



УДК 669.21

Поступила 08.06.2013

А. Н. ЧИЧКО, О. А. САЧЕК, С. Г. ЛИХОУЗОВ, В. Ф. СОБОЛЕВ, О. И. ЧИЧКО,
Т. В. МАТЮШИНЕЦ, БНТУ

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА МИКРОСТРУКТУР ЧУГУНА С РАЗЛИЧНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ВКЛЮЧЕНИЙ ПЛАСТИНЧАТОГО И ШАРОВИДНОГО ГРАФИТА

На основе микроструктур чугуна с различным количеством включений пластинчатого и шаровидного графита, приведенных в ГОСТ 3443–87 «Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры», показаны возможности количественного автоматизированного анализа микроструктур ПГ2, ПГ4, ПГ6, ПГ10, ПГ12 (пластинчатый графит) и ШГ2, ШГ4, ШГ6, ШГ10, ШГ12 (шаровидный графит), что позволяет разработать методики для определения количества включений пластинчатого и шаровидного графита по изображению микроструктур в световом микроскопе.

Based on cast iron microstructures with different amounts of impurities of plastic and nodular graphite given in CCITT 3443-87 "Cast iron with various forms of graphite. Methods for determining the structure" shows the possibilities of automated quantitative analysis of microstructures SG2, PG4, PG6, PG10, PG12 (Plastic Box) and SHG2, SHG4, SHG6, SHG10, SHG12 (spheroidal graphite), which allows the development of methods for the determination of impurities of plastic and spherical graphite according to the microstructures image under the light microscope.

Развитие компьютерных технологий открывает новые возможности для анализа микроструктур промышленных сплавов. В работах [1–4] было показано, что методы обработки изображений микроструктур позволяют автоматизировать процесс работы технического персонала заводских лабораторий предприятий при работе с микроструктурами железоуглеродистых сплавов.

Целью настоящей работы является компьютерная обработка микроструктур чугуна с различным количеством включений пластинчатого и шаровидного графита ПГ2–ПГ12 на основе микроструктур, представленных в ГОСТ 3443-87 «Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры» [5]. На рис. 1 представлены изображения микроструктур чугуна с различным количеством включений пластинчатого графита ПГ2 (площадь, занятая графитом до 3%), ПГ4 (от 3 до 5%), ПГ6 (от 5 до 8%), ПГ10 (от 8 до 12%), ПГ12 (больше 12%) согласно ГОСТ 3443-87 [5]. Как видно из рисунка, на микроструктурах имеется графитная фаза различного размера, что соответствует реальным неравновесным условиям кристаллизации.

Для обработки микроструктур был использован следующий алгоритм.

Шаг 1. Сканирование изображения микроструктуры.

Шаг 2. Бинаризация изображений с различным пороговым значением.

Шаг 3. Математическая обработка изображений микроструктур с целью определения функции распределения размеров графитных включений.

Шаг 4. Нормирование функций распределения по результатам бинаризации для анализа микроструктур.

На рис. 2 приведены бинаризованные микроструктуры чугуна с пластинчатым графитом ПГ2 (порог бинаризации 0,80), ПГ4 (порог бинаризации 0,78), ПГ6 (порог бинаризации 0,80), ПГ10 (порог бинаризации 0,76), ПГ12 (порог бинаризации 0,86).

На рис. 3–6 представлены гистограммы распределения графитовых включений различной величины для гостированных микроструктур чугуна с пластинчатым графитом. Как видно из рисунков, для каждой пары структур с близкими баллами распределение графита для структуры с большим баллом имеет тенденцию к смещению вправо по

