

УДК 669:539.2

С.В.Андреева (асп., каф. СиС), А.А.Казаков, д.т.н., проф., Е.И.Казакова, вед. инж.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Современное производство чугуна требует быстрого и качественного контроля структуры чугуна. Стандартные методы контроля включений графита малопроизводительны и осуществляются методом сравнения с эталонными структурами. Кроме этого, в некоторых случаях классификация форм включений графита не охватывает всего их многообразия и не позволяет определить достоверные зависимости формы графита от его свойств. Также, ГОСТ 3443-77 подразумевает наличие на образце только одного типа включений, хотя на практике чугун часто имеет включения разных типов. Применение компьютерного анализа изображения позволяет упростить и расширить возможности контроля структуры, а также исследовать влияние структуры на свойства чугуна.

Целью данной работы являлось – разработка методики оценки качества структуры чугуна, в том числе, с шаровидным графитом, и нахождение взаимосвязи структуры чугуна с его механическими свойствами.

В работе исследовали десять образцов высокопрочного чугуна GGG.40.3 с шаровидным графитом.

Шлифы для металлографического анализа приготавливались на оборудовании фирмы «Buehler»: прессе Simplimet и шлифовально-полировальном автоматическом станке Phoenex 4000, с использованием следующих расходных материалов: смолы ЕРОМЕТ, шлифовальной бумаги на основе SiC Carbimet, полировальных тканей Trident, Nylon и Microcloth, а также, алмазных паст Metadi 6 и 3 мкм и суспензии Masterpolish, с размером абразивных частиц 0,05 мкм.

Исследование проводили на шлифах без травления, с целью изучения графитовых включений, и с травлением, с целью изучения зеренной структуры металлической матрицы и выявления процентного содержания перлита. Для выявления общей структуры чугуна использовали 4%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте. Панорамные изображения полученных шлифов получены при увеличении $\times 100$ и $\times 200$.

Металлографический анализ производился на анализаторе изображения Thixomet. Были сняты панорамные изображения структуры, состоящие из нескольких десятков обычных полей зрения, при увеличении, обеспечивающем размер пикселя $0,8 \pm 0,3$ мкм и наличии не менее 500 графитовых частиц для последующей оцифровки их параметров. Распознавались все графитовые включения независимо от их формы, при этом из анализа исключались все включения, попадающие на границы панорамы, так как их метрические параметры невозможно точно измерить и включения имеющие площадь менее 10 мкм, так как точные значения их периметра и площади при данном увеличении получить невозможно.

Для каждого включения производилось измерение его площади, периметра и максимального диаметра по Ферету. Далее, так же для каждого включения, рассчитывались следующие параметры:

а). Фактор формы F_1 : $F_1 = 4\pi A/P^2$, где P – периметр графитового включения, A – площадь графитового включения.

б). Фактор формы F_2 : $F_2 = \text{площадь графитового включения} / \text{площадь эквивалентного круга}$, где площадь эквивалентного круга: $\text{площадь круга} = \pi(\text{макс. диаметр по Ферету})^2/4$.

Далее, для каждого из образцов находили параметр шаровидности образца и удельное число шаровидных включений.

Для определения параметра шаровидности, из полученных факторов формы F_1 и F_2 рассчитывали их среднее значение, а также процентное содержание включений со значением фактора формы $\geq 0,6$: % шаровидности = $100(\sum A_{i \geq 0,6})/(\sum A_i)$, где $A_{i \geq 0,6}$ – площадь включения с фактором формы $\geq 0,6$, A_i – площадь всех включений, принятых к расчету.

Удельное число шаровидных включений представляет собой количество графитовых включений с фактором формы $\geq 0,6$, деленное на площадь поля панорамного изображения и выраженное как «количество частиц на мм^2 ».

Также, для интерпретации механических свойств исследованных образцов, наряду с вышеописанными характеристиками графитовых включений, средствами Thixomet были определены следующие характеристики структуры:

- разделение всех графитовых включений на шаровидный и вермикулярный графит, а также определение их содержаний и законов распределения по размерам;
- определение относительной площади металлической матрицы, охваченной междендритным и розеточным вермикулярным графитом;
- определение балла зерна феррита;
- определение процентного содержания перлита.

При помощи программы STATISTICA был проведен корреляционный анализ механических свойств чугуна от полученных параметров структуры и построены графики этих зависимостей.

Из проведенного анализа видно, что статистически значимыми являются зависимости характеристик прочности и пластичности высокопрочного чугуна GGG 40.3 от факторов формы, параметров шаровидности и объемного процента вермикулярного графита. Эти зависимости носят немонокотный пороговый характер: по мере увеличения глобуляризации графитовых включений и сокращения доли вермикулярного графита выше соответствующих критических значений, прочностные и пластические свойства чугуна резко возрастают.

Таким образом, существует надежная корреляционная связь между формой включений, долей вермикулярного графита и механическими свойствами чугуна.

Выводы:

1. Разработана и реализована в виде дополнительного модуля к анализатору изображения Thixomet методика оценки качества структуры чугуна, в том числе, с шаровидным графитом. Сущность методики состоит в анализе панорамного изображения структуры чугуна, что дает возможность оценить от 500 до 4000 графитовых включений, расположенных на нескольких полях зрения, по следующим параметрам: факторы формы, параметр шаровидности, общее количество включений, их объемный процент, число включений на 1 мм^2 , а также все метрические параметры включений.

2. Показано, что неудовлетворительные механические свойства исследованных образцов связаны с невысоким содержанием графита и низкими параметрами шаровидности графита в чугуне, а также, повышенным содержанием вермикулярного графита, распределенного разветвленными колониями в междендритных пространствах. Площадь металлической матрицы, охваченная графитом с такой неблагоприятной морфологией, составляет более 50%. Эти же образцы отличает выраженная дуплексность структуры, так, что до половины всей площади шлифа занято мелким зерном. Более высокие свойства имеют образцы, структура которых отличается высоким параметром шаровидности, большим удельным числом таких включений, а площадь, занимаемая мелкими зернами, составляет менее 4%.

3. Получены статистически значимые зависимости характеристик прочности и пластичности высокопрочного чугуна GGG 40.3 от факторов формы, параметров шаровидности и объемного процента вермикулярного графита.