

за состава пластика. Органическая составляющая нити выделила много продуктов горения, которые и повлекли за собой брак.

Выводы

Из проведенного эксперимента можно сделать вывод, что изготовление оболочковых моделей по FDM технологии значительно облегчает и сокращает время изготовления пробных или же экспериментальных моделей. При этом полу органические нити хоть и являются наиболее подходящими для создания таких моделей, но не дают требуемую чистоту поверхности отливки.

Список использованной литературы

1. Самоучитель SolidWorks 2007 / Н.Ю. Дударева, С.А. Зайко. 2010. — С-Пб.: БХВ, 2011. — 416 с.
2. CURA [Электронный ресурс] URL: <http://www.ultimaker.com/software/ultimaker-cura> (дата обращения: 27.10.2023).
3. Dobot MOOZ 2 Plus [Электронный ресурс] URL: http://www.dobot.ru/series_mooz/plus (дата обращения: 23.10.2023).
4. PLA-пластик для 3D-печати [Электронный ресурс] URL: http://www.3dtoday.ru/wiki/PLA_plastic (дата обращения: 20.10.2023).
5. ГОСТ 1583–93. Сплавы алюминиевые литейные. — М. — 25 с.
6. ГОСТ 17711–93. Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные. — М. — 6 с.

А.В. Каляскин¹, e-mail: kalyaskin@mail.ru, А.А. Антипов¹, e-mail: aantipiev@yandex.ru, А.А. Токарев², e-mail: 151@nppgroup.ru, И.В. Бакин¹, e-mail: igor.npp.bakin@gmail.com

¹ ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» (г. Челябинск, Россия),

² ЦИР НПП (г. Челябинск, Россия),

Исследование дефекта «темные пятна» в образцах высокопрочного чугуна

Аннотация. При производстве отливок из синтетического высокопрочного чугуна, в структуре чугуна периодически встречаются дефекты различного типа. Одним из таких дефектов являются, так называемые, «темные пятна». Данный дефект не позволяет получить satisfactory характеристики высокопрочных чугунов, не выдерживаются временное сопротивление разрыву и удлинение.

В статье приведены результаты исследования образцов чугуна марки ВЧ 50 с дефектом «темные пятна» методами электронной микроскопии, представлен морфологический состав изученных включений. По результатам проведенного анализа, определены основные причины образования дефекта и предложены рекомендации по его предотвращению.

Ключевые слова: высокопрочный чугун, ЧШГ, неметаллические включения, науглероживание, микроструктура, макроструктура, графит.

Abstract. In manufacturing of castings from synthetic nodular iron various defects periodically occur. Among them is «black spots». The ability of such defect makes it impossible to receive mechanical properties of ductile iron, namely: tensile strength and elongation.

The results of investigation the GGG50 specimens with defect «black spots» with methods electronic microscopy in the article are given, morphology compound of inclusions is presented. Based on analysis the main reasons of defect formation are given, the recommendations for its prevention are proposed.

Keywords: ductile iron, nodular iron, non-metallic inclusions, carburizing process, microstructure, macrostructure, graphite.

Обзор проблемы

Целью литейного производства является производство отливок с выполнением заявленных требований (по размерам, механическим свойствам [1], микроструктуре, металлической основе и пр.) с минимально возможным количеством дефектов (или вообще без дефектов), с воспроизводимостью получаемых результатов и с соблюдением экономической составляющей производства. Снижение, устранение того или иного вида



Рис. 1. «Темные пятна» в структуре образцов чугуна ВЧ 50

дефекта отливки — работа трудоемкая, требующая глубокого анализа технологического процесса на всех переделах производства, цель которой идентифицировать природу образования дефекта и причины его возникновения.

Термин «темные пятна» или «черные пятна» не соответствует действующему на территории Российской Федерации межгосударственному стандарту [2] — официальное название дефекта: «неметаллические включения», однако широко используется среди специалистов на производстве и описывает конкретный тип встречающегося дефекта.

