

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

К. П. БУНИН и А. В. ЧЕРНОВОЛ

**О ФОРМЕ ВКЛЮЧЕНИЙ УГЛЕРОДА ОТЖИГА
В МАГНИЕВЫХ ЧУГУНАХ**

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 22 I 1954)

Графитные включения, образующиеся при затвердевании серого магниевого чугуна, имеют форму более или менее правильных равноосных многогранников («глобулярный графит»). Включения графита, образующиеся при графитизирующем отжиге белого магниевого чугуна (включения «углерода отжига»), часто имеют такую же форму (см. рис. 1 а). Нередко, однако, они представляют собой только часть многогранника (см. рис. 1 б).

Для установления причины этого был исследован отожженный при 850, 950 и 1050° белый чугун с 3,03% С; 0,50% Si; 0,30% Mn; 0,09% P; 0,009% S и с 0,047; 0,076 и 0,093% Mg.

Белый чугун выплавлялся в высокочастотной электропечи и отливался в земляных формах в виде цилиндрических прутков диаметром 20 мм. Модифицирование чугуна производилось магнием (95,23% Mg).

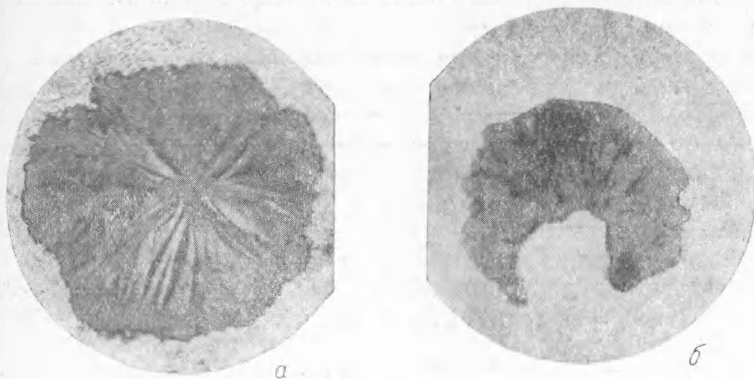


Рис. 1. Два вида включений углерода отжига в магниевом чугуне. $\times 800$

По ходу отжига образцы извлекались из печи и охлаждались на воздухе. Микроскопическое исследование таких образцов позволило установить картину роста включений углерода отжига на разных этапах графитизации белого чугуна. При микроанализе применялся поляризованный свет, который по сравнению с обычным имел то преимущество, что по выявлявшейся в нем лучистой поликристаллической структуре графитных включений можно было устанавливать направление роста кристаллитов, входящих в состав включения.

Установлено, что равноосные многогранные включения графита образуются лишь в том случае, если они растут в аустените, не приходя в соприкосновение с карбидом (см. рис. 2 а). Если же графитное включение в процессе роста оказывается с одной стороны в контакте с карби-

дом, а с другой — с аустенитом, то оно продолжает расти только в сторону аустенита, рост же в сторону карбида задерживается (см. рис. 2 б). В результате включение углерода отжига приобретает форму искаженного многогранника. Часто в этом случае часть или даже весь кристалл карбида оказывается включенным в графит (см. рис. 3). При дальнейшей выдержке углерод этого карбида переносится к графитному включению и вместо карбида образуется аустенит.

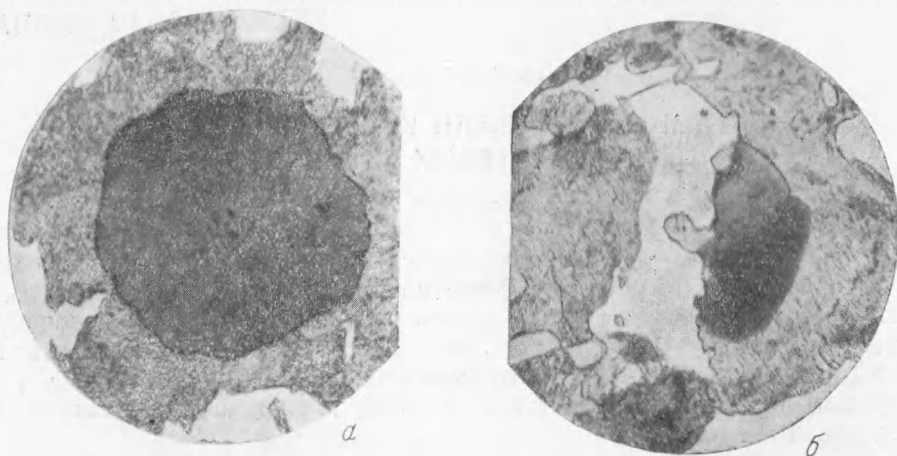


Рис. 2. Включения углерода отжига магниевого чугуна в процессе роста. $\times 800$

Было установлено также, что рост графитных включений в аустените, образовавшемся при затвердевании белого чугуна («первичный» аустенит), и в аустените, получившемся при отжиге из карбида («вторичный» аустенит), происходит с разной скоростью. В «первичном» аустените графитное включение растет быстрее, чем во «вторичном».

