

**Компьютерная обработка изображений микроструктур чугуна**

Студенты гр. 104327: Юрчик А.С., Галузо С.М.  
Научные руководители – Соболев В.Ф., Сачек О.А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Разработка методов компьютерной обработки изображений микроструктуры представляет собой одну из сложнейших задач, которая непосредственно связана с исследованиями типа «микроструктура – свойства».

Целью настоящего исследования является разработка методики математической формализации микроструктуры серых чугунов на основе методов компьютерной обработки ее изображений и применение этой методики к исследованию взаимосвязей между микроструктурой и обрабатываемостью литых деталей.

В качестве исходных данных были использованы две группы деталей «коленвал», которые были изготовлены с использованием разных технологий. В первую группу образцов (группа А) входили изделия, обрабатываемость которых была в два раза ниже, чем у изделий второй группы (группа В). Было исследовано по пять образцов каждой группы и по четыре фотографии микроструктуры с каждого образца, таким образом, всего в исследовании участвовало 40 фотографий. В каждом исследуемом изделии было выделено характерное сечение, которое подвергалось анализу. Для каждого сечения было выделено четыре участка. Участок  $\Phi_1$  (фотография 1) расположен на краю выделенного сечения и соответствовал области припуска детали, участок сечения  $\Phi_4$  (фотография 4) соответствовал центральной области выделенного сечения, участки  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$  являлись промежуточными для выделенного сечения. Использование различных участков позволило увеличить представительность используемой выборки и повысить точность расчета микроструктуры, а также оценить влияние скорости кристаллизации на микроструктуру.

В основе предлагаемого подхода положен алгоритм, позволяющий по изображению микроструктуры определить статистическое распределение графитной фазы в серых чугунах. Основными этапами алгоритма являются: бинаризация изображения с использованием адаптивного порога, сегментация изображения для выделения включений графита, обработка графитных включений с вычислением их площадей, периметров и расстояний между ними, определение функции статистического распределения перечисленных параметров.

По данному алгоритму было разработано программное обеспечение, позволяющее автоматизировать процесс обработки микроструктуры серых чугунов. Программа «Автоматизированная обработка микроструктур серого чугуна» («АОМ-2 сч») позволяет проводить анализ фотографий нетравленных микроструктур серого чугуна, сделанных на микроскопе, с помощью новой методики, основанной на компьютерной обработке, позволяющей с высокой степенью точности на количественном уровне определять статистическое распределение графитной фазы в микроструктуре изделия. Программа «АОМ-2 сч» позволяет:

- определять статистические функции плотности распределения значений параметров микроструктуры: площадь, периметр, ширину включений графита, отношение периметра к площади включений, расстояния между включениями, отношение расстояния между включениями графита к ширине включений;
- проводить обработку, как отдельного изображения микроструктуры, так и группы изображений микроструктур;
- определять интегральные характеристики для группы изображений микроструктур;

– экспортировать числовую информацию статистической функции плотности распределения в Microsoft Excel.

Компьютерный анализ результатов обработки изображений микроструктур образцов показал, что доля графита для обеих групп образцов уменьшается при перемещении анализируемой области от края к центру, а именно, для группы *B* – от 0,153 до 0,106 (в 1,44 раза), для группы *A* – от 0,142 до 0,113 (в 1,26 раза). Причем для зоны припуска в образцах группы *B* в 1,08 раза больше графита и на 20 % больше графитных включений, чем у образцов группы *A*, что подтверждает лучшую обрабатываемость образцов группы *B*. Кроме того, по функциям статистического распределения характеристик включений графита были сделаны выводы о различиях площадей и периметров графитных включений для образцов двух групп. Так, в образцах группы *B* больше включений малой площади (до 75 пикселей) и периметра (до 50 пикселей) на 23 % и 18% соответственно, тогда как для образцов группы *A* больше графитных включений с большей площадью и более развитым периметром. Таким образом, средняя площадь включений графита в микроструктурах образцов группы *B* по всем областям изображения на 23% меньше по сравнению с образцами группы *A*.

На следующем этапе с целью выявления различий в дисперсности перлита чугуна для различных образцов были проведены исследования статистического распределения межпластиночных расстояний перлитной матрицы серого чугуна для изображений микроструктур, сделанных на микроскопе с увеличением  $\times 4000$ . Для определения межпластиночных расстояний использовалось программное обеспечение «АОМ-1» [1]. Как показал анализ расчетных статистических кривых, большая часть образцов группы *A*, имеет более тонкое пластинчатое строение перлита чугуна и большую долю малых межпластиночных расстояний по сравнению с образцами группы *B*. Следует отметить, что толщины цементита в области высокодисперсного перлита (0 – 0,4 мкм) для образцов группы *A* больше, чем аналогичные толщины цементита в образцах группы *B*. Для деталей группы *B* характерна большая доля эвтектоидных колоний с меньшей дисперсностью, чем для деталей группы *A*, причем для больших межпластиночных расстояний эта тенденция четко проявляется. У деталей группы *B* во всех исследованных зонах графит имеет более развитую поверхность в сравнении с деталями группы *A*. С технологической точки зрения присутствие в образцах группы *B* более мелкодисперсного графита свидетельствует о более высоких скоростях охлаждения и большем числе зародышей.

Таким образом, был разработан алгоритм для компьютерной обработки изображений микроструктуры чугунов перлитного класса, имеющими в структуре случайно распределенные включения графита, и включающий бинаризацию изображения с использованием адаптивного порога, сегментацию изображения для выделения включений графита, обработку графитных включений с вычислением их площадей, периметров и расстояний между ними, определение функции статистического распределения перечисленных параметров. Показано, что компьютерная обработка изображений микроструктуры серого чугуна позволяет классифицировать неразличимые традиционными металлографическими методами микроструктуры серого чугуна, соответствующие деталям с различной обрабатываемостью, на основе статистического распределения характеристик графитной фазы и межпластиночных расстояний перлита, что имеет практическое значение для исследования взаимосвязей «обрабатываемость – микроструктура чугуна».

#### Литература:

1. Лихоузов С.Г., Сачек О.А., Чичко А.Н. О методах компьютерной обработки микроструктур сталей с различной дисперсностью перлита // Информатика и системы управления. – 2010. – № 1. – С. 19 – 29.