

К ВОПРОСУ О СВЕРХСТРУКТУРЕ В СПЛАВАХ ЖЕЛЕЗО-КРЕМНИЙ-АЛЮМИНИЙ

С. В. АРУТЮНЯН, Я. П. СЕЛИССКИЙ

На основании данных экспериментов, полученных дебаевским методом, обнаружено, что в тройных твердых растворах Fe—Al—Si существует непрерывная область изоморфных сверхструктур $Fe_3(Al, Si)$, простирающаяся в треугольнике концентраций между двумя двойными сверхструктурами Fe_3Al и Fe_3Si .

Одновременно методом исследования параметров сверхрешетки компонентов тройного твердого раствора $Fe_3(Al, Si)$ и согласно результатам Сато и Ямамото [5] обнаружено, что в стехиометрическом составе тройного твердого раствора $Fe_3(Al, Si)$ образуется трехкомпонентная сверхструктура Fe_3AlSi с упорядоченным распределением атомов всех трех сортов.

Из рассмотрения результатов подробного исследования электрического сопротивления твердых растворов Fe—Si—Al, богатых Fe, выполненного Масумото [1], вытекает, что в разрезах тройной диаграммы электросопротивление—состав, параллельных стороне Fe—Si, значения электросопротивления проходят через минимум [2]. Положения проекций этих минимумов на плоскость треугольника концентраций соответствуют составам, лежащим на прямой, соединяющей составы двойных сплавов Fe_3Al и Fe_3Si . Таким образом, результаты, полученные Масумото, являются первым указанием на возможность существования упорядоченных структур составов $Fe_3(Si, Al)$, располагающихся вдоль этой прямой. В дальнейшем одним из авторов [2] рентгенографически было показано существование сверхструктур в области составов, близких к сендасту (9,5% Si, 5,5% Al, остальное Fe) и были обнаружены изменения магнитных свойств этого сплава, связанные с образованием и разрушением сверхструктуры при различных скоростях охлаждения. Позднее Огава и Матсузаки [3] рентгенографически подтвердили существование сверхструктурной фазы типа Fe_3Al в этой области. Влияние скорости охлаждения на образование сверхструктуры в сендасте исследовали Геррод и Хоген [4], которые показали, что сверхструктура в сендасте обладает большой устойчивостью и ее образование не подавляется резкой закалкой от высоких температур в воде и холодной деформацией.

Исследование температурных кривых теплоемкости сплавов $Fe_3(Al, Si)$, выполненное Сато и Ямамото [5], показало, что при изменении состава от Fe_3Al к Fe_3Si вдоль прямой, соединяющей Fe_3Al и Fe_3Si , температура перехода из упорядоченного в неупорядоченное состояние изменяется более круто, чем температура, определяемая интерполированием по прямой, соединяющей точки перехода для Fe_3Al

и Fe_3Si (T_k для Fe_3Al 550° , тогда как T_k для Fe_3Si выше температуры 1250° перехода в жидкое состояние). Например, для сплава, содержащего $15 \text{ ат}\%$ Al, $10 \text{ ат}\%$ Si, остальное Fe, температура перехода, определяемая интерполированием, $\sim 800^\circ$, тогда как соответствующая температура, найденная экспериментально по пику на температурной кривой теплоемкости, $\sim 900-925^\circ$. К сожалению, данные о температурах перехода для сплавов всего разреза Fe_3Al-Fe_3Si отсутствуют, что, по-видимому, связано с большими экспериментальными трудностями измерений теплоемкости при высокой температуре. Этот факт указывает на возможность образования в ряду сплавов $Fe_3(Al, Si)$ промежуточной трехкомпонентной сверхструктуры, например, Fe_6AlSi с упорядоченным расположением всех трех сортов атомов.

В связи с этим представляло интерес: 1) получить непосредственное структурное подтверждение существования упорядоченных структур во всем ряду твердых растворов $Fe_3(Al, Si)$ от Fe_3Al до Fe_3Si ; 2) обнаружить эффекты, которые могли бы указать на возникновение промежуточной сверхструктуры с упорядоченным расположением атомов всех компонент сплава. В такой сверхструктуре атомы Al и Si, занимающие узлы в общей ГЦК решетке сверхструктуры типа Fe_3Al (или Fe_3Si), должны размещаться таким образом, что атомы Al и Si будут занимать по две простых кубических подрешетки с удвоенным периодом.