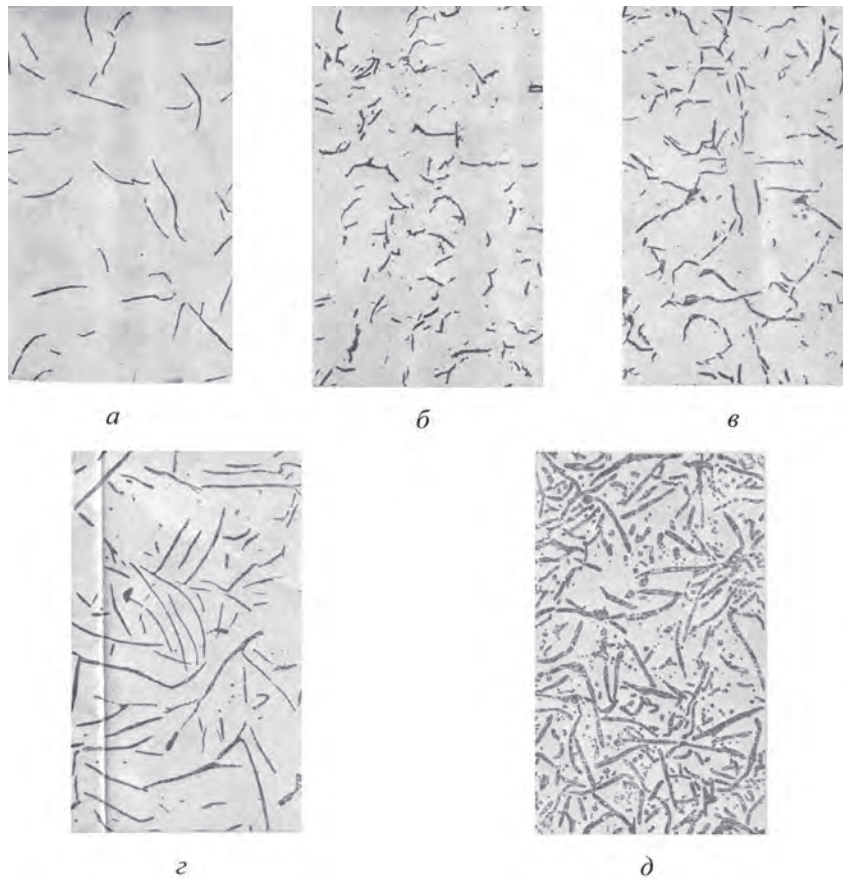


Рис. 1. Изображения гостированных микроструктур чугуна с пластинчатым графитом ПГ2 (а), ПГ4 (б), ПГ6 (в), ПГ10 (г), ПГ12 (д)

