

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. И. АРХАРОВ и С. Т. КИСЕЛЕВ

**К ВОПРОСУ О ВЫДЕЛЕНИИ КАРБИДОВ ПРИ ОТПУСКЕ
ЗАКАЛЕННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**

(Представлено академиком И. П. Бардиным 30 I 1948)

С целью выяснить поведение карбидов при отпуске закаленной легированной стали различного состава мы определили фазовый и химический состав карбидов у ряда сталей, химический состав которых указан в табл. 1, на разных стадиях термообработки, указанных в табл. 2.

Исследуемые образцы стали подвергались электролитическому растворению в ванне, содержащей 3% сернокислого закисного железа, 1% хлористого натрия и 0,5% лимоннокислого натрия, при комнатной температуре и при плотности тока 0,02—0,03 А/см². Образцы при растворении находились в коллодиевых мешочках. Осадки, оставшиеся нерастворенными, промывались спиртом, высушивались и подвергались рентгенографическому анализу по Дебаю, а также химическому анализу*.

Камеры типа Ивенсена предварительно градуировались по чистому золоту, каменной соли и железу армко. После определения угла отклонения, соответствующего краю тени от кассеты, столик-держатель образца закреплялся в стандартном положении и смена образцов в камере производилась при закрепленном положении столика. Исследуемый порошок помещался в широкий паз, прорезанный в плоской эбонитовой пластинке, вставлявшейся в столик камеры.

На рентгенограммах промерялись расстояния между каждой дебаевской линией и краем тени. Из этих расстояний определялись углы отклонения и, далее, соответствующие межплоскостные расстояния кристаллической решетки.

Таблица 1

№№ плавков	Химический состав исследованных плавков в процентах								
	C	Cr	Mo	W	Ni	Mn	Si	P	S
1	0,98	4,14	—	2,5	1,98	0,16	0,24	0,018	0,015
2	1,05	3,98	—	1,4	1,87	0,23	0,23	0,016	0,015
3	0,64	3,98	—	—	1,99	0,16	0,26	0,015	0,015
4	0,64	1,06	—	—	1,99	0,20	0,31	0,015	0,012
5	1,00	3,74	—	—	2,02	0,16	0,32	0,017	0,012
6	1,00	1,08	—	—	2,00	0,16	0,39	0,015	0,012
7	1,10	1,38	0,42	—	1,83	0,26	0,45	0,021	0,015
8	0,56	1,33	0,42	—	1,84	0,18	0,40	0,017	0,014
9	1,17	3,67	0,38	—	1,83	0,18	0,35	0,022	0,014
10	0,67	3,60	0,50	—	1,82	0,24	0,28	0,026	0,009
11	0,89	1,22	—	—	0,31	1,36	0,38	0,028	0,012
12	0,45	1,22	—	—	0,36	1,30	0,35	0,028	0,012

* Электролитическое растворение и химический анализ проводились в химической лаборатории Уралмашзавода под руководством инж. К. М. Орловой.

№№ плавков	Фазовый состав электролитически выделенных осадков			
	после отжига	после закалки и отпуска 8 ч. при 400°C	после закалки и отпуска 8 ч. при 500°C	после закалки и отпуска 8 ч. при 600°C
1	Fe_3W_3C	Кнт *	Кнт *	Fe_3W_3C
2	Fe_3W_3C	Кнт **	Кнт **	Fe_3W_3C
3	Cr_7C_3	Кнт	Кнт	Cr_7C_3
4	Fe_3C	Кнт ***	Кнт ***	Fe_3C
5	$Cr_7C_3 + Fe_3C$	Кнт	Кнт	Fe_3C
6	Fe_3C	Кнт ***	Кнт ***	Fe_3C
7	Fe_3C	Кнт	Кнт ** + Fe_3C	Fe_3C
8	Fe_3Mo_3C	Кнт	Кнт	Fe_3C
9	$Cr_7C_3 + Fe_3C$	Кнт **	Fe_3C	$Fe_3C + Cr_7C_3$ **
10	Cr_7C_3	Кнт	Fe_3C	Fe_3C
11	Fe_3C	Кнт ***	Кнт ***	Fe_3C
12	Fe_3C	Кнт ***	Кнт ***	Fe_3C

* Очень мало, ** мало, *** много.

Кнт — низкотемпературная фаза отпуска; Fe_3C — легированный цементит; Fe_3W_3C , Fe_3Mo_3C , Cr_7C_3 — сложные карбидные фазы, содержащие в различной концентрации легирующие элементы стали.

Во всех исследованных нами сталях, при их отпуске после закалки, на более низких ступенях температуры отпуска, наблюдается выделение

Таблица 3

Фаза Кнт

φ	d в Å	l	Размытость
22°02'	2,578	ср.	
26°56'	2,135	»	
34°02'	1,728	сл.	
36°26'	1,628	ср.	размытая
40°26'	1,491	оч. сильн.	
62°34'	1,089	оч. сл.	оч. размытая

на при отпуске стали плавки № 4 (табл. 1); эта картина содержит 6 дебаевских линий, характеризующих табл. 3.