Анализ литературных источников показал, что данный дефект представлен как дефект микроструктуры отливок, наблюдается преимущественно на отливках из высокопрочного чугуна и описывается как включения, обогащенные сульфидами и оксидами магния, марганца, в составе которых, имеются графит и другие неметаллические фазы. Дефект формируется при обработке чугуна сфероидизирующим модификатором (ФСМг) в том случае, если исходный металл в печи имеет высокое содержание серы (0,05 % и выше) [3, 4]. Меры предотвращения «темных пятен» при таком механизме образования понятны, поскольку основной причиной его появления является избыточное содержание серы, то для

устранения дефекта необходима либо глубокая десульфурация металла, либо тщательный подбор шихтовых материалов. Однако такие меры не всегда приводят к нужному результату. Вероятно, что в таком случае механизм возникновения дефекта может быть другим.

В данной работе рассматривается дефект «темные пятна», обнаруженный на предприятии, производящем отливки из высокопрочного чугуна. Дефект обнаружен визуально в ходе осмотра образцов ВЧ после проведения испытаний на определение механических свойств, изображение дефекта представлены на рис. 1.

С целью определения природы и причин возникновения дефекта проведено металлографическое исследование образцов.

Материалы и методы исследования

Выплавка чугуна производилась на стальном ломе с использованием науглероживателя (синтетический чугун) в индукционной печи. В качестве шихтовых материалов использовали: стальной лом 77 %, возвраты собственного производства 20 %, науглероживатель (электродный бой) в количестве 3 % от массы металла. После экспресс-анализа проводилась доводка по химическому составу, в том числе по содержанию углерода с применением науглероживателя того же типа. Химический состав металла представлен в таблице 1.

Из анализа данных, приведенных в таблице 1 видно, что содержание серы является оптимальным и вероятность того, что она может быть причиной исследуемого дефекта минимальна. Кроме того, согласно данным из таблицы 1 можно увидеть, что химический анализ металла в печи и в ковше отличается по нескольким элементам. Эти отличия можно объяснить обработкой расплава магнийсодержащим модификатором: прирост кремния

Таблица 1

Химический состав чугуна

Наименование	Химический состав металла, %						
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mg
Плавка 1 печь	3,22	0,9	0,23	0,01	0,017	0,03	—
Плавка 1 ковш	3,36	1,8	0,62	0,007	0,02	0,037	0,062
Плавка 2 печь	3,16	0,85	0,23	0,01	0,016	0,03	—
Плавка 2 ковш	3,55	1,73	0,64	0,008	0,017	0,03	0,067

с 0,9 % до 1,8 %, с 0,85 % до 1,73 %; прирост магния с 0,0 % до 0,062 %, с 0,0 % до 0,067 %. Легированием ферромарганцем (прирост марганца с 0,23 % до 0,62 %; с 0,23 % до 0,64 %) и довольно существенным увеличением содержания углерода (с 3,22 % до 3,36 %; с 3,16 % до 3,55 %). Существенное увеличение углерода в химическом составе чугуна объясняется доводкой металла по содержанию углерода путем присадки электродного боя на зеркало металла непосредственно перед выпуском его в ковш.

Химический анализ исследуемых образцов металла проводился в производственной лаборатории оптическим эмиссионным спектрометром ДФС-500.

В лаборатории ФГАО ВО «ЮУрГУ (НИУ)» г. Челябинск проведены исследования с помощью электронного микроскопа Jeol JSM-6460LV с энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments. Используемый метод позволяет провести локальный элементный анализ структурных составляющих с разрешением порядка 1 мкм.

Результаты и обсуждение

При рассмотрении образцов проб после проведения испытаний на разрывной машине невооруженным глазом можно увидеть участки, которые темнее самого излома. Изображения, полученные с помощью электронного микроскопа с увеличением $\times 30$ и $\times 85$, представлены на рисунках 2 и 3.