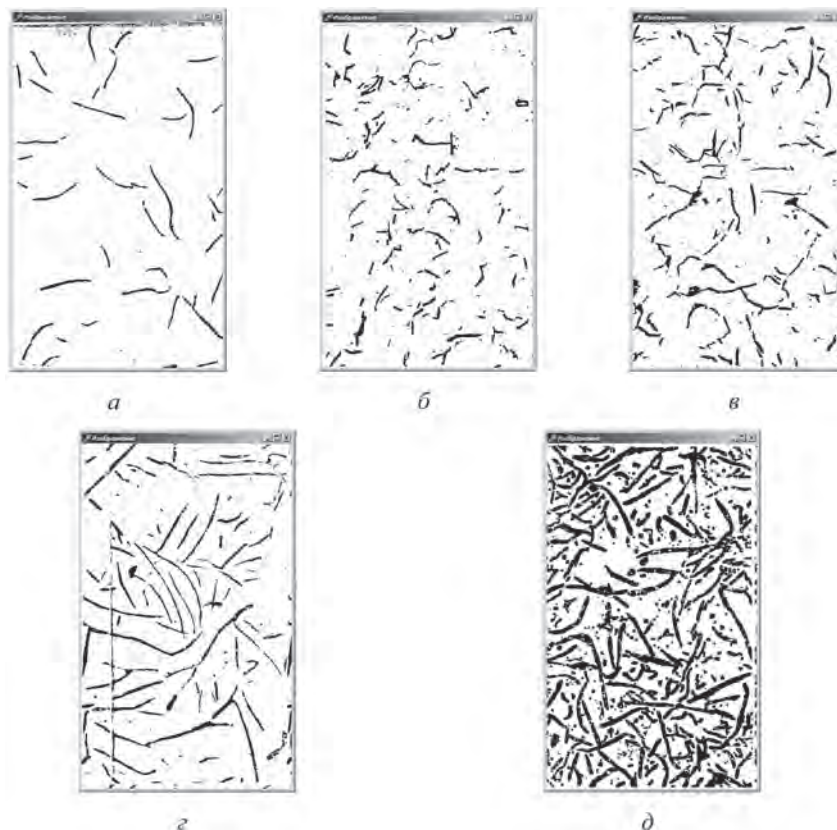


Рис. 2. Бинаризованные изображения микроструктур чугуна с пластинчатым графитом ПГ2 (а), ПГ4 (б), ПГ6 (в), ПГ10 (г), ПГ12 (д)

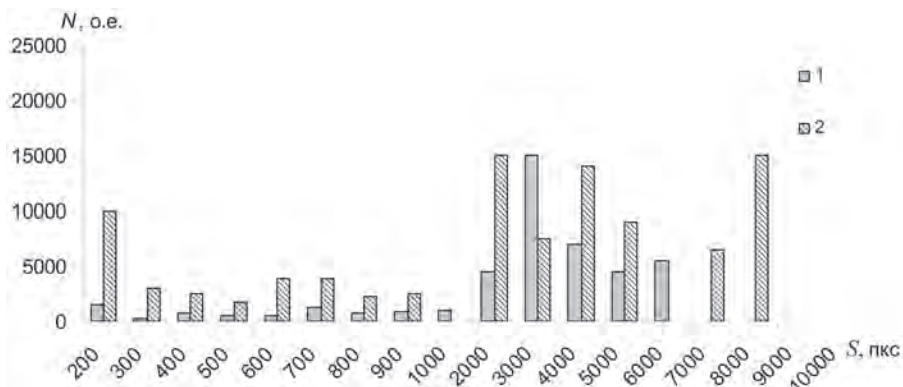


Рис. 3. Гистограммы распределения графитовых включений для микроструктур чугуна с пластинчатым графитом ПГ2 и ПГ4: 1 – ПГ2; 2 – ПГ4

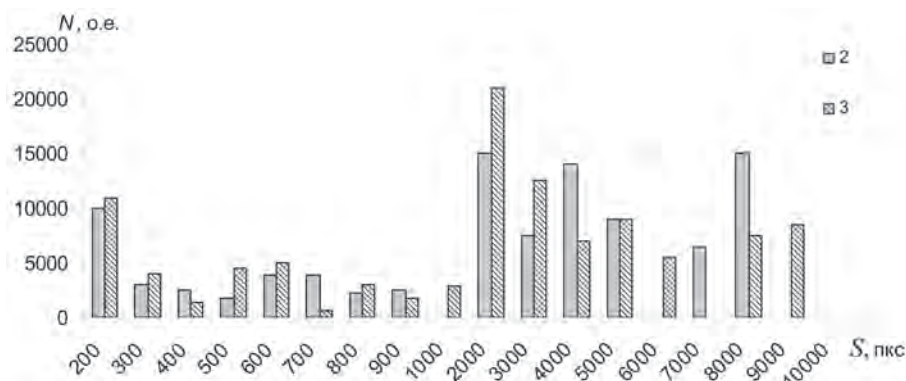


Рис. 4. Гистограммы распределения графитовых включений для микроструктур чугуна с пластинчатым графитом ПГ4 и ПГ6: 2 – ПГ4; 3 – ПГ6

