

Исследование дефекта «подкорковая раковина» на примере отливки «цилиндр»

Аннотация. В ходе работы исследовались причины и пути устранения дефекта «подкорковая раковина» в чугунной отливке «Цилиндр» на машиностроительном предприятии. Были рассмотрены три возможных причины образования данного типа раковин: шлаковый засор, усадочная раковина, газовая раковина. Изучен технологический процесс производства представленной отливки. Проведено металлографическое исследование образцов отливки, моделирование литейной технологии в программе ProCAST. Произведена вырезка образца с раковиной, полученные образцы исследовались методом электронной микроскопии. Выявлена причина образования дефекта. Реализованы корректирующие мероприятия, позволившие устранить дефект «подкорковая раковина» на данной отливке.

Ключевые слова: подкорковая раковина, ситовидная пористость, несплошность отливки, газовая раковина, усадочная раковина, стержень, стержневая смесь.

Abstract. During experimental work the reasons and the ways of elimination of defect «subcutaneous blowhole» in gray iron casting «Cylinder» at automobile factory were investigated. Three possible reasons for the formation of this type of blowhole were investigated: slag blowhole, shrinkage hole, gas blowhole. The technological process of presented casting is studied. The metallographic investigation the specimens of casting have been studied, simulation of casting technology in ProCAST was carried out. The sample with a blowhole was cut, and the obtained samples were studied by electron microscopy. The cause of the defect formation is revealed. Corrective measures were implemented, which made it possible to eliminate the «subcutaneous blowhole» defect on casting.

Keywords: subcutaneous blowhole, pinhole porosity, discontinuity of casting, gas hole, shrinkage hole, core, core sand mixture.

Обзор проблемы

Современные литые детали испытывают высокие нагрузки в машинах и механизмах, что повышает требования к их надежности и долговечности. При получении ответственных деталей специалисты литейщики вынуждены

решать задачи по предотвращению образования дефектов поверхности (несплошности) отливки различного рода: усадочные раковины, газовые и шлаковые раковины, ситовидная пористость и др. Большая часть из указанных дефектов обнаруживается непосредственно после очистки отливок, другая часть — вскрывается в ходе проведения механической обработки. Перечень причин, по которым может образоваться тот или иной дефект отливки довольно обширен. Установление этих причин в каждом конкретном случае требует глубокого анализа технологии производства отливки, а также исследования природы самого дефекта.

На машиностроительном предприятии на отливке «Цилиндр» проведено исследование дефекта «подкорковая раковина». Дефект обнаруживается во время проведения механической обработки на внутренней поверхности отливки в месте ее контакта со стержнем. Согласно анализу статистики по браку за 2019—2021 гг., представленный дефект не носит сезонного характера, проявляется время от времени и может увеличиваться до 50%. Изображение дефекта представлено на рис. 1.

Аналогичный дефект описан в ряде работ [1, 2, 3, 4, 5]. Признаки (внешний вид, форма, расположение) указывают на то, что данный дефект подходит под описание ситовидной пористости. Дефект описывается как скопление тонких, удлиненных раковин неправильной формы с гладкой поверхностью, раковины вскрываются после механической обработки в местах контакта отливки со стержнями или участками литейной формы, выполненными из стержневой смеси. Раковины располагаются на поверхности отливки или под ней и вытягиваются на несколько миллиметров перпендикулярно к поверхности отливки вглубь ее тела [4].

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44

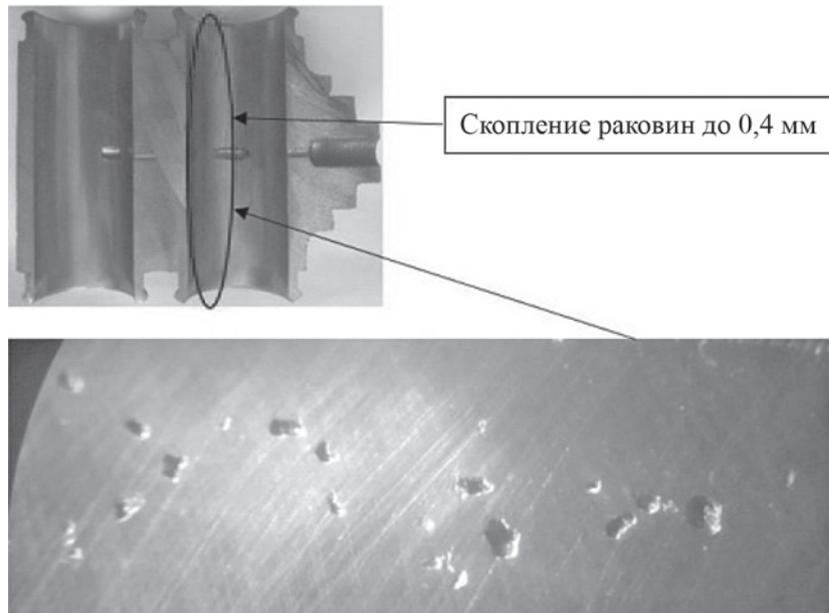


Рис. 1. Фото дефекта «подкорковая раковина» отливки «Цилиндр Колесный»

Среди причин, по которым возможно образование подобного дефекта следует выделить материалы, способные при контакте с металлом выделять газовую фазу из водорода, фенола, бензола, триэтиламина, формальдегида и оксидов углерода. Следует также отметить, что в системе металл—стержень окислительный потенциал атмосферы значительно ниже, чем в системе металл—форма [6].