Таким образом, микроанализ непосредственно показывает, что форма графитных включений, образующихся при отжиге белого магниевого чугуна, определяется строением металлической матрицы. Встречающиеся отклонения от равноосной многогранной формы обусловлены структурной неоднородностью металлической матрицы — наличием в ней, наряду с «первичным» аустенитом, карбида и «вторичного» аустенита.

Раньше было показано, что узким звеном процесса роста графитных включений при отжиге белого чугуна, определяющим скорость их роста и форму, является не диффузия атомов углерода в металлической матрице к поверхности графита, а отвод атомов матрицы от этой поверхности (1, 2).

Полученные в настоящей работе данные подтверждают вывод о том, что форма включений графита определяется прежде всего условиями отвода атомов железа в матрице. В самом деле, если бы скорость роста и форма графитных включений были связаны с переносом углерода, то в наиболее благоприятные для роста условия попадали бы те участки поверхности графита, которые расположены ближе других к источнику углерода — к карбиду. Для них «диффузионное расстояние» мало, а градиент концентрации углерода наибольший. Поскольку, однако, включения графита разрастаются преимущественно в сторону аустенита, а не в сторону прилегающего карбида, постольку диффузия углерода не может быть признана процессом, определяющим скорость их роста и форму.

Рост графитных включений в белом чугуне возможен лишь постольку, поскольку осуществляется удаление относительно малоподвижных атомов железа из тех областей металлической матрицы, в которых зарождаются и растут графитные включения.

То, что передвижка атомов железа в матрице (осуществляющаяся путем самодиффузионных и дислокационных актов) действительно является узким звеном процесса, определяющим скорость роста и форму графитных включений, доказывается и другими экспериментальными фактами.

Известно, например, что в аустенитно-карбидной металлической матрице, имеющей нарушения сплошности, образование графита резко ускоряется. Рост графитных включений в порах не связан с передвижкой атомов железа и его скорость, действительно, определяется скоростью диффузионного переноса в металлической матрице небольших относительно подвижных атомов углерода. Факты «сверхбыстрой» графитизации установлены для пористых Fe — С композиций, изготовленных путем спекания ⁽³⁾, для чугунов, содержащих закалочные микротрещины ⁽⁴⁾, для чугунов с усадочными микропорами ⁽⁵⁾, при образовании графита на поверхности образцов ⁽⁶⁾.

С этой точки зрения становятся понятными и факты, установленные в настоящей работе.

При росте графитных включений в однородном аустените самодиффузионные и дислокационные акты обеспечивают более или менее равномерный отвод атомов железа во все стороны, и включения получаются равноосными. Границы зерен матрицы, вдоль которых в обычных белых чугунах наблюдается ускоренный отвод атомов железа, в чугунах, содержащих магний, не играют такой роли. Магний, концентрируясь на границах зерен, каким-то образом задерживает пограничную самодиффузию атомов железа, и этим самым исключается возможность образования графитных ответвлений по границам зерен.

Рост графитного включения в условиях, когда с аустенитом контактируется лишь часть его поверхности, а другая часть соприкасается с карбидом, происходит в условиях неоднородного отвода атомов железа от фронта графитизации. Включение практически растет лишь в сторону аустенита, в котором передвижка атомов железа происходит быстрее, чем в цементите. В сторону же карбида (являющегося источником углерода) графитное включение почти не растет, поскольку перемещение атомов железа в карбиде из-за более сильного межуатомного взаимодействия и, возможно, из-за меньшего числа вакансий затруднено.

Различие между «первичным» и «вторичным» аустенитом также может быть объяснено различием скорости передвижки атомов железа, обусловленным неравномерным распределением примесей между аустенитом и карбидом при затвердевании.

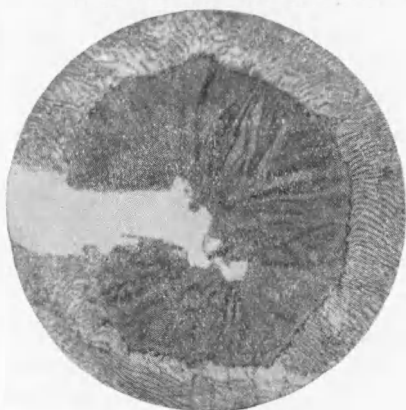


Рис. 3. Включение цементита в графите. $\times 800$

Поступило
20 VI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. П. Бунин, Н. М. Данильченко, ДАН, **72**, № 5 (1950). ² К. П. Бунин, Н. М. Данильченко, И. Г. Хейфец, Литейное производство, **1** (1952). ³ В. И. Лихтман, И. Н. Смирнова, ДАН, **86**, № 6 (1952). ⁴ К. П. Бунин, Н. М. Данильченко, ДАН, **82**, № 3 (1952). ⁵ К. П. Бунин, Н. М. Данильченко, Г. И. Иванцов, Литейное производство, **7** (1952). ⁶ К. П. Бунин, И. В. Салли, ДАН, **83**, № 6 (1952).