . . .	2,50	2,68	7,2	(4)
β-Co — Pd . . . . .	2,50	2,74	9,6	+
β-Co — Ir . . . . .	2,50	2,71	8,4	(2)
β-Co — Pt . . . . .	2,50	2,77	10,8	+
Ni — Rh . . . . .	2,49	2,68	7,6	(2)
Ni — Pd . . . . .	2,49	2,74	10,0	+
Ni — Ir . . . . .	2,49	2,71	8,8	(2)
Ni — Pt . . . . .	2,49	2,77	11,2	+
Rh — Pd . . . . .	2,68	2,74	2,2	+
Rh — Ir . . . . .	2,68	2,71	1,1	(5)
Rh — Pt . . . . .	2,68	2,77	3,3	+
Pd — Ir . . . . .	2,74	2,71	1,1	(6)
Pd — Pt . . . . .	2,74	2,77	1,1	(2)
Ir — Pt . . . . .	2,74	2,77	2,2	

Непрерывные твердые растворы металлов с решеткой центрированного куба

α-Fe — Cr . . . . .	2,54	2,57	1,2	(2)
α-Fe — V . . . . .	2,54	2,69	5,9	(2)
Cr — Mo . . . . .	2,57	2,80	8,9	(7)
Cr — W . . . . .	2,57	2,82	9,7	(7)
Cr — V . . . . .	2,57	2,69	4,7	+
Mo — W . . . . .	2,80	2,82	0,7	(2)
Mo — V . . . . .	2,80	2,69	4,1	+
Mo — Nb . . . . .	2,80	2,94	5,0	+
Mo — Ta . . . . .	2,80	7,94	5,0	+
W — V . . . . .	2,82	2,69	4,8	+
W — Nb . . . . .	2,82	2,94	4,3	+
W — Ta . . . . .	2,82	2,94	4,3	+
V — Nb . . . . .	2,69	2,94	9,3	+
V — Ta . . . . .	2,69	2,94	9,3	+
Nb — Ta . . . . .	2,94	2,94	0	+

Непрерывные твердые растворы металлов с гексагональной решеткой

Ti — Ru . . . . .	2,93	2,68	9,3	+
Ti — Os . . . . .	2,93	2,70	8,5	+
Ti — Re . . . . .	2,93	2,75	6,6	+
Ti — Zr . . . . .	2,93	3,19	8,9	+
Ti — Hf . . . . .	2,93	3,47	8,2	+
Ti — Sc . . . . .	2,93	3,02	3,1	+
Zr — Hf . . . . .	3,19	3,47	0,6	+
Zr — Sc . . . . .	3,19	3,02	5,6	+
Hf — Sc . . . . .	3,17	3,02	5,0	+
Os — Ru . . . . .	2,68	2,70	0,8	+
Os — Re . . . . .	2,68	2,75	2,6	+
Ru — Re . . . . .	2,70	2,75	1,9	+

\* В этой графе цифры означают ссылки на литературу для изученных систем, + означает предположение о непрерывном характере твердых растворов систем, если они не изучены.

2) непрерывные твердые растворы с решеткой центрированного куба (решеткой  $\alpha$ -Fe);

3) непрерывные твердые растворы с гексагональной решеткой (решеткой  $\alpha$ -Ti) \*.

Случаи и возможности образования непрерывных твердых растворов по этим трем классам приводятся в табл. 1.

Таким образом, распространяя правило растворимости элементов в железе на другие металлы, можно считать, что металлы переходной группы, имеющие сходственные кристаллические решетки и различие атомных диаметров не более 8—10%, способны давать между собой непрерывные твердые растворы. Твердые растворы с гранецентрированной решеткой образуют между собой металлы VIII группы (см. табл. 1), имеющие гранецентрированную решетку (металлы группы железа и платины).

Из максимально возможного числа 21 системы неизученными являются 8 систем. В последних можно предполагать образование непрерывных твердых растворов.

Металлы V, VII и VIII групп с решеткой центрированного куба образуют твердые растворы в случае различия атомных диаметров не более 10% (см. табл. 1). Из общего числа 15 подобных систем экспериментально изучено только 5. В остальных 10 системах можно предполагать образование непрерывных твердых растворов.

Твердые растворы с гексагональной решеткой образуются между металлами III, IV, VII и VIII групп (см. табл. 1), имеющими гексагональную решетку и различие атомных диаметров не более 10%. Из общего числа подобных 12 систем изученных систем нет. Можно предполагать, что они будут давать непрерывные между собой твердые растворы.

Зная максимальное число двойных систем, образующих непрерывные твердые растворы по приведенным выше классам, нетрудно рассчитать по каждому из 3 классов число тройных, четверных и более сложных систем, образующих между собой непрерывные твердые растворы.

Институт общей и неорганической химии  
им. Н. С. Курнакова  
Академии наук СССР

Поступило  
3 V 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> И. И. Корнилов, Изв. АН СССР, ОХН, № 2, 104 (1945); № 4, 337 (1947); № 4, 370 (1948); № 5, 449 (1949); СФХА, 19, 457 (1949). <sup>2</sup> М. Хансен, Структура бинарных сплавов, 1941. <sup>3</sup> В. А. Немилов и Т. А. Видусова, Изв. сект. платины, 20, 240 (1947). <sup>4</sup> G. Grube и Winkler, Zs. Elektrochem., 41, 52 (1935). В. А. Немилов и Н. М. Воронов, Изв. Ин-та платины, 12, 27 (1935). <sup>6</sup> В. А. Немилов и Т. А. Видусова, Изв. сект. платины, 24 (1949). <sup>7</sup> W. Trzebiatowski, H. Ploszek and J. Lobsowski, Anal. Chem. News, 19, 93 (1947).

\* Твердые растворы на основе  $\beta$ -Ti (с решеткой центрированного куба) здесь не рассматриваются.