

Б. Г. ЛИВШИЦ и К. В. ПОПОВ

**УТОЧНЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ Fe — Cr — C**

(Представлено академиком Н. Т. Гудцовым 27 XI 1949)

Целью настоящего исследования было уточнение изотермического разреза диаграммы состояния системы Fe — Cr — C при температуре ниже критической. Основным результатом исследования представлен на рис. 1 в виде изотермического разреза диаграммы состояния рассматриваемой системы.

Исследуя процессы, протекающие при термообработке хромистых сталей, авторы установили, что существующей диаграммой состояния системы Fe — Cr — C пользоваться практически невозможно из-за ее неточности. Современные представления о диаграмме состояния этой системы опираются в основном на четыре работы (1-4), выполненные на сплавах промышленной чистоты. Изотермический разрез при 20° по Тофауте с сотрудниками и исправления по последующим работам приведены на рис. 1. Первые исследования (1-3) выполнены на литых сплавах весьма грубой структуры. В этих случаях сплавы исследовались в состояниях, далеких от равновесия при температуре ниже критической, так как охлаждение сплавов проводилось со слишком большой скоростью. Выделение карбидных фаз производилось весьма примитивным способом — растворением в кислоте. В работах (2, 3) совершенно недостаточно использован рентгеновский анализ. Следующие исследователи (4) выполнили свою работу на кованой стали, избежав тем самым затруднений, связанных с применением литого материала. Кроме того, они применили более медленное охлаждение в районе карбидных превращений. К сожалению, выделение карбидов в этой работе производилось также растворением в кислоте. Не использовали эти авторы и всех возможностей рентгеновского анализа. Несмотря на все недостатки методики, исследователям (4) удалось получить надежные опытные данные, позволяющие утверждать, что карбиды хрома (CrFe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> и (CrFe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> встречаются в стали при меньшем содержании хрома, чем это следует из диаграммы состояния, предложенной Тофауте с сотрудниками. Однако эти опытные данные

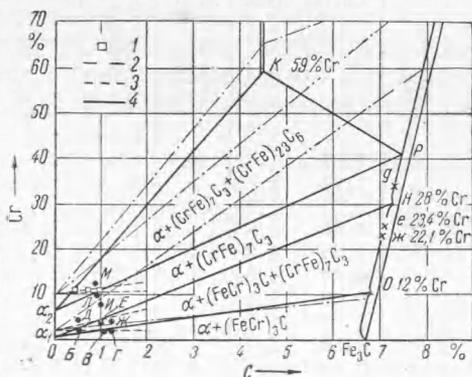


Рис. 1. Изотермический разрез диаграммы состояния системы Fe — Cr — C при температуре ниже критической. 1 — присутствие кубического карбида по Миркину и Блантеру, 2 — границы фазовых областей по Тофауте, 3 — то же по Миркину и Блантеру, 4 — то же по нашим данным

авторы использовали неправильно, предложенный ими разрез диаграммы состояния невозможен, что видно из продолжения до пересечения нанесенных ими линий. В настоящей работе учтены экспериментальные данные этих авторов (4).

Исследование изолированных карбидных фаз позволяет определять границы областей фазового равновесия на диаграмме состояния с гораздо большей точностью, чем качественный анализ сплава в целом. Поэтому представилось целесообразным не изготавливать большого количества сплавов с высоким содержанием углерода, в которых трудно получить однородную структуру, а ограничиться сталью, которая сравнительно легко гомогенизируется в ковном состоянии.

Состав исследованной стали приведен в табл. 1. Сталь для настоящего исследования была выплавлена в 50-килограммовой индукционной печи. Приближение к равновесию достигалось 100-часовыми выдержками при температуре 700°, а для стали с высоким содержанием хрома — особо медленным охлаждением с длительными выдержками в области 600—400°. Выделение карбидов производилось путем электрохимического растворения по методу, предложенному Н. М. Поповой (5). Выделенные карбидные осадки подвергались рентгенофазовому анализу по методу порошков с определением постоянных решетки\*.

Результаты рентгенофазового и химического анализа карбидов приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Обознач. стали	Состав стали в %		Присутствуют карбиды ***	Содерж. Cr в карбидах в %	Постоянные решетки карбидов в Å				
		C	Cr			цементита			тригонального	
						a	b	c	a	c
1	В	1,07	1,82	ц	—	—	—	—	—	—
2	Г	1,20	1,84	ц	11,5	4,504	5,062	6,714	—	—
3	Б	0,51	1,98	ц + т	—	4,512	5,075	6,711	13,85	4,488
4	Е	1,00	3,82	ц + т	23,4	4,507	5,071	6,714	13,85	4,488
5	Ж	1,24	4,25	ц + т	20,2	4,505	5,066	6,714	13,84	4,501
6	Д	0,50	4,34	т	33,0	—	—	—	13,92	4,490
7	И	0,98	7,8	т	—	—	—	—	13,92	4,487
8	Л	0,88	10,0	т	—	—	—	—	13,93	4,495
9	М	0,80	12,4	т + к	—	—	—	—	—	—
10*	—	0,43	11,1	к	—	—	—	—	—	—
11*	—	0,72	11,0	т + к	—	—	—	—	—	—
12*	—	1,00	11,0	т + к	—	—	—	—	—	—
13**	И	—	7,8	т + к	—	—	—	—	—	—

\* №№ 10, 11 и 12 представляют опытные данные И. Л. Миркина и М. Е. Блантера (4).

