

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Е. З. ГРАЙФЕР и И. В. САЛЛИ

**ОБРАЗОВАНИЕ ГРАФИТА НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ
ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ В ВАКУУМЕ**

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 30 III 1954)

Выделение графита на поверхности стали при отжиге в вакууме наблюдалось в работах (1, 2). В работе (3) это явление исследовалось весьма тщательно. Было, например, достоверно доказано, что серые пленки, покрывавшие поверхность образца, действительно являются графитом. Факт выделения графита на поверхности стали привел авторов указанных работ, а также других исследователей металлов к выводу,



Рис. 1. $\times 350$



Рис. 2. $\times 200$

будто графит может выделяться из аустенита при высокотемпературной изотермической выдержке. Это представление явилось как бы подтверждением теории графитизации белого чугуна, согласно которой графитизация начинается с образования зародыша графита в аустените при высокотемпературной изотермической выдержке. Последующий рост таких зародышей приводит к полной графитизации белого чугуна. Невозможность выделения из аустенита чугунов при изотермической высокотемпературной выдержке была показана в работе (4). Настоящая работа посвящена исследованию процесса выделения графита на поверхность высокоуглеродистой стали, а также выяснению роли кремния как одного из важнейших легирующих элементов, применяющихся для получения графитизирующихся сталей и ковких чугунов.

Для исследования использовалась чистая углеродистая заэвтектоидная сталь с содержанием углерода порядка 1,5% и такая же сталь с добавкой 0,5% кремния.

Термообработка производилась в вакуумной печи с вольфрамовым

нагревателем, находившимся в вакууме. Конструкция печи позволяет производить закалку в вакууме ⁽³⁾. Закалочной жидкостью служила ртуть. Вакуум поддерживался в пределах 10^{-3} — 10^{-4} мм рт. ст. Перед помещением в печь образец полируется; во время нагрева в вакууме на полированной поверхности проявляется структура нагретого сплава.

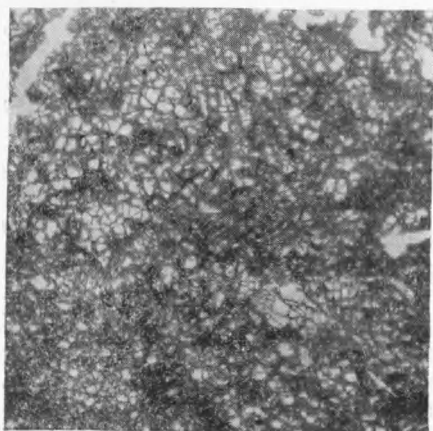


Рис. 3. $\times 250$

На полированной поверхности образцов чистой углеродистой стали после 30-минутной выдержки при температуре 1000° и последующего охлаждения вместе с печью появляются графитные выделения. На рис. 1 представлен снимок различных покрытий. Как видно из микрофотографии, серые графитные слои покрывают не все кристаллиты аустенита. В некоторых случаях на кристаллите, в котором произошло двойникование, одна часть покрыта графитом, другая, ориентированная к поверхности иначе, совсем не покрыта графитом. Графитные выделения имеют самую разнообразную форму: иногда они выделяются у самой границы зерен аустенита, иногда в центре зерна.

Скорость охлаждения является одним из основных факторов, определяющих кинетику выделения графита. При замедленном охлаждении количество кристаллитов, покрытых графитом, увеличивается, а сами покрытия утолщаются. Закалка совершенно исключает возможность выделения графита. На рис. 2 представлена микрофотография закаленного в вакууме образца. На поверхности хорошо видна структура мартенсита, но совсем нет выделений графита.

У образцов, содержащих кремний, на поверхности выделяется гораздо больше графита, чем у образцов чистой стали. Здесь почти все зерна аустенита покрываются графитом, слои графита гораздо толще, причем их строение приобретает зернистый характер (рис. 3).

Эксперименты однозначно показали, что графит на поверхности выделяется только при охлаждении образца после высокотемпературной выдержки (выше A_{cm}).

