

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Б. Ю. МЕТТ и Р. И. ЭНТИН

**О КАРБИДООБРАЗОВАНИИ ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ РАСПАДЕ  
АУСТЕНИТА ХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ**

(Представлено академиком И. П. Бардиным 24 III 1950)

Изотермический распад аустенита сталей, легированных карбидообразующими элементами, в интервале температур перлитного превращения приводит к образованию цементита или специальных карбидов, обогащенных этими элементами.

Так например, в стали с 0,4% С и 4% хрома в результате распада аустенита при 600—750° образуется феррит и тригональный карбид хрома  $(\text{Fe, Cr})_7\text{C}_3$ , содержащий не менее 35% хрома. Следовательно, при распаде аустенита происходит значительное обогащение хромом отдельных областей от 4 до 35%.

Однако это обогащение может идти различным образом.

Начало распада аустенита в определенной области температур, следующей за точкой  $A_1$ , связано с образованием равновесного карбида и поэтому требует диффузии легирующего элемента. Такой ход процессов карбидообразования наблюдался при распаде аустенита в стали, легированной молибденом <sup>(1)</sup>.

М. Е. Блантер при изучении процессов карбидообразования в хромистых сталях показал, что на начальной стадии распада аустенита при 600° в некоторых хромистых сталях образуется цементит с содержанием хрома, отвечающим его средней концентрации в стали. Обогащение цементита легирующим элементом в этом случае обусловлено вторичным процессом диффузии, накладывающимся на процесс распада аустенита <sup>(2)</sup>.

Такой ход карбидообразования характерен для процессов распада мартенсита в легированных сталях <sup>(3, 4)</sup>.

С точки зрения выяснения механизма влияния легирующих элементов на кинетику изотермического распада аустенита особый интерес представляет изучение структуры карбидной фазы на начальной стадии распада и ее изменений в процессе распада.

В настоящей статье излагаются результаты исследования процессов карбидообразования при распаде аустенита в сталях, легированных хромом.

Химический анализ исследованных сталей и структура равновесных карбидов приведены в табл. 1. Слитки сталей подвергались диффузионному отжигу в течение 15—20 час. при температуре 1200° и затем проковывались. После удаления обезуглероженного слоя были изготовлены цилиндрические образцы длиной 50 мм и диаметром 12—13 мм. В случае кратковременных выдержек при изотермическом распаде (менее 15—20 мин.) образцы изготавливались полые с толщиной стенок 2—3 мм.

Таблица 1

Маркировка стали	Химический состав в %				Структура равновесного карбида	Критические точки Ас <sub>1</sub>
	C	Mn	Si	Cr		
X-4	0,33	0,6	0,42	3,87	(Cr,Fe) <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	835
X-8	0,47	0,69	0,41	8,37	(Cr,Fe) <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	865
X-16	0,47	0,48	0,27	16,2	(Cr,Fe) <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	905

Нагрев образцов под закалку производился в печи при температуре 1200° в течение 8—10 мин. Затем образцы переносились в свинцовую ванну, нагретую до различных температур, выдерживались определенное время и закаливались в воде.

Продолжительность выдержки подбиралась так, чтобы можно было фиксировать начальную стадию распада аустенита. Степень распада контролировалась по твердости. С наружной поверхности образцы обдирались на станке для удаления обезуглероженного слоя в 1—1,5 мм толщины. Затем производилось электролитическое выделение карбидной фазы. В качестве электролита использован раствор, предложенный Н. М. Поповой (1N KCl, 0,2N HCl и 0,5% Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sup>(5)</sup>. Плотность тока 0,02 а/см<sup>2</sup> поверхности образца, длительность электролиза 4 часа.

Рентгеносъемка карбидных осадков производилась в дебаевской камере на хромовом излучении; продолжительность экспозиции 12 час.

В табл. 2 приведены результаты экспериментов со сталью X-16.

При температурах 770, 750, 725 и 700° на начальной стадии распада аустенита образуется равновесный для данной стали кубический карбид (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub>. Химический анализ карбидного осадка образца № 6, соответствующего началу распада при 700°, показал содержание хрома 65%.

Таблица 2

№ обр.	Т-ра распада в °C	Продолжит. распада	Твердость R <sub>c</sub>	Структура карбидной фазы
1	Закалка от 1200°	—	52	—
2	в воде	2 ч.	34	(Cr, Fe) <sub>23</sub> C <sub>6</sub>
3	770	2 ч. 15 м.	43	"
4	750	1 ч.	47	"
5	725	5 ч.	14	"
6	700	50 м.	40	"
7	700	5 ч. 30 м.	20	"
8	650	40 м.	46	(Cr, Fe) <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + (Cr, Fe) <sub>7</sub> C <sub>3</sub>
9	650	1 ч. 45 м.	39	"
10	650	5 ч. 30 м.	14	(Cr, Fe) <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + (Cr, Fe) <sub>7</sub> C <sub>3</sub> следы
11	600	5 ч. 30 м.	43	(Cr, Fe) <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + (Cr, Fe) <sub>7</sub> C <sub>3</sub>
	600→	5 ч. 30 м. }	20	"
12	→700	5 ч. 30 м. }	32\	"
	550→	5 ч. 30 м.	16f	"
13	→700	3 ч.		"

При температурах 650° и ниже на начальной стадии распада аустенита образуется смесь кубического и тригонального карбида хрома (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> + (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>.