Абсолютная интенсивность линий низкотемпературной фазы варьирует у разных сталей: у некоторых плавков выявлялись лишь наиболее сильные 2—3 линии. Однако положение этих линий у всех сталей было найдено одинаковым.

При более высоких температурах отпуска в тех же сталях появляются другие карбидные фазы, тогда как вышеуказанная низкотемпературная исчезает. В некоторых случаях, после отпуска при промежуточной температуре, наблюдаются одновременно низкотемпературная фаза и более стабильные карбиды.

Температура, выше которой происходит замена низкотемпературной фазы другими карбидными фазами, различна у сталей разного состава, но лежит (при одинаковой для разных сталей продолжительности отпуска — 8 час.) в области 400—500°C.

Как известно, Г. В. Курдюмов и его сотрудники⁽¹⁾ установили, что при низкотемпературном отпуске закаленных углеродистых сталей об-

разуется карбид железа, отличный от цемента и обозначенный ими Fe_xC .

Сравнение рентгенографических данных, полученных нами для низкотемпературной фазы отпуска наших легированных сталей, с данными для Fe_xC показывает, что эти две фазы различны по структуре.

Данные для Fe_xC Курдюмова и его сотрудников приведены для сравнения в табл. 4.

Данные химического анализа показывают, что в состав нашей низкотемпературной фазы входят, кроме железа, также и легирующие элементы.

Повидимому, этим обстоятельством и вызываются отличия ее по структуре от Fe_xC , хотя обе эти фазы представляют первичный продукт выделения из переохлажденного и пересыщенного твердого раствора углерода в железе. Возможно также, что некоторой степенью легированности следует объяснять и более высокую температуру замены низкотемпературной фазы более стабильными, сравнительно с аналогичным переходом Fe_xC . Как видно из наших опытов, эта температура перехода варьирует у низкотемпературной фазы со степенью легированности.

По данным химического анализа, низкотемпературная фаза менее легирована, чем карбидные фазы, выделяющиеся при более высоких температурах отпуска. Содержание легирующих элементов (Cr, W, Mo) в низкотемпературной фазе увеличивается при повышении содержания их в стали, при данном же составе стали — при повышении температуры отпуска. С ростом легированности низкотемпературной фазы ее устойчивость снижается. Это проявляется в том, что она образуется в меньшем количестве, а для некоторых случаев также и в том, что она заменяется другой, карбидной фазой при пониженной температуре.

Таблица 4

Фаза Fe_xC

φ	d в Å		Размытость
18°	3,130	оч. сл.	.
28°	2,060	сл.	размытая
31°	1,877	»	
44°	1,392	»	оч. размытая
52,5°	1,219	»	»

При повышении температурной границы, зависящей от состава стали, вместо низкотемпературной фазы образуется карбид, свойственный отожженному состоянию стали. У ряда сталей, содержащих в отожженном состоянии сложные карбиды типа Fe_3W_3C ($Cr_{23}C_6$) или Cr_7C_3 , наблюдается образование «промежуточной» карбидной фазы, а именно, легированного цементита $(Fe,Mo)_3C$.

Эта фаза соответствует промежуточной степени легированности между минимально легированной низкотемпературной фазой и сложными карбидами вышеуказанных типов, свойственными отожженному состоянию стали.

В исследованных нами вариантах состава стали замена никеля марганцем не сказывается на образовании низкотемпературной фазы и последующей замене ее при более высокой температуре отпуска.

В табл. 2 дана сводка результатов фазового анализа карбидных фаз в исследованных нами сталях. Низкотемпературная фаза в ней обозначена КнТ.

Если считать, что эта фаза является «промежуточным карбидом отпуска», то полученные нами результаты качественно согласуются со

сведениями, кратко сообщенными Г. В. Курдюмовым и Р. И. Энтиным⁽²⁾ о результатах неопубликованной работы Исайчева и Стеллецкой.

Однако не исключена возможность, что обнаруженная нами фаза не представляет собой карбида. Слабая дифракционная картина на довольно сильном фоне рентгенограммы показывает, что эта фаза, возможно, составляет лишь малую часть осадка, электролитически выделенного из стали. Остальная часть своей дифракционной картины не дает либо из-за высокой степени дисперсности, либо из-за аморфной своей природы. Высокое содержание углерода в осадке, таким образом, не доказывает еще карбидного характера наблюдаемой нами фазы.

Нами обнаружена корреляция между наличием этой фазы в составе стали и пониженной ударной вязкостью, а также интергранулярным характером излома (проходящего по границам исходного зерна аустенита). Возможно, что здесь мы имеем подтверждение гипотезы, высказанной ранее одним из нас⁽³⁾ о природе отпускной хрупкости стали.

Центральная заводская лаборатория
Уралмашзавода
и Институт физики металлов
Уральского филиала Академии Наук СССР

Поступило
10 I 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. Арбузов и Г. В. Курдюмов, ЖТФ, **10**, 1093 (1940). ² Г. В. Курдюмов и Р. И. Энтин, Отпускная хрупкость конструкционных сталей, **М.**, 1945, стр. 47. ³ В. И. Архаров, ДАН, **50**, 293 (1945).