

Ю. Н. ТАРАН

СТРУКТУРА ШАРОВИДНОГО ГРАФИТА

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 3 III 1954)

Механические свойства серого чугуна во многом определяются величиной, формой и характером распределения графитных включений. Повышенная прочность отливок из модифицированного магнием серого чугуна связана с образованием в нем равноосных графитных включений. Строение этих включений мало изучено. В обширной литературе по магниевому чугуну можно назвать лишь несколько работ, в которых затрагиваются вопросы строения графитных включений.

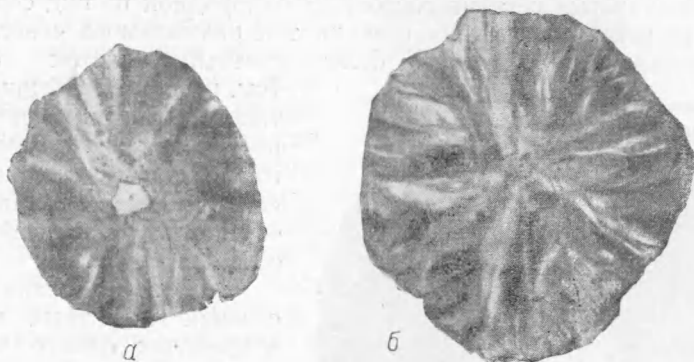


Рис. 1. Типичные структуры сечений графитных включений. $\times 800$

По мнению П. И. Степина ⁽¹⁾, каждое графитное включение магниевого чугуна представляет совокупность перистых кристаллитов, лучисто направленных из одного общего центра, что является типичной формой эвтектических образований, кристаллизующихся при значительном переохлаждении жидкости. Этот вывод является неправильным. Нельзя смешивать двухфазные эвтектические сферолиты с однофазными шаровидными включениями графита в магниевом чугуне.

По предположению Д. П. Иванова ⁽²⁾, графитные включения в магниевом чугуне состоят из пучка обычных кристаллов графита, растущих из одного центра.

Противоположный взгляд на строение шаровидных включений графита излагается в работе ⁽³⁾, согласно которой графитные кристаллики располагаются во включении таким образом, что их базисные плоскости перпендикулярны радиусу включения.

Наконец, в работе ⁽⁴⁾ предполагается существование двух принципиально отличных типов графитных включений шаровидной формы. В твердом состоянии в чугуне образуются графитные включения с лучистым строением, а в процессе затвердевания — графитные включения с нелучистым строением и центральными «светлыми пятнами».

Проведенное микроскопическое исследование шлифов магниевого чугуна, действительно, показывает, что сечения графитных включений плоскостью шлифа либо обладают лучистым строением, либо являются нелучистыми. Сечения первого рода выглядят состоящими из большого числа лепестков, берущих начало в центре сечения (см. рис. 1 б).

Таблица 1

№№ п.п.	Содержание в %						Молификатор	Макс. диаметр включ. в β
	C	Si	Mn	P	S	Ni		
1	3,02	1,3	0,56	0,39	0,020	—	Mg	10
2	3,31	1,5	0,63	0,48	0,015	—	Mg	150
3	3,60	2,6	0,82	0,08	0,032	—	Mg	22
4	3,20	1,8	0,45	0,03	0,008	—	Mg	40
5	3,10	2,45	0,62	0,056	0,020	—	Mg	35
6	2,99	0,55	0,60	0,09	0,025	—	Mg	50
7	1,95	1,02	0,58	0,04	1,38	—	—	35
8	1,5	—	—	—	—	98,5	—	5

Примечание. №№ 1—5 — графит образовался в процессе затвердевания отливки. №№ 6—8 — графит образовался в процессе отжига.

Имеется целая гамма лучистых структур — от тонколучистой до груболучистой. Нелучистые сечения состоят из однородной на вид серой массы графита с наличием в середине сечения так называемого «светлого пятна», представляющего собой более светлый участок структуры (см. рис. 1 а). Обычно размеры такого «светлого пятна» малы по сравнению с размерами всего сечения, однако иногда «светлое пятно» занимает значительную часть всей площади сечения.



Рис. 2. Структура графитного включения после деформирования. $\times 800$

Это разнообразие строения сечений графитных включений в пределах одного и того же шлифа характерно для всех исследованных нами 8 типов сплавов с шаровидным графитом, отличающихся по способу получения, химическому составу и микроструктуре (см. табл. 1).

Микроскопическое исследование с применением последовательной сошлифовки включений показало, что все графитные включения шаровидной формы обладают одинаковым строением, а различная структура их плоских сечений определяется расположением секущей плоскости (плоскости шлифа) относительно центра включения.