Из чистых шихтовых материалов в высокочастотной индукционной печи были выплавлены сплавы составов, расположенных на прямой, соединяющей двойные стехиометрические составы Fe_3Al и Fe_3Si . Для последующего исследования были отобраны сплавы с суммарным содержанием кремния и алюминия в среднем около $24,5 \text{ ат}\%$. Слитки были подвергнуты гомогенизирующему отжигу при 1000° , раздроблены на куски и размолоты в шаровой мельнице до получения мелкого порошка, который являлся объектом рентгеноанализа. Порошки, помещенные в вакуированные кварцевые ампулы, подвергались термической обработке по следующему режиму: $700^\circ-1 \text{ час}+800^\circ-20 \text{ мин}+580^\circ-1 \text{ час}+560^\circ-1 \text{ час}$, охлаждение со скоростью 10 град/час до 200° , далее, печью до комнатной температуры.

Рентгеноанализ производился по методу Дебая в камере с диаметром 114 мм и по методу Престона в камере с диаметром 172 мм на излучении Co при больших содержаниях Al и на излучении Fe при больших содержаниях Si.

Дебаевские рентгенограммы всех исследованных сплавов обнаружили линии, принадлежащие сверхструктуре типа Fe_3Al (или Fe_3Si) и таким образом подтвердили существование непрерывной области упорядоченных структур этого типа у всех сплавов составов $Fe_3(Al, Si)$. Однако различие интенсивностей линий сверхструктуры у сплавов различного состава было настолько незначительным, что установить какие-либо признаки образования тройной сверхструктуры в районе Fe_6AlSi на основании анализа интенсивности не оказалось возможным.

Составы всех исследованных сплавов и найденные для них значения периода решетки представлены в таблице. С уменьшением содержания Al период решетки тройного твердого раствора понижается. Эта зависимость может быть представлена двумя линейными ветвями (рис. 1), различие в наклоне которых несколько отличается от ошибки экспе-

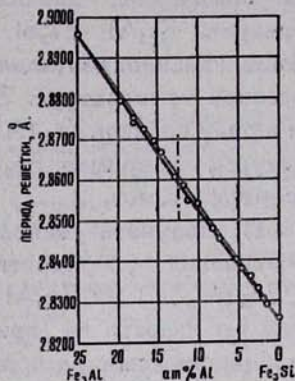


Рис. 1. Зависимость периода решетки от состава сплавов Fe—Si—Al в разрезе Fe_3Al — Fe_3Si .

Таблица
Химический состав и период решетки сплавов

№№	Вес % Si	Химический состав				Период решетки А
		вес % Al	ат. % Si	ат. % Al	ат. % Si+Al	
1	—	13,8	—	24,5	24,5	2,8960
2	2,85	10,8	4,95	19,65	24,6	2,8793
3	3,45	10,0	6,0	18,1	24,1	2,8749
4	4,05	10,0	7,06	18,1	25,16	2,8741
5	4,55	9,4	7,9	17,05	24,95	2,8724
6	4,85	8,6	8,5	15,65	24,15	2,8696
7	5,7	8,15	9,9	14,75	24,65	2,8664
8	6,55	7,15	11,42	12,95	24,37	2,8611
9	7,1	6,55	12,35	11,9	24,25	2,8586
10	8,1	6,2	14,05	11,25	25,30	2,8548
11	8,1	5,6	14,15	10,2	24,35	2,8543
12	9,8	4,6	17,0	8,34	25,34	2,8480
13	10,0	4,1	17,4	7,42	24,82	2,8457
14	11,0	3,0	19,2	5,42	24,62	2,8405
15	11,3	2,6	19,7	4,72	24,42	2,8378
16	11,95	2,0	20,8	3,62	24,22	2,8360
17	12,55	1,5	21,83	2,75	24,58	2,8327
18	13,0	1,1	22,62	2,0	24,62	2,8315
19	13,45	0,8	23,5	1,45	24,95	2,8290
20	14,2	—	24,7	—	24,7	2,8258