\*\* № 13 представляет результат фазового анализа карбида, выделенного из обезуглероженого слоя стали И.

\*\*\* Обозначения: ц — цементит (Fe, Cr)<sub>3</sub>C; т — тригональный карбид (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>; к — кубический карбид (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub>.

При нанесении границы областей (CrFe)<sub>3</sub>C + (CrFe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> + феррит и (CrFe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> + феррит возникает вопрос, действительно ли в карбидных осадках стали Д (0,50% C и 4,34% Cr) и И (0,98% C и 7,8% Cr) при приближении к равновесию при температуре ниже критической нет це-

\* Содержание хрома в карбидных осадках определялось спектрографически по методу, разработанному В. Г. Корицким и И. М. Веселовской в лаборатории спектрального анализа Московского института стали специально для данного случая, за что авторы выражают им свою глубокую благодарность.

ментита. Не присутствует ли здесь цементит в такой форме и таком количестве, что обнаружить его рентгеновским анализом просто невозможно? Ответ на этот вопрос дает сравнение постоянных решетки тригонального карбида, выделенного из разной стали. Исходя из общих положений учения о равновесиях в области тройного равновесия цементит — тригональный карбид — феррит, каждая из этих фаз имеет постоянный состав, а следовательно, и постоянные параметры решетки. Если обратиться к постоянной  $a$  тригонального карбида, то оказывается, что для стали Б (0,51% С и 1,98% Cr), Е (1,00% С и 3,82% Cr) и Ж (1,24% С и 4,25% Cr), несомненно относящейся к области тройного равновесия, размер этого параметра не меняется. При переходе же к стали Д (0,50% С и 4,34% Cr) величина  $a$  тригонального карбида резко возрастает. Это указывает на то, что сталь Д лежит уже вне области тройного равновесия феррит — цементит — тригональный карбид.

Наименьшее содержание хрома в карбидном осадке в случае несомненного присутствия только тригонального карбида, наблюдавшееся в настоящей работе, составляет 33%. Наибольшее содержание хрома в карбидном осадке в случае несомненного присутствия смеси тригонального карбида и цементита было 23,4%. Эти две цифры определяют положение предела растворимости железа в тригональном карбиде, который должен находиться между ними. Условно нами принято, что этот предел находится при 28% Cr (точка  $H$  на рис. 1).

Точка  $O$  — предел растворения хрома в цементите — нанесена при 12% Cr потому, что более высокого содержания хрома в карбидном осадке в случае несомненного присутствия только цементита наблюдать не удалось. Положение точки  $a_1$ , выражающей состав феррита, находящегося в равновесии с цементитом и тригональным карбидом, определено пересечением прямых (на рис. 1 не приведены)  $Ee$  и  $Жж$ , соединяющих точки состава сталей Е и Ж с точками состава соответствующих карбидных осадков.

Треугольник области равновесия феррит — тригональный карбид — кубический карбид определен в настоящей работе менее точно, так как для его построения не был применен количественный анализ изолированных карбидов. Граница, отделяющая эту область от двухфазной области феррит — тригональный карбид, построена на рис. 1 таким образом, что сталь И (0,98% С и 7,8% Cr) и Л (0,88% С и 10,0% Cr) лежит в двухфазной области феррит — тригональный карбид, а сталь М (0,80% С и 12,4% Cr) — в трехфазной области феррит — тригональный карбид — кубический карбид. Учтено, что по опытным данным предыдущих исследований (табл. 1, №№ 10, 11, 12) кубический карбид встречается в стали с 11% Cr по крайней мере до содержания С в 1,0%.

Область трехфазного равновесия феррит — тригональный карбид — кубический карбид своим железным углом опускается до содержаний хрома несколько ниже 7,8%, так как в сильно обезуглероженном слое стали И (7,8% Cr) был обнаружен кубический карбид.

Положение точки  $P$  на рис. 1 получено экстраполяцией этой границы. Точка  $K$  — предел растворимости железа в кубическом карбиде — нанесена по непосредственным экспериментальным данным Тофауте с сотрудниками (3), не использованным самими авторами при построении диаграммы состояния.

Поступило  
27 XI 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> A. Westgren, G. Phragmen, Tr. Negresco, Jernkont. Ann., 111, 513 (1927). <sup>2</sup> W. Tofaute, A. Sponheuer u. H. Bennek, Arch. f. Eisenhüttenwes., 8 (1934—35). <sup>3</sup> W. Tofaute, C. Küttner u. A. Büttinghaus, ibid., 9, No 12 (1935—36). <sup>4</sup> И. Л. Миркин и М. Е. Блантер, Металлург, № 8 (1940). <sup>5</sup> Н. М. Попова, Зав. лабор., № 10 (1945).