

КРИСТАЛЛОФИЗИКА

УДК 537.533.35

РАСТРОВАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ ЧУГУНА ДЛЯ СТЕКЛОФОРМ

Г. В. Раткевич¹, Е. В. Ботянов¹, Е. А. Лаврентьев²

¹ Тверской государственный технический университет

² ОАО Тверьстекло-М

Методами оптической и растровой электронной микроскопии, стереометрической металлографии изучалась микроструктура серого чугуна для стеклоформ. Даны рекомендации по увеличению износостойкости и ресурса стеклоформ.

Ключевые слова: *серый чугун, трещины разгара, растровая электронная микроскопия, стеклоформа*

Благодаря сочетанию высоких литейных свойств, достаточной прочности, износостойкости, а также относительной дешевизне чугуны получили широкое распространение в машиностроении. Их используют для производства качественных отливок сложной формы при отсутствии жестких требований к габаритам и массе деталей [1]. Механические свойства чугунов зависят от свойств металлической основы и от количества, формы и размеров графитных включений. Прочность, твердость и износостойкость чугунов возрастают с повышением количества перлита в металлической основе. Пластинки графита, прочность которых ничтожно мала, действуют как трещины, пронизывающие металлическую основу и ослабляющие её [1–4].

В качестве материала, применяемого для изготовления отливок деталей формовых комплектов, широко применяется как отечественными производителями, так и за рубежом серый чугун с пластинчатой формой графита. Стекольные формы во время эксплуатации подвергаются периодической тепловой нагрузке. Происходит быстрый нагрев материала формирующей полости стекломассой и последующее быстрое охлаждение. На практике колебание температуры достигает 200–300 °С за 15–30 секунд. Рабочие слои форм при каждом нагреве и охлаждении испытывают объемные изменения, приводящие к возникновению напряжений в поверхностном слое и в зоне перехода к ниже лежащим слоям. Под действием накапливающихся напряжений образуются микроскопические трещины, которые затем образуют сетку трещин разгара. Основным показателем,

определяющим эксплуатационные характеристики стеклоформы, является микроструктура чугуна на глубине 5 мм, которая соответствует зоне рабочего слоя формы после механической обработки [5]. В этой зоне важна мелкозернистая структура чугуна, которая имеет повышенную прочность.

Цель настоящей работы изучить микроструктуру образцов серого чугуна для стеклоформ.

Образцы получены на ОАО «Тверьстекло-М». Для изготовления микрошлифов образцы подвергали шлифовке и полировке алмазными пастами, затем проводили травление в 4% спиртовом растворе азотной кислоты. Исследования микроструктуры проводили на оптическом металлографическом микроскопе МИМ-8 с цифровой камерой, а также на растровом электронном микроскопе JEOL 6510LV. Химический состав определяли в системе микроанализа INCA Energy++ фирмы Oxford Instruments. Анализ формы, размеров и распределения графитовых включений выполняли на нетравлёных шлифах с применением цифровой обработки изображений [6].

Растровый электронный микроскоп для создания изображения использует детектор вторичных электронов (SE – secondary electrons) и обратно рассеянных электронов (BSE – back scattered electrons; другое название – отраженные (RE – reflected electrons)). Причем в первом случае в создании изображения отражается рельеф изучаемой поверхности образца, а во втором – неоднородность химического состава. На рис. 1 представлена микроструктура серого чугуна, полученная с помощью растрового электронного микроскопа в режимах SE и BSE. На рис. 1, а наблюдается значительная ликвация графита по границам зерен феррита.

Ликвацией называется неоднородность химического состава слитка, которая возникает при затвердевании сплава вследствие разной растворимости примесей в жидкой и твердой фазе. Чугун, представляя собой смесь различных соединений железа с углеродом, кремнием, марганцем, фосфором и т. п., при переходе из жидкого состояния в твердое подвергается ликвации. Вследствие различных точек плавления одни из этих соединений выделяются из смеси и застывают раньше, другие позже. Эта неоднородность замечается даже на глаз в виде выделившихся листочков графита или же в виде более или менее светлых пятен, которых состав разнится от окружающей массы.