На рисунке 2 видна металлическая матрица образца, при этом большая часть сформиро-

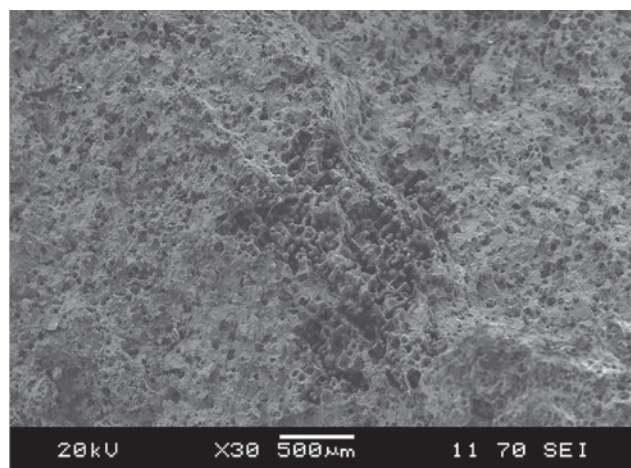


Рис. 2. Изображение общего вида излома, увеличение $\times 30$

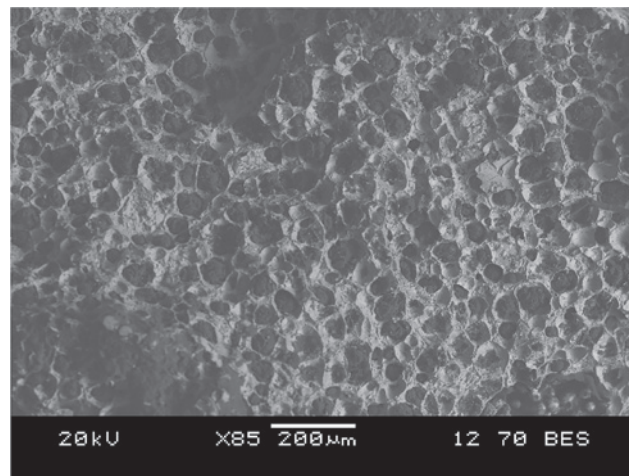


Рис. 3. Изображение общего вида излома, увеличение $\times 85$

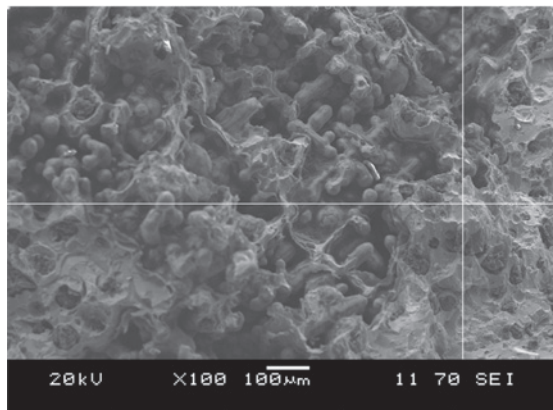
ванного изображения серого цвета. В центре изображения локальная зона темного цвета — исследуемое «темное пятно». На рисунке 3 увеличенное изображение центральной локальной зоны. Видны плотно сгруппированные частицы темного цвета. На рисунке 4 представлены изображения характерных точек и их спектры.

На спектрах, представленных на рисунке 4 можно увидеть, что шарообразные включения по химическому составу являются, практически чистым углеродом. Можно сказать, что «темные пятна» и есть скопления включений углерода.

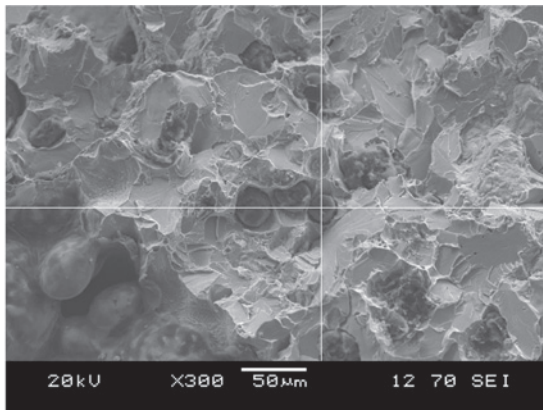
Для анализа распределения графита за пределами локальной зоны скопления включений был подготовлен образец [5]. Изображение представлено на рисунке 5.