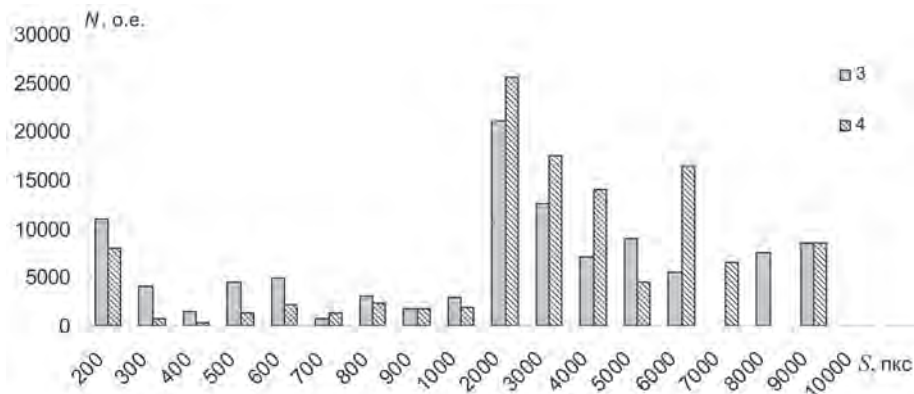


Рис. 5. Гистограммы распределения графитовых включений для микроструктур чугуна с пластинчатым графитом ПГ6 и ПГ10: 3 – ПГ6; 4 – ПГ10

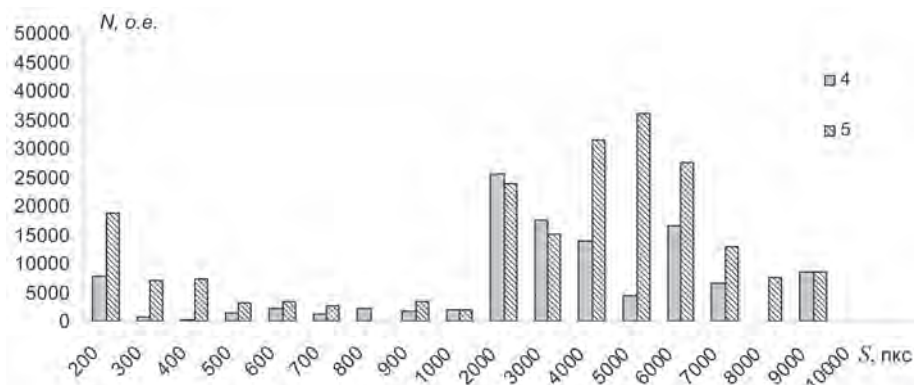


Рис. 6. Гистограммы распределения графитовых включений для микроструктур чугуна с пластинчатым графитом ПГ10 и ПГ12: 4 – ПГ10; 5 – ПГ12

оси абсцисс, что говорит о возможности использования распределения графита в качестве критерия оценки балльности структур чугуна по характеристике «Количество включений пластинчатого графита».

На основе приведенных исследований предлагается классификационный количественный критерий P_1 , характеризующий общую площадь включений пластинчатого графита на микроструктуре. На рис. 7 показана зависимость значений критерия P_1 от типа микроструктуры. Как видно из рисунка, наблюдается корреляция между баллами и изменением значений критерия, что свидетельствует о возможности применения критерия P_1 для комплексной автоматизированной оценки микроструктуры с присвоением ей необходимого балла по характеристике «Количество включений пластинчатого графита». Причем данный критерий позволяет оценить количественные переходы между баллами, регламентированными ГОСТом.

Таким образом, на основе микроструктур серого чугуна с различным количеством включений пластинчатого графита, приведенных в ГОСТ 3443-87 «Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры», показаны возможности классификации микроструктур ПГ2, ПГ4, ПГ6, ПГ10, ПГ12 на основе использования распределения графита, что позволяет разра-

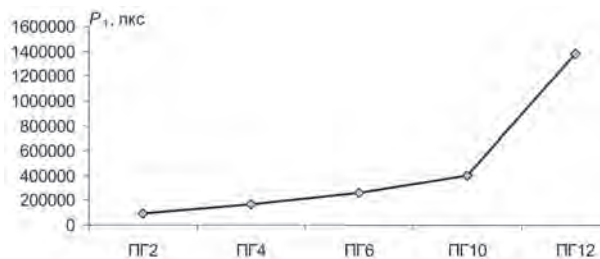


Рис. 7. Зависимость значений критерия P_1 от типа структуры для серого чугуна с пластинчатым графитом

ботать методики для перехода от качественной шкалы микроструктур, используемой для анализа графитной фазы, к количественной.