Выдержка продолжительностью до 40 час. образцов, содержащих глобулярный цементит, ниже A_{cm} т. е. в области равновесия аустенита и цементита, при любых условиях охлаждения выделений графита не дает (см. рис. 4, T_2).

Рассмотрим участок диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов (см. рис. 4). При нагреве образца до температуры T цементит растворяется, и весь углерод находится в твердом растворе. Образование критического зародыша графита при этой температуре невероятно, так как нет соответствующего пересыщения. При охлаждении, когда температура образца станет T_1 , аустенит пересыщается углеродом (по отношению к графиту). При этом пересыщение определяется линией $S'E'$ и становится возможным выделение углерода. Однако образование центра кристаллизации графита внутри образца мало вероятно, так как работа образо-

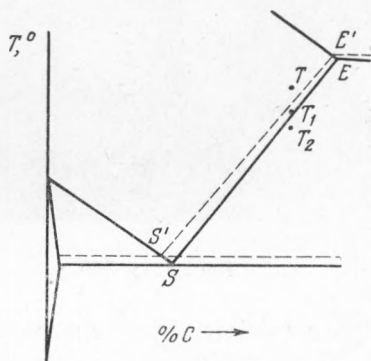


Рис. 4

вания трехмерного зародыша при таком небольшом пересыщении очень велика. Другое дело образование двухмерного зародыша на поверхности образца — здесь при благоприятном ориентационном соответствии работа образования (уже, очевидно, двухмерного зародыша) должна быть много меньше. При дальнейшем охлаждении образовавшийся двухмерный зародыш разрастается как в плоскости, так и в толщину.

При снижении температуры до T_2 на тех кристаллитах аустенита, которые ориентированы неблагоприятно для образования зародышей графита, возникают центры кристаллизации цементита. При дальнейшем снижении температуры происходит одновременный рост центров кристаллизации цементита. В образцах, содержащих кремний, выделение графита происходит гораздо интенсивнее. Это связано с тем, что кремний сдвигает линию $S'E'$ влево или же каким-либо образом увеличивает расстояние между линиями $S'E'$ и SE . Благодаря этой особенности при остывании образца достигается большее пересыщение аустенита еще до того момента, когда возникает сколько-нибудь значительная вероятность образования зародыша цементита. При таком пересыщении двухмерных зародышей графита образуется гораздо больше. Даже не совсем благоприятно ориентированные кристаллы могут послужить подкладкой для образования таких зародышей.

Этим, очевидно, объясняется тот факт, что у образцов, содержащих кремний, покрытых графитом кристаллитов гораздо больше. Общее же количество выделившегося на поверхности графита возрастает как за счет увеличения числа центров кристаллизации, так и за счет того, что из аустенита, содержащего кремний, выделяется больше углерода.

Естественно предположить, что в графитизирующихся сталях и белых чугунах трехмерные зародыши графита не могут возникнуть при изотермической выдержке. Процесс графитизации таких сплавов, скорее всего, заключается в росте уже готовых зародышей, образовавшихся во время остывания сплава.

Следует отметить, что очень важную роль в процессе графитизации белых чугунов и графитизирующихся сталей играют различного рода микронеоднородности: микропоры, микротрещины и т. д.⁽⁵⁾ При охлаждении отливки выделяющийся из аустенитной матрицы углерод, очевидно, покрывает внутренние поверхности микронеоднородностей, превращая их в будущие центры графитизации.

В заключение приносим искреннюю благодарность К. П. Бунину за ценные критические замечания и постоянный интерес к работе.

Днепропетровский государственный
университет

Поступило
9 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ E. Chimanguej, R. Ensminger, Trans. Am. Inst. Mining Eng., **67**, 392 (1922). ² Л. И. Шушпанов, Металлург, № 6 (1937). ³ G. Smith, M. Olney, Research, J. of Sci. and its Applications, **3**, № 4, 194 (1950). ⁴ И. В. Салли, П. Ю. Шульдинер, ЖТФ, **23**, № 2, 242 (1953). ⁵ К. П. Бунин, Н. М. Данильченко, Докл. АН УССР, № 4 (1950).