На изображении видно, что за пределами «темного пятна» количество включения графита на порядок меньше, чем в самом «пятне», и соответствует нормальному распределению графита в структуре высокопрочного чугуна. Также был определен химический состав включения графита, находящегося в зоне нормального распределения графитовых включений. Изображение и морфологический состав представлены на рисунке 6.

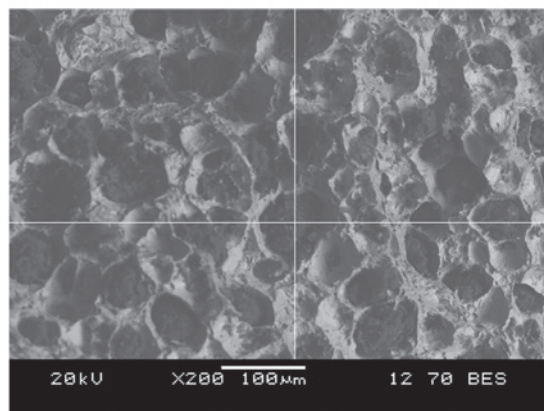
Видно, что в составе включения обнаружен магний и большее содержание серы, чем среднее содержание серы в расплаве. Можно предположить, что данное включение образовалось в процессе формирования графита на подложке из сульфида магния, что соответствует наиболее распространенной теории о механизме формирования графитных вклю-



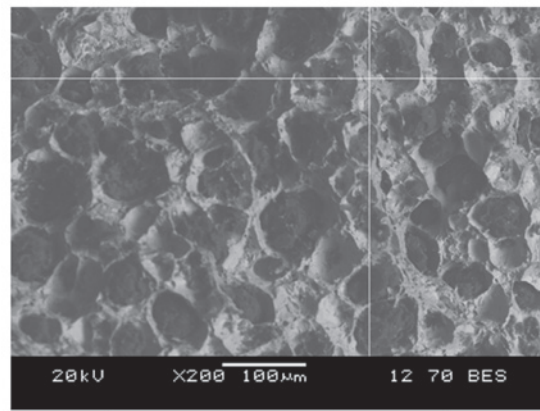
C, %	Si, %	Fe, %
-	4.11	95.89



C, %	Si, %	Fe, %
96.11	-	3.89



C, %	Si, %	Fe, %
95.73	-	4.27



C, %	Si, %	Fe, %
-	2.13	97.87

Рис. 4. Изображения характерных точек и их спектры

чений при получении высокопрочного чугуна [6, 7], после его обработки магнийсодержащим модификатором (в данном случае Сферомаг®5212, производства ООО НПП Технология).

При выплавке чугуна на стальном ломе с использованием науглероживателя в некоторых случаях, возникает необходимость проведения доводки металла по содержанию углерода. Доводка металла по содержанию углерода чаще всего осуществляется путем ввода науглероживателя на зеркало металла в печи. При таком способе ввода необходимо учитывать, что растворение частиц науглероживателя происходит в результате гетерогенного взаимодействия частиц науглероживателя и металла (т. е. по границе частиц науглероживателя). Соответственно, после присадки науглероживателя необходимо произвести выдержку металла в печи с целью его полного растворения, в случае, если нет воз-

можности произвести выдержку металла, и позволяет химический состав расплава, выполнить корректировочную доводку по углероду передельным чугуном.