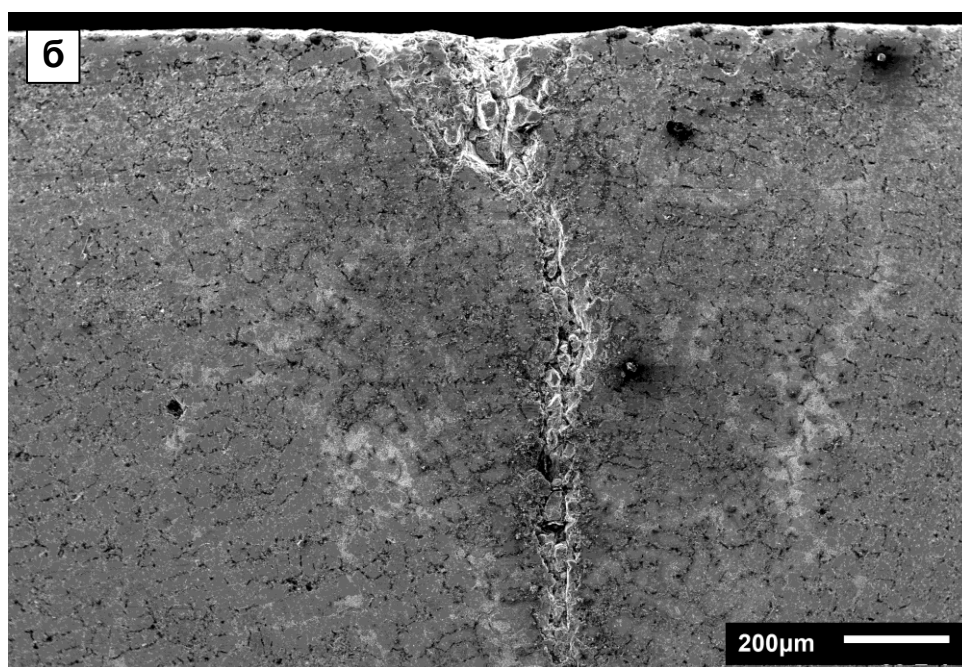
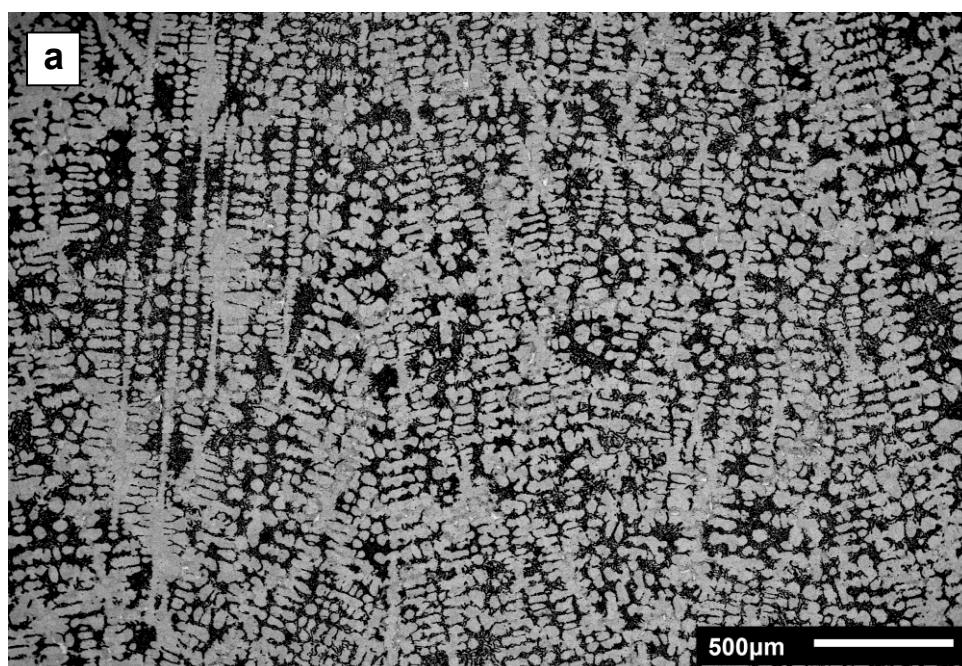