На следующем этапе были использованы микроструктуры чугуна с шаровидным графитом. На рис. 8 показаны изображения микроструктур чугуна с различным количеством включений шаровидного графита ШГ2 (площадь, занятая графитом до 3%), ШГ4 (от 3 до 5%), ШГ6 (от 5 до 8%), ШГ10 (от 8 до 12%), ШГ12 (больше 12%) согласно ГОСТ 3443-87 [5].

На рис. 9 представлены бинаризованные с порогом 0,75 микроструктуры серого чугуна с шаровидным графитом.

На рис. 10–13 показаны гистограммы распределения включений шаровидного графита для гостированных микроструктур. Как видно из ри-

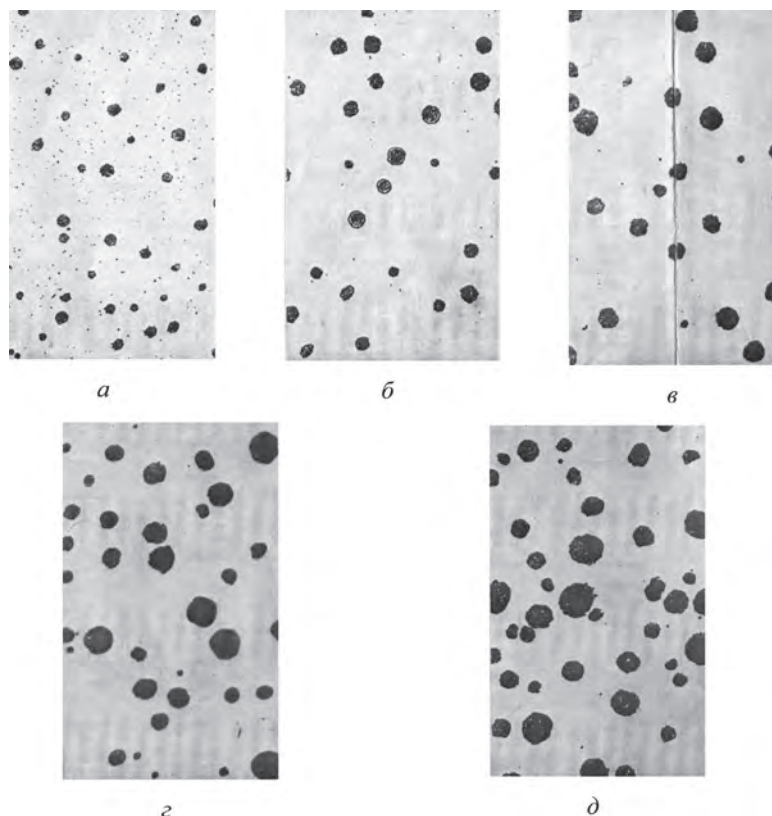


Рис. 8. Изображения микроструктур чугуна с шаровидным графитом ШГ2 (а), ШГ4 (б), ШГ6 (в), ШГ10 (г), ШГ12 (д)