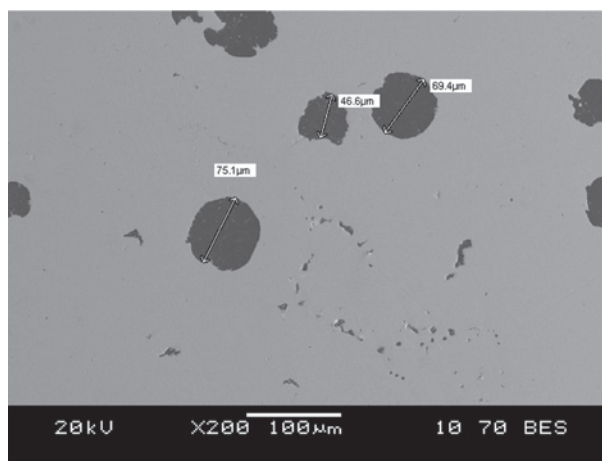
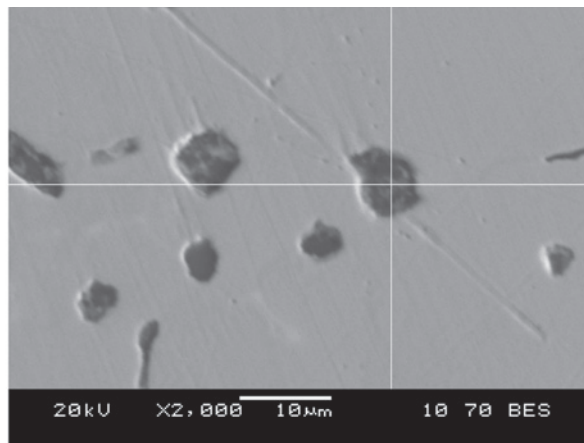


Рис. 5. Форма и распределение графита за пределами «темного пятна»



C	O	Mg	Si	P	S	Ca	Fe	Ce
47.06	14.18	9.72	0.63	0.44	0.19	0.36	26.16	1.26

Рис. 6. Изображение и спектр точки во включении графита

Выводы

1. Были получены образцы высокопрочного чугуна марки ВЧ50 на поверхности излома которых визуальны видны области более темного цвета, чем основная поверхность образца. Данные образцы не прошли испытания на механические свойства. Можно предположить, что именно «темные пятна», оказывают влияние на механические характеристики полученных образцов, и в конечном итоге на свойства отливок.

2. С целью определения возможных причин образования данного дефекта, были проведены исследования образцов методами электронной микроскопии, определен морфологический состав исследованных включений.

3. Было обнаружено два типа неметаллических включений: практически чистый углерод в виде графита и включений в центре которых отмечено повышенное содержание магния, и серы, существенно превышающей ее содержание в расплаве.

4. Из-за различий по составу исследованных включений, можно предположить различные процессы их образования. Процесс образования графита, в котором обнаружен магний и сера связан с обработкой чугуна магниесодержащим модификатором. Включения, не содержащие магний, образовались по другому механизму.

5. Процесс растворения углерода в расплаве чугуна — гетерогенный процесс, проходящий по границе «металл-частица науглероживателя» и требующий определенного времени. Это время необходимо учитывать, при про-

ведении доводки расплава по углероду. Скорость процесса растворения углерода зависит от различных параметров (размера частиц науглероживателя и его качества, температуры расплава, типа и характеристик плавильного агрегата). Важно, в условиях каждого конкретного предприятия определить влияние приведенных параметров и скорректировать технологический процесс так, чтобы исключить образование описанного дефекта.

Библиографический список

1. ГОСТ 7293—85. Чугун с шаровидным графитом для отливок. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004.
2. ГОСТ 19200—80. Отливки из чугуна и стали. Термины и определения. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004.
3. Изосимов, В.А., Усманов, Р.Г. Влияние химического состава высокопрочного чугуна на его механические свойства [Текст] / В.А. Изосимов, Р.Г. Усманов // *Литье и металлургия*. — 2004. — № 2. — С. 32—36.
4. Воеводина, М.А., Крушенко, Г.Г. К вопросу о «черных пятнах» в чугуне с шаровидным графитом [Текст] / М.А. Воеводина, Г.Г. Крушенко // *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева*. — 2011. — № 4. — С. 160—163.
5. ГОСТ 3443—87. Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры. М.: Стандартинформ, 2008.
6. Шапранов И.А. Неметаллическая фаза в магниевом чугуне. / Шапранов И.А. [Текст] // *Высокопрочные чугуны*. — Киев: Машгиз., 1954. — С. 271—274.
7. Ващенко К.И., Софрони Л. Магниевый чугун / Ващенко К.И., Софрони Л. [Текст] // *Высокопрочные чугуны*. — Киев: Машгиз., 1960. — С. 485—489.