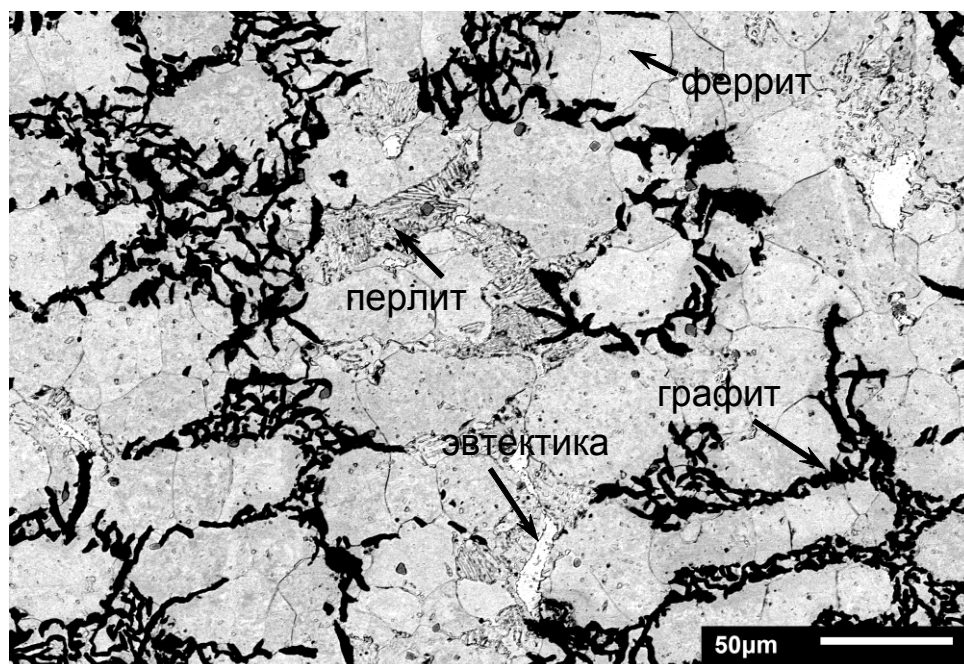
Рис. 1. Микроструктура серого чугуна, полученная с помощью растрового электронного микроскопа а – в режиме BSE, б – в режиме SE

Ликвация углерода в чугуне может быть зональной и межкристаллитной. Создавая резкое переохлаждение металла, способствуют возникновению в чугуне междендритного и сетчатого графита и образованию структурно-свободного феррита. Для регулирования скорости охлаждения разных частей отливок применяют холодильники, принудительное воздушное охлаждение и принудительное увлажнение литейной формы. При [литье](#) деталей, склонных к внутрикристаллической ликвации, [отливки](#) необходимо быстро охлаждать в период затвердевания. После затвердевания эти [отливки](#) необходимо медленно охлаждать, чтобы за счет [диффузии](#) при высоких [температурах](#) и медленном [охлаждении](#) произошло выравнивание [состава](#) сплава [7–9].

На рис. 1 б представлено изображение трещины разгара, образовавшейся на рабочей поверхности стеклоформы. Трещина распространяется по графитовым включениям, скопившимся по границам зерен феррита.

Практически во всех серых промышленных чугунах образуется легкоплавкая фосфидная эвтектика (рис. 2). Связывают это с сильной микроликвацией фосфора. Эвтектика имеет низкую температуру плавления (950 °С), что увеличивает жидкотекучесть чугунов. Также она обладает высокой твердостью и хрупкостью [1, 2]. Вследствие низкой температуры затвердевания фосфидной эвтектики и в результате усадочных процессов фосфидная эвтектика иногда выжимается на поверхности отливки. С увеличением скорости кристаллизации внутрикристаллитная ликвация фосфора уменьшается.

Анализ микроструктуры изучаемых образцов показал, что серый чугун имеет пластинчатую, завихренную форму включений графита. Распределение включений графита неравномерное, наблюдается ликвация углерода по границам зерен, образовавшиеся трещины разгара распространяются вглубь стеклоформы по скоплениям графитовых включений, обладающих ничтожно малой прочностью. Кроме того, ферритная металлическая основа по сравнению с перлитной обладает пониженной прочностью. Характер микроструктуры одинаков по всей глубине стеклоформы, поверхностный мелкозернистый слой с повышенными эксплуатационными характеристиками отсутствует, что приводит к образованию трещин разгара.