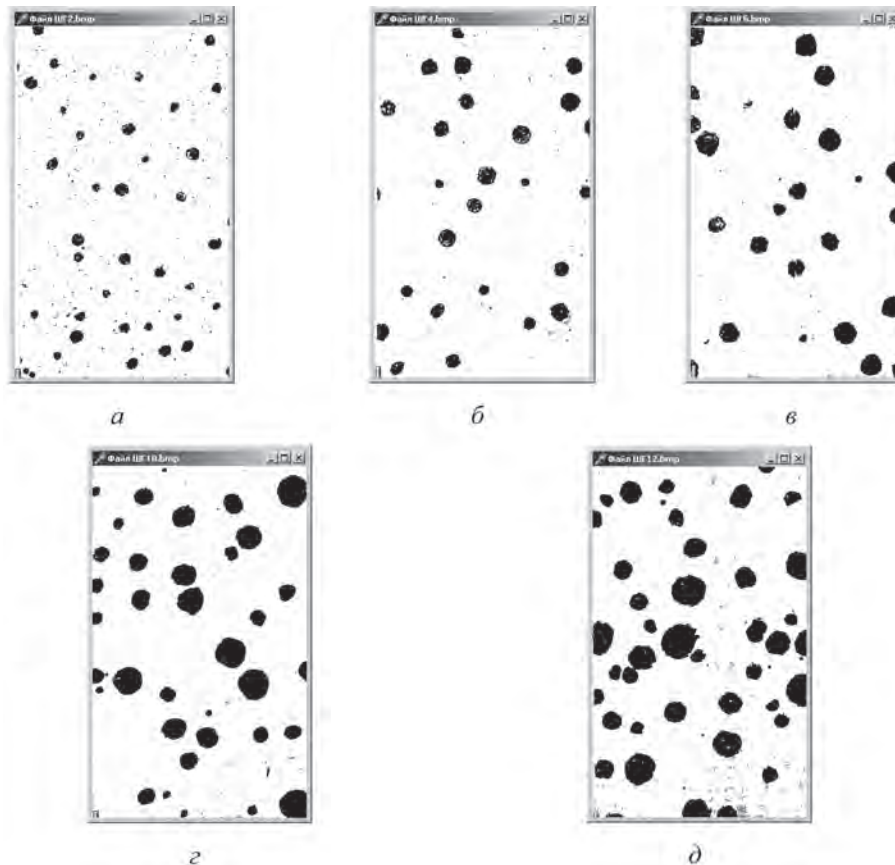


Рис. 9. Бинаризованные изображения микроструктур чугуна с шаровидным графитом ШГ2 (а), ШГ4 (б), ШГ6 (в), ШГ10 (г), ШГ12 (д)

сунков, для каждой пары структур с близкими баллами распределение графита для структуры с большим баллом имеет тенденцию к смещению вправо по оси абсцисс, что говорит о возможности использования распределения графита в качестве критерия оценки балльности структур чугуна по характеристике «Количество включений шаровидного графита».

На рис. 14 показана зависимость значений критерия P_1 от типа структуры. Анализ представленных данных свидетельствует о наличии взаимосвязи между P_1 и баллом микроструктуры.

Таким образом, на основе микроструктур чугуна с разным количеством включений шаровидного графита, приведенных в ГОСТ 3443-87 «Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры», показаны возможности количественной классификации микроструктур с различным числом шаровидного графита ШГ2, ШГ4, ШГ6, ШГ10, ШГ12.

Установленные закономерности могут быть использованы для разработки программного обеспечения, позволяющего автоматизировать исследования микроструктур чугунов в центральных

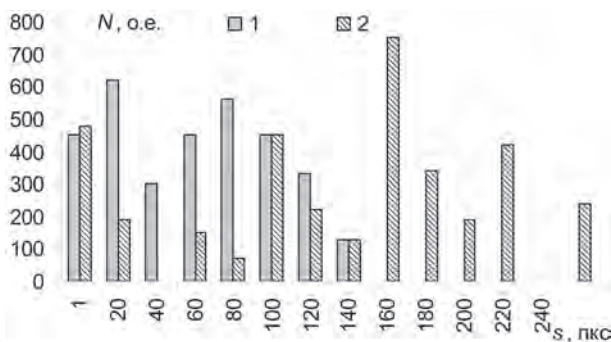


Рис. 10. Гистограммы распределения включений шаровидного графита для микроструктур ШГ2 и ШГ4: 1 – ШГ2; 2 – ШГ4

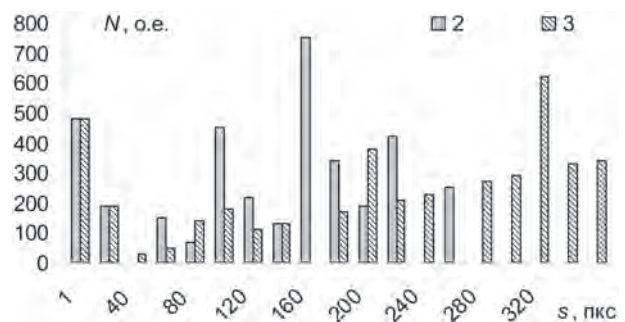


Рис. 11. Гистограммы распределения значений включений шаровидного графита для микроструктур ШГ4 и ШГ6: 2 – ШГ4; 3 – ШГ6