В предыдущей нашей работе<sup>(1)</sup> было показано, что в некотором интервале температур, непосредственно следующем за температурой равновесия А<sub>1</sub>, исходя из термодинамических условий должен обра-

зовываться и образуется на начальной стадии распада аустенита сразу стабильный карбид. Ниже некоторой температуры  $T_0''$  (см. (1), рис. 2) могут возникать и стабильный, и метастабильный карбиды. В этом случае возникновение того или иного карбида определяется кинетическими факторами — скоростью образования зародышей и их роста.

Вблизи температуры  $T''$  работа образования зародышей метастабильного карбида велика и скорость образования центров стабильного карбида больше. Поэтому при температурах ниже  $T_0''$  в структуре обнаруживаются оба карбида (образцы №№ 8, 9). Длительная выдержка приводит к переходу метастабильного тригонального карбида хрома в стабильный кубический (образец № 10).

Некоторые образцы (№№ 12 и 13) подвергались двойной изотермической обработке по режиму  $1200^\circ$  (10 мин.)  $\rightarrow 600^\circ$  или  $550^\circ$  (5 час. 30 мин.)  $\rightarrow 700^\circ$  (соответственно 5 час. 30 мин. и 3 часа). В обоих случаях рентгеносъемка осадка обнаружила наличие смеси карбидов  $(Cr, Fe)_{23}C_6$  и  $(Cr, Fe)_7C_3$ .

При одинарной обработке при  $700^\circ$  в течение 5 час. 30 мин. обнаруживается лишь один кубический карбид  $(Cr, Fe)_{23}C_6$ . Следовательно, образование смеси карбидов при двойной изотермической обработке следует объяснить термодинамическими условиями, определяющими возникновение тех или иных карбидов, а не накладываемым вторичным процессом диффузии. В противном случае диффузия при  $700^\circ$  в течение 5,5 час. (образец № 12) должна была привести к одинаковым результатам в отношении структуры карбидов, именно к структуре кубического карбида  $(Cr, Fe)_{23}C_6$ .

В табл. 3 приведены результаты экспериментов со сталями X-8 и X-4.

Таблица 3

№ обр.	Т-ра распада	Продолжит. распада	Твердость $R_c$	Структура карбидной фазы
Сталь X-8				
15	Закалка от $1200^\circ$ в воде	—	52	—
16	725	20 м.	43	$(Cr, Fe)_7C_3$
17	725	30 м.	36	"
18	725	3 ч.	10	"
19	700	15 м.	42	"
20	700	25 м.	20	"
21	650	43 м.	44	"
22	650	5 ч. 30 м.	14	"
23	600	4 ч. 30 м.	38	"
	550 $\rightarrow$	6 ч.	43	"
24	$\rightarrow 700$	30 м.	20	"
Сталь X-4				
25	Закалка от $1200^\circ$ в воде	—	44	—
26	700	10 м.	30	$(Cr, Fe)_7C_3$
27	700	1 ч.	16	"
28	650	1 ч.	35	"
29	650	2 ч.	18	"
30	600	2 ч. 30 м.	36	"
	550 $\rightarrow$	3 ч.	38	"
31	$\rightarrow 700$	1 ч.	14	"
	400 $\rightarrow$	1 ч.	43	"
32	$\rightarrow 700$	1 ч. 30 м.	18	$(Cr, Fe)_7C_3 + (Fe, Cr)_3C$

При температурах от  $550^\circ$  и выше на начальной стадии распада аустенита образуется стабильный для этих сталей тригональный

карбид  $(Cr,Fe)_7C_3$ . Химический анализ карбидного осадка образца № 17 стали X-8 показывает содержание хрома 55%.

При двойной обработке по режиму  $1200^\circ$  10 мин.  $\rightarrow$   $400^\circ$  1 час  $\rightarrow$   $700^\circ$  1 час 30 мин. рентгенограммы осадка показывали наличие смеси карбидов  $(Cr,Fe)_7C_3$  и  $(Fe,Cr)_3C$ . Это свидетельствует, в совокупности с данными о структуре осадка в образце № 27, об образовании в этой стали цементита при температурах «промежуточной» области распада аустенита.

На основании описанных экспериментов можно сделать заключение, что в хромистых сталях в определенной области температур, следующей непосредственно за точкой  $A_1$ , начало распада аустенита связано с образованием стабильного карбида.

Авторы выражают благодарность М. М. Шапиро за проведение химических анализов некоторых осадков.

Институт металлофизики  
ЦНИИЧМ

Поступило  
23 III 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. Ю. Метт и Р. И. Энтин, ДАН, 68, № 4 (1949). <sup>2</sup> М. Е. Блантер, ЖТФ, 18, в. 4, 529 (1948). <sup>3</sup> Г. В. Курдюмов и Р. И. Энтин, Отпускная хрупкость конструкционных сталей, 1945. <sup>4</sup> С. З. Бокштейн, ЖТФ, 19, в. 5 (1949). <sup>5</sup> Н. М. Попова и А. Ф. Платонова, Зав. лабор., 31, № 6 (1948).