Методом последовательной сошлифовки исследовалось более 100 включений. Структура сечений верхнего края графитного включения характеризовалась наличием относительно крупного «светлого пятна», окруженного бесструктурной серой массой графита. По мере приближения сечений к центру включения величина «светлого пятна» уменьшалась.

При достижении центра включения «светлое пятно» исчезало, а структура сечений становилась лучистой. Лучистое строение сохранялось во всех последующих сечениях, снова удаляющихся от центра, при этом диаметр сечений уменьшался. Часто в середине сечений, лежащих ниже центрального разреза, снова появлялись «светлые пятна».

На основании описанных результатов исследования можно сделать следующий вывод. Графитные включения шарообразной формы представляют поликристаллические образования, состоящие из большого числа радиально направленных кристаллитов пирамидальной формы. Деформирование графитных включений при помощи алмазного индентора показало, что базисные плоскости графита располагаются в кристаллитах перпендикулярно радиусу включения. Разрушение кристаллитов графита происходило по плоскостям базиса, и следы разрушения имели в сечении вид концентрических многоугольников (см. рис. 2).

Нелучистость верхних сечений включения объясняется тем, что при разрезах, идущих выше центра самого включения, в образце остается большая часть тела включения (см. рис. 3 а). Группа попадающих в разрез кристаллитов опирается на центр включения и хорошо удерживается окружающей металлической матрицей, которая прочным кольцом охватывает не только нижнюю, но и часть верхней половины включения. Угол α между перпендикуляром к плоскости шлифа и осью кристаллита, попадающего в разрез (осевой угол), относительно мал даже для краевых кристаллитов. Все это приводит к тому, что в процессе шлифовки и полировки кристаллиты не отщепляются друг от друга, а срезаются, причем полированная поверхность среза имеет под световым микроскопом однотонный серый цвет. Центральные же кристаллиты, для которых осевой угол близок к нулю, дают в разрезе «светлые пятна», величина которых, естественно, должна уменьшаться с приближением к центру включения. Следовательно, «светлые пятна» не являются неграфитными зародышами включений, как это утверждалось рядом исследователей (⁴, ⁵) — это поперечные разрезы тех кристаллитов, базисные плоскости которых располагаются параллельно плоскости шлифа. Слабые силы межмолекулярного взаимодействия, которыми связаны между собой графитные слои, при шлифовке и полировке легко преодолеваются. Отдельные чешуйки графита отслаиваются друг от друга, и площадь разреза кристаллита имеет ровную поверхность, хорошо отражающую свет.

В случае разрезов, проходящих ниже центра включения, опорный пункт всех кристаллитов — центр включения — оказывается срезанным (см. рис. 3 б). Металлическая матрица имеет форму чаши с пологими краями и хуже удерживает краевые кристаллиты. Угол α для этих кристаллитов становится большим 90° . Вследствие всех этих обстоятельств конструктивная прочность включения резко снижается. Усилия, развиваемые при шлифовке и полировке, приводят к расщеплению и отслаиванию кристаллитов, отдельные кристаллиты и части их выполи-

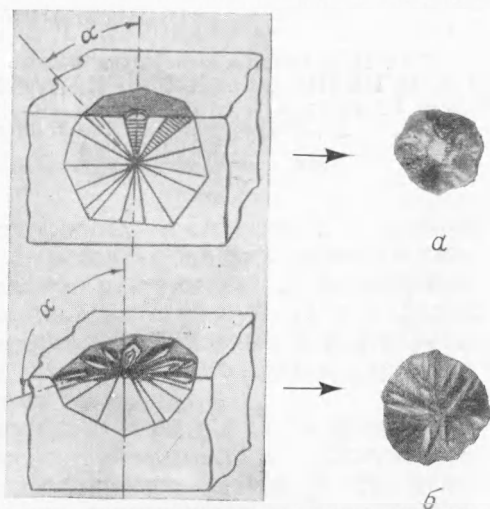


Рис. 3. Зависимость между расположением плоскости шлифа по отношению к центру включения и структурой сечений графитного включения

ровываются. В структуре сечений появляется микрорельеф из углублений более или менее симметричной формы — сечения становятся лучистыми. Характер микрорельефа, особенно четко выявляемого при исследовании в поляризованном свете, зависит от расположения сечения по отношению к центру включения.

Днепропетровский металлургический институт

Поступило
23 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. И. Стенин, Тр. Научн.-исслед. автомоб. и автомоторн. инст., в 64 (1952).
² Д. П. Иванов, Собрн. Высокопрочные чугуны, 1951. ³ H. Weld, R. Cunningham, F. Boswell, J. of Metals, 4, No. 7 (1952). ⁴ I. Rehder, Am. Foundryman, 21, No. 2, 5 (1952). ⁵ A. De Sy, Foundry, No. 37 (1949).