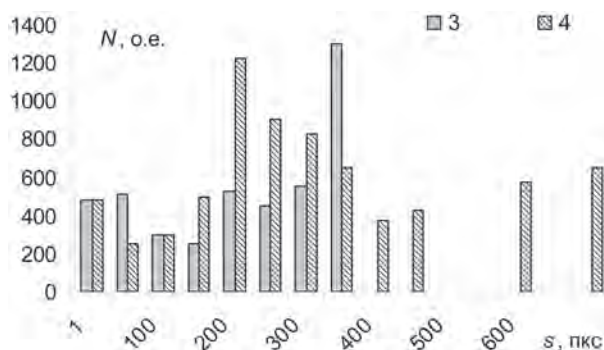


Рис. 12. Гистограммы распределения значений включений шаровидного графита для микроструктур ШГ6 и ШГ10: 3 – ШГ6; 4 – ШГ10

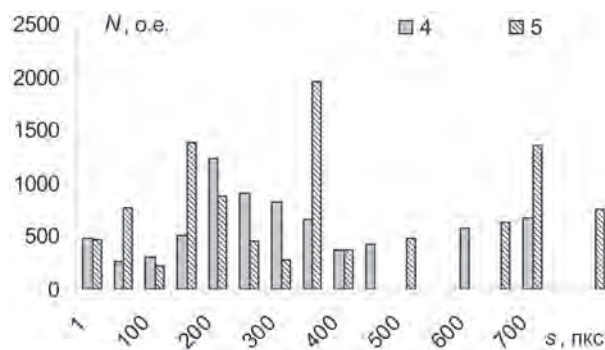


Рис. 13. Гистограммы распределения графитовых включений для микроструктур ШГ10 и ШГ12: 4 – ШГ10; 5 – ШГ12

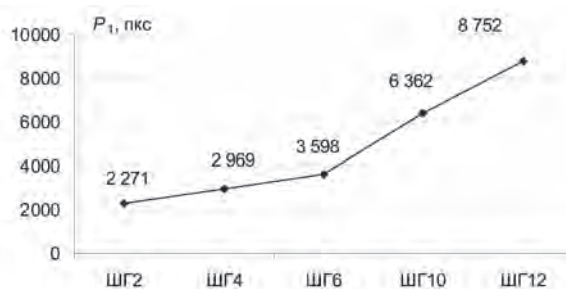


Рис. 14. Зависимость значений критерия P_1 от типа структуры для чугуна с шаровидным графитом

заводских лабораториях, а также для повышения точности микроструктурного анализа чугунов за счет перехода от качественного анализа к количе-

ственным оценкам, что открывает новые возможности для исследования взаимосвязей «микроструктура – механические свойства чугуна».

Литература

1. Лихозов, С. Г. О методах компьютерной обработки микроструктур сталей с различной дисперсностью перлита / С. Г. Лихозов, О. А. Сачек, А. Н. Чичко // Информатика и системы управления. 2010. № 1. С. 19–29.
2. Чичко, А. Н. О методах математического описания изображений микроструктур перлитных сталей / А. Н. Чичко, О. А. Сачек // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. 2010. № 3. С. 15–22.
3. Чичко, А. Н. Программное обеспечение и алгоритмы для анализа изображений микроструктур перлитных сталей / А. Н. Чичко, О. А. Сачек, С. Г. Лихозов // Программные продукты и системы. 2010. № 4. С. 123–127.
4. Чичко, А. Н. Методы автоматизации обработки изображений микроструктур перлитных сталей / А. Н. Чичко, О. А. Сачек, С. Г. Лихозов // Информационные технологии. 2010. № 7. С. 71–77.
5. ГОСТ 3443-87 «Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры».