

С. З. БОКШТЕЙН

КОАГУЛЯЦИЯ И РАЗЛОЖЕНИЕ КАРБИДОВ (ГРАФИТИЗАЦИЯ) ПРИ ОТПУСКЕ КРЕМНИСТОЙ СТАЛИ

(Представлено академиком Н. Т. Гудцовым 15 V 1950)

Введение легирующих элементов оказывает существенное влияние на процессы фазовых превращений при отпуске закаленной стали, что приводит к изменению строения и, следовательно, свойств отпущенной стали. Настоящая статья посвящена закономерностям коагуляции карбидов и процессу графитизации при отпуске закаленной кремнистой стали.

Исследованию подвергались среднеуглеродистая сталь (0,4% С) с переменным содержанием кремния (0,25; 1,75 и 2,75%). Количественное исследование микроструктуры производилось статистическим методом, описанным ранее ⁽¹⁾. Закалка стали проводилась с температуры 930° (первые две стали) и 980°, а последующий отпуск продолжительностью от 10 мин. до 25 час. при 700°.

А. Процесс коагуляции карбидов. Полученные при статистическом исследовании данные по распределению карбидных частиц по размерам на разных стадиях изотермического отпуска (700°) и изучение кинетики процесса показывают, что коагуляция карбидов кремнистой стали качественно не отличается от описанной ранее для углеродистой и никелевой стали ^(4, 5).

Б. Влияние кремния на дисперсность карбидов. Введение в сталь кремния задерживает развитие процесса коагуляции и приводит к уменьшению размеров карбидных частиц. В соответствии с этим возрастает число мелких и уменьшается число крупных частиц в стали, легированной кремнием, по сравнению с нелегированной. Действие кремния в смысле увеличения дисперсности карбидов, однако, относительно невелико (см. табл. 1).

В условиях продолжительного отпуска кремнистой стали наблюдается отклонение от общепринятого хода процесса коагуляции, что объясняется наложением параллельно протекающего другого процесса — графитизации.

В. Графитизация при отпуске кремнистой стали. В процессе изотермического отпуска (550—700°) кремнистой стали наряду с процессом коагуляции карбидов происходит разложение их.

Развитие идей А. А. Байкова ⁽¹⁾ и Н. Т. Гудцова ⁽²⁾ в работах советских металлургов позволило в значительной степени выяснить

Таблица 1

Влияние кремния на средний размер карбидных частиц ($d_{ср} \cdot 10^4$ мм, отпуск 700°)

% Si	10 мин.	30 мин.	1 час
0,29	3,57	4,32	4,49
1,75	3,44	3,99	4,25
2,75	3,16	3,50	3,87

сущность процесса графитизации ⁽³⁾. Однако особенностям процесса при отпуске среднеуглеродистой стали ($\sim 0,4\%$ C) уделялось относительно мало внимания.

В исследованной нами стали разложение цементита при отпуске устанавливалось различными методами.

1. Металлографически — по резкому уменьшению числа карбидов после продолжительного отпуска (см. табл. 2).

Таблица 2

Изменение числа карбидных частиц ($\times 10^{-4}$) в 1 мм³ в углеродистой и кремнистой стали при изотермическом отпуске (700°)

%Si	10 мин.	30 мин.	1 час	6 час.	25 час.
0,3	63,7	59,3	51,9	44,5	29,7
1,71	66,6	59,4	50,4	26,7	13,4
2,8	68,0	60,0	49,0	10,0	8,0

2. При помощи карбидного анализа ⁽⁶⁾ — по уменьшению в карбидном осадке в процессе изотермического отпуска (650°) количества железа (см. табл. 3).

Таблица 3

Изменение количества связанного углерода в процессе изотермического отпуска (650°)

	Состав стали			
	0,40% C, 0,3% Si	0,41% C, 1,75% Si	0,40% C, 2,75% Si,	
			650°	550°
30 сек.	0,40	0,40	0,40	—
5 мин.	0,40	0,39	0,39	—
30 мин.	0,40	0,41	0,40	—
1 час.	0,40	0,40	0,34	0,40
5 час.	0,40	0,33	0,05	0,39
25 час.	0,40	0,07	0,05	0,17

3. Рентгенографически. После длительного отпуска при высокой температуре (650°, 25 часов) дебаграмма высококремнистой стали (2,75%) характеризуется исчезновением линий ромбического карбида Fe₃C и появлением весьма интенсивной линии в начальной части рентгенограммы. Положение этой линии соответствует отражению (002) решетки графита. Слабая кристаллизационная способность структуры графита объясняет отсутствие других отражений, кроме плоскости базиса, наиболее густо усеянной атомами, и образование этой структуры после длительного отпуска.