Р и с . 2. Микроструктура образца чугуна стеклоформы. РЭМ

Рекомендации

Для продления срока службы и исключения образования трещин разгара рекомендуется выполнить лазерную закалку по всей рабочей поверхности стеклоформы. Ожидаемый результат – повышение износостойкости и ресурса упрочненных поверхностей в 2–5 раз при удорожании стеклоформы за счет затрат на упрочнение не более чем на 15–25 % от стоимости не упрочненной стеклоформы [10, 11].

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования Тверского государственного университета.

Благодарности

Авторы статьи благодарны доценту Афанасьевой Л.Е. и профессору Гречишкину Р.М. за оказанную помощь в выполнении работы.

Список литературы

1. *Материаловедение: Учебник для вузов* / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под общ. Ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. 3-е изд., стереотип. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 648 с.: ил.

2. Гиршович Н.Г. Чугунное литье / Н.Г. Гиршович. М.: Metallurgizdat, 1949. 708 с.
3. Палаткина Л.В., Морозов С.Е. Прогноз прочности серого чугуна по параметрам первичной структуры // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2007. № 5. С. 148–151.
4. Полухин М.С., Шабанов М.Л. Влияние формы графита на механические свойства бейнитного высокопрочного чугуна с шаровидным графитом // Лесотехнический журнал 2011. № 3. С. 99–101.
5. Барчуков Д.А., Лаврентьев А.Ю., Мельников И.В. Выбор чугуна для изготовления стеклоформ // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. науч. тр. по итогам международной научно-технической конференции. Брянск. 2011. Вып. 13. С. 3–6.
6. Афанасьева Л.Е. Компьютерные методы структурного анализа / Л.Е. Афанасьева, Н.С. Зубков, С.С. Сошин, О.Г. Глухов // Сварочное производство 1999. № 9. С. 17–19.
7. Bartocha D., Janerka K., Suchoń J. Charge materials and technology of melt and structure of gray cast iron // Journal of Materials Processing Technology V. 163. P. 465–470.
8. Rashidi A.M., Moshrefi-Torbati M. Effect of tempering conditions on the mechanical properties of ductile cast iron with dual matrix structure (DMS) // Materials Letters. 2000. V. 45. P. 203–207.
9. Baihe Miao, North Wood D.O., Weimin Bian, Keming Fang, Minz Heng Fan Structure and growth of platelets in graphite spherulites in cast iron // Journal of Materials Science. 1994. V. 29. № 1. P. 255–261.
10. Афанасьева Л.Е. Структурное состояние инструментальной стали после лазерной закалки с оплавлением поверхности / Л.Е. Афанасьева, И.А. Яковлев, П.О. Зоренко, Н.С. Зубков, Р.М. Гречишкин // Metallurgiya mashinostroeniya. 2010. № 4. С. 17–20.
11. Югов В.И. Лазерное термоупрочнение – высокоэффективная технология ресурсосбережения // Лазер-Информ. 2008. № 23 (398). С. 1–8.

SCANNING ELECTRON MICROSCOPY OF CAST IRON FOR GLASS MOULDS

G. V. Ratkevich¹, E. V. Botyanov¹, E. A. Lavrentev²

¹ Tver State Technical University

² Open joint-stock company Tversteklo-M

The microstructure of grey iron for glass moulds was examined making use of the methods of optical, scanning electron microscopy and stereometric metallography. Recommendations are worked out for the increase of durability and life time of the moulds.

Keywords: *grey iron, crazing cracks, scanning electron microscopy, glass moulds*

Об авторах:

РАТКЕВИЧ Герман Владиславович – студент Тверского государственного технического университета, 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22; *e-mail:* germanstoz@gmail.com;

БОТЯНОВ Евгений Васильевич – студент Тверского государственного технического университета; *e-mail:* proroll@mail.ru;

ЛАВРЕНТЬЕВ Евгений Александрович – главный технолог ОАО «Тверьстекло-М», 170100, г. Тверь, наб. р. Лазури, 11; *e-mail:* ewghe@yandex.ru.