римента. На участке от 25 до 13 ат% Al наклон прямой, описывающей понижение периода решетки с уменьшением содержания алюминия, составляет $0,00296 \text{ \AA}/\% \text{ Al}$, тогда как на участке от 12 до 0 ат% $0,00264 \text{ \AA}/\% \text{ Al}$. Эта разница в величине наклона, незначительно превышающая ошибку опыта, хотя и может быть вызвана, в соответствии с результатами температурных измерений теплоемкости [5], образованием в упорядоченном твердом растворе $Fe_3(Al, Si)$ при стехиометрическом составе Fe_3AlSi трехкомпонентной сверхструктуры с упорядоченным распределением атомов всех трех сортов, однако, естественно, не является доказательством существования такой структуры.

В ы в о д ы

1. Показано, что в тройных твердых растворах Fe—Si—Al, богатых железом, существует непрерывная область изоморфных сверхструктур $F_3(Al, Si)$, простирающаяся в треугольнике концентраций между двумя двойными сверхструктурами Fe_3Al и Fe_3Si .

2. Зависимость периода решетки тройных твердых растворов в исследованном разрезе мало отличается от линейной.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. H. Masumoto, *Sciens Rep. Toh. Smp. Un., Handa Volume*, 388 (1953).
2. Я. П. Селицкий, *I. Phys. Sov. Un.*, 4, 566 (1941).
- Я. П. Селицкий, Б. В. Бауэр, *ЖТФ*, Сборник статей, 13 (1947).
3. S. Ogawa, J. Matsuzaki, *Nippon Kinzoku Gakkai-si* 15, 242 (1951).
4. R. J. Garrod, L. M. Hagan, *Acta Met.*, 2, 887 (1954).
5. H. Sato, H. Yamamoto, *J. Phys. Soc. Japan*, 6, 65 (1951).

ԵՐԿԱԹ-ՄԻԼԻՑԻՈՒՄ-ԱԼՅՈՒՄԻՆԻՈՒՄ ՀԱՄԱԶՈՒԿԱՄՔԻ
ԳԵՐԿԱՌՈՒՑՎԱՄՔԱՅՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՐՑԻ ՄԱՍԻՆ

Ս. Վ. ՀԱՐՈՒՅՆՈՒՆՅԱՆ, Յ. Պ. ՍԵԼԻՍԿԻ

Դերայի մեթոդով ստացված փորձնական տվյալների հիման վրա հայտնաբերված է, որ Fe—Al—Si եռակի պինդ լուծույթում գոյություն ունի $Fe_3(Al, Si)$ իզոմորֆային գերկառուցվածքի անընդհատ տիրույթ, որը տարածվում է խտացուցիչ եռանկյան Fe_3Al և Fe_3Si երկու կրկնակի գերկառուցվածքների միջև:

Միաժամանակ գերկառուցվածքային ցանցի պարամետրի հետազոտման մեթոդով, և համաձայն Սատոյի և Յամամատոյի [5] ջերմունակության չափման արդյունքի հայտնաբերված է էֆեկտ, որ $Fe_3(Al, Si)$ եռակի պինդ լուծույթի ստեխիոմետրիկական բաղադրիչում առաջանում է Fe_6AlSi երեք բաղադրիչային գերկառուցվածք բոլոր երեք բաղադրիչների ատոմների կարգավորված բաշխվածությամբ:

ON THE SUPERSTRUCTURE OF THE IRON-SILICON-
ALUMINIUM ALLOYS

S. V. HAROOTUNIAN and Ya. P. SILISKI

It is shown that in a triple solid solution of Fe—Al—Si exists a continuous domain of isomorphic superstructures $Fe_3(Al, Si)$ spread in the concentration triangle between two double superstructures Fe_3Si , Fe_3Al . At the same time an effect is revealed that in the stoichiometric composition, of the arranged solid solution of $Fe_3(Al, Si)$ a three-component superstructure of Fe_6AlSi is formed.