

## **Формоизменения включений графита при деформации высокопрочного чугуна**

*К.т.н. Баранов Д.А., к.т.н. Неснов Д.В.  
Донецкий национальный технический университет, Донецк,  
Украина*

Деформированный чугун с шаровидным графитом является перспективным конструкционным материалом, успешно заменяющим дорогие стали. Форма графита оказывает определяющее влияние на свойства железоуглеродистых сплавов. В связи с этим, важно знать какие изменения испытывает графит в процессе пластического деформирования чугуна. О формоизменении включений графита можно получить представление с помощью математической модели пластического течения разнородных материалов, составленных из фаз с разными реологическими свойствами. В связи с этим важную роль приобретает информация, полученная на основании металлографического исследования изменения облика графитных включений в процессе деформирования высокопрочного чугуна. Данные о виде сечений графитных частиц разными плоскостями шлифа были использованы нами при компьютерном репродуцировании трехмерных моделей графитных частиц [1].

Целью данной работы является изучение формоизменения графита в зависимости от температуры и степени деформации чугуна. Для решения данной задачи были выбраны и изучены микрофотографии шлифов холодно-, тепло- и горячекатаного, а также ковального чугуна. По полученным данным были построены трехмерные модели. Однако если учесть, что плоскость шлифа рассекает графитовые включения не только в срединной части (которая важна для построения графической модели), но и “хвостовых” и “краевых” частях, то для анализа формы включений нет необходимости исследовать все изображения полученные на микрофотографии. Поэтому для исследования формы включений на каждой микрофотографии было выбрано 20-30 изображений. Среди отобранных изображений было выделено усредненное, в наибольшей степени передающее форму графита. В результате этого были получены три усредненные проекции графита на взаимно перпендикулярные плоскости [2].

По полученным изображениям в графическом редакторе “КОМПАС” была построена трехмерная графическая модель. Так как модель представляет собой сложную геометрическую форму, то для ее формирования применялись различные операции “вращение”, “приклеивание”, “создание по сечениям”. Все операции, использовавшиеся при создании модели, отображаются в дереве построений, что позволяет в любой момент отредактировать как форму всей созданной модели, так и ее

части. Это позволяет гибко подходить к формированию объемных образов графита, внося по мере необходимости изменения в модель. Полученные модели позволяют проследить в динамике деформацию графита в чугуна при различных способах прокатки иковки с различной степенью деформации.

Следующим этапом в изучении свойств высокопрочного чугуна является создание математических моделей трехмерных компьютерных образов графита. Для построения математических моделей полученные трехмерные модели графитовых включений проецируются на три основные плоскости проекций, тем самым задача сводится к двумерной (плоской).

Создание двумерной (плоской) модели рассмотрим на примере деформированного графита (теплая деформация 20%, рисунок 1а). Изображение данной модели на боковой поверхности (вид сбоку) представлено на рисунке 1б. Для построения математического описания данной кривой весь контур данной кривой был разбит на 40 участков. В результате этого были получены координаты 40 точек, расположенных на данной кривой. Как показало дальнейшее исследование, данная разбивка является достаточной для построения кривых.

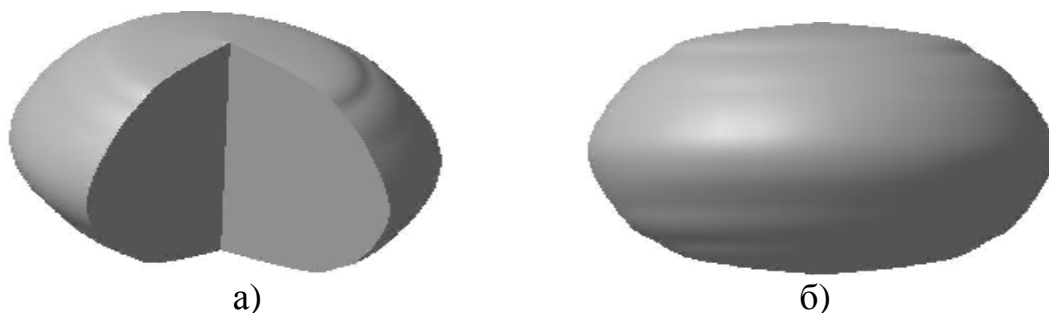


Рис.1. Компьютерная модель деформированного графита в теплокатаном чугуна (степень деформация 20%): а – общий вид, б – боковая поверхность

Полученные в результате разбивки координаты точек передавались в программу MS Excel, где и были построены кривые, а так же получены математические зависимости (верхней и нижней части соответствующего облика), которые описывают компьютерный облик деформированного графита (рис. 2). При наложении полученных математических кривых на проекцию модели оценивалась точность полученных кривых и уравнений, которая в рассматриваемых случаях не превышала 5-7% (рис. 3).

Такая точность является достаточной и это обосновано тем, что при построении трехмерной модели ее контуры выбирались на микрофотографиях шлифов деформированного чугуна, при этом форма модели в какой либо из трех плоскостей бралась усредненной в диапазоне формоизменений чугуна на данной плоскости. Полученная точность кривых и формул не выходила за пределы выбранного диапазона. Поэтому

можно утверждать, что полученные математические модели соответствуют полученным экспериментальным образцам шлифов деформированного чугуна.



Рис. 2. Наглядный вид фигуры, описывающий компьютерный облик деформированного графита (теплая деформация 20%)



Рис. 3. Оценка точности математических моделей

Создание математических моделей непосредственно самих трехмерных включений позволяет решать не только двумерные задачи определения свойств чугуна, но и объемные трехмерные задачи. Трехмерное представление позволяет перейти от решения двух или трех плоских задач для выбранной формы графита к единой. Авторы благодарят доктора технических наук, профессора В.И. Алимова за научные консультации и обсуждение круга вопросов по управлению формоизменением графитных включений в высокоуглеродистых сплавах.

#### Литература

1. Баранов Д.О., Неснов Д.В. Компьютерне моделювання формозміни графіту при деформації високоміцного чавуну // *Металознавство та обробка металів.* – 2002, № 4. – с. 13 – 17.
2. Баранов Д.А. Механотермические способы совершенствования многофазных железных сплавов. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 232с.