Обсуждение

1. Из рассмотрения экспериментальных данных следует, что при изотермическом отпуске (550—700°) среднеуглеродистой кремнистой стали одновременно с процессом коагуляции происходит процесс разложения карбидов. Этим последним определяется своеобразие первого процесса.

Детальное изучение кинетики процесса коагуляции показывает, что разложение карбидов начинается с распада наиболее дисперсных частиц, т. е. наименее устойчивых. Это приводит для отдельных моментов отпуска, соответствующих началу заметного течения процесса графитизации, к необычайному увеличению среднего диаметра карбидных частиц. С дальнейшим течением отпуска в процесс разложения вовлекаются частицы больших размеров, в соответствии с чем на этой стадии отпуска имеет место уменьшение числа крупных частиц вместо нормального увеличения их и ненормальный рост числа средних по размеру карбидов.

Процессы коагуляции и графитизации на первых этапах своего развития протекают аналогично. Оба процесса начинаются с диссоциации карбидной частицы и, следовательно, чем дисперсней частицы, тем интенсивнее протекает начало обоих процессов.

Однако начальная стадия отпуска характеризуется преимущественно интенсивным протеканием процесса коагуляции карбидов, а разложение карбидов с заметной скоростью характеризует развитую стадию отпуска и получает преимущественное развитие вслед за интенсивной коагуляцией.

Образование структуры графита, в связи с плохой кристаллизационной способностью графита и необходимостью образования в твердом растворе объемов со значительной флуктуацией концентрации углерода, происходит после длительного отпуска.

2. Проведенные нами опыты показывают далее, что разложение карбидов при отпуске стали находится в зависимости от характера исходной структуры (см. табл. 4).

Таблица 4

Количество связанного углерода после различной обработки кремнистой стали (0,35% C, 2,55% Si)

№ п.п.	Термическая обработка	% C
1	Закалка 980°, отпуск 650°, 6 час. . .	0,15
2	Изотермическая обработка (980—650°, 6 час.)	0,35
3	Изотермическая обработка (980—650°, 6 час.) и последующий отпуск (650°, 6 час.)	0,35
4	Изотермическая обработка (980—300°, 2 часа) и последующий отпуск (650°, 6 час.)	0,16

Сопоставление данных карбидного анализа после изотермического отпуска и изотермического распада переохлажденного аустенита (650°) кремнистой стали (обработки 1 и 2) показывает разложение карбида в первом случае и отсутствие графитизации во втором. Сопоставление обработки 3 и 4 показывает далее, что в равных условиях отпуска (650°, 6 часов) в случае предварительного распада аустенита в перлитной зоне (650°), приводящего к образованию грубо пластинчатой структуры, разложения карбидов не происходит, а при распаде в промежуточной зоне (300°), приводящем к образованию тонко дисперсной структуры, имеет место при последующем отпуске значительный распад карбида железа.

Из приведенных данных следует, таким образом, что разложение карбидов при отпуске стали происходит при наличии параллельно про-

текающего процесса коагуляции. Последний заключается в диффузионном перемещении углерода в феррите. Сам факт непрерывного перемещения углерода в феррите в связи с растворением малых и ростом больших карбидных частиц приводит к появлению возможности образования объемов с высоким содержанием углерода, т. е. к графитизации стали, чему благоприятствует высокое содержание кремния, препятствующего, вероятно, формированию зародыша карбидной фазы.

В случае пластинчатой структуры диффузионное перемещение углерода в феррите после окончания распада аустенита, при выбранных условиях опыта, практически отсутствует. Поэтому графит может образовываться только в результате непосредственного разложения карбидов в объеме пластинки. Однако непосредственное разложение карбида без диффузии, как известно, из опытных данных, происходит с заметной скоростью в стали при более высоких температурах (порядка 900—1000°). Поэтому при температуре ниже критической (~650°) процесса графитизации пластинчатой структуры при отсутствии коагуляции практически не наблюдается.

Поступило
11 V 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Байков, ЖРМО, № 6, 846 (1914). ² Н. Гудцов, Ф. Баранов и О. Кузьмин, Металлург, №№ 5 и 6 (1936). ³ Н. Гиршович, Чугунное литье, 1949. ⁴ С. Бокштейн, ЖТФ, 17, в. 12 (1947). ⁵ С. Бокштейн, ЖТФ, 20, в. 3 (1950). ⁶ Н. Попова. Зав. лаб., № 10 (1945).