Цель работы

Цель данной работы — исследование природы дефекта «подкорковая раковина», выявление возможных причин образования дефекта. Снижение или полное устранение брака на отливке «Цилиндр» в условиях реального машиностроительного производства.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования представлена отливка «Цилиндр», изготавливаемая из чугуна марки СЧ20. Масса отливки — 1,565 кг, средняя толщина стенки 9 мм. Количество отливок в форме — 9 шт. Способ формообразования — песчано-глинистая смесь по процессу Сейатцу, изготовление стержней по Cold-Vox amin процессу, выплавка чугуна осуществляется в дуговых печах с основной футеровкой емкостью 5 т.

Для проведения металлографического исследования применялся оптический микроскоп SIAMS MT300 с установленным про-

граммно-аналитическим комплексом АМФТТ «SIAMS®800».

Для моделирования процесса заливки использовалась программа Pro-CAST.

С целью исследования состава и морфологии дефекта использовался электронный микроскоп Jeol JSM-6460LV с энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments. Приведенный метод исследования позволяет провести локальный элементный анализ структурных составляющих с разрешением порядка 1 мкм.

Ход работы

В ходе проведения исследовательской работы рассматривали три возможных природы образования раковины: шлаковый засор, усадочная раковина, газовая раковина. Был изучен технологический процесс производства данной отливки. Проведено металлографическое исследование образцов отливки. Проведено моделирование литейной технологии в программе ProCAST. Произведена вырезка образца с раковиной с целью ее исследования на электронном микроскопе.

Результаты исследования и их обсуждение

В исследовательском центре ООО НПП Технология провели металлографическое ис-

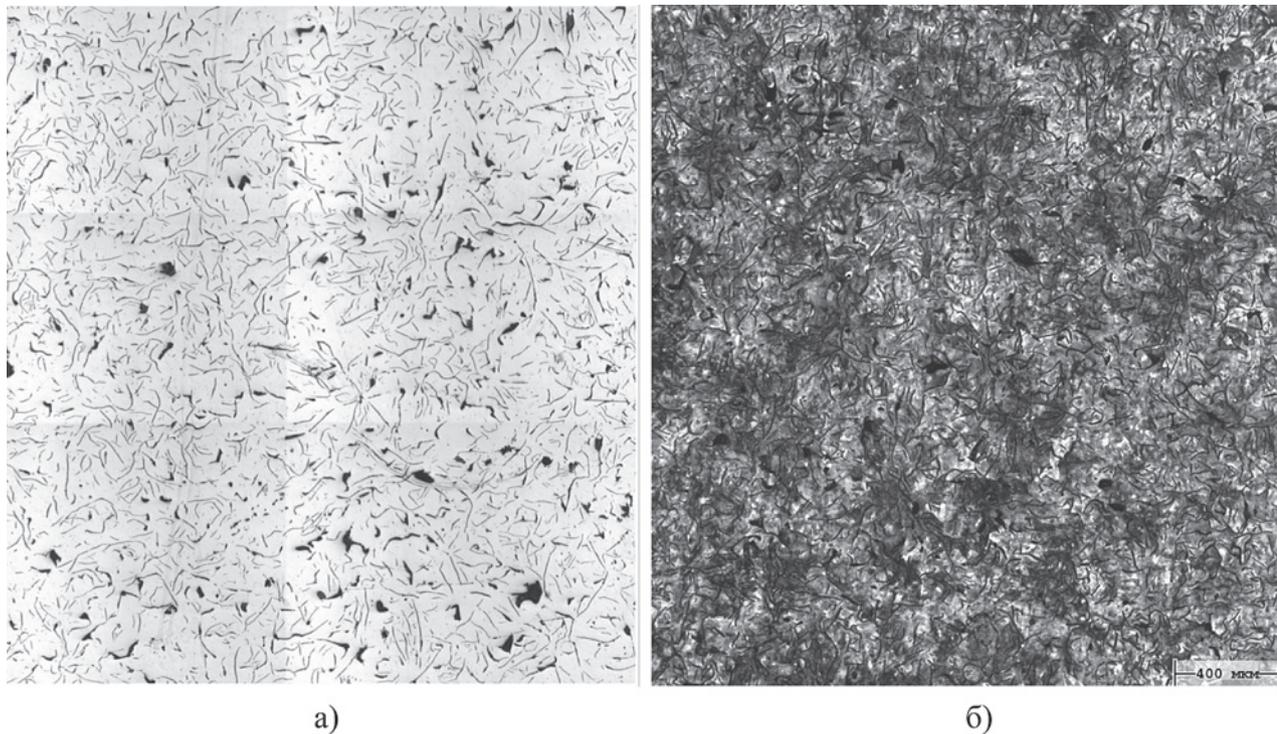


Рис. 2. Изображение микроструктуры отливки «Цилиндр»: а) не травлено; б) травлено

следование образца отливки «Цилиндр». Результаты анализа структуры графита в сером чугуна представлены в табл. 1. Изображение микроструктуры представлено на рис. 2.

Согласно результатам проведенного металлографического исследования микроструктура

отливки «Цилиндр» полностью соответствует предъявляемым техническим требованиям. Форма графита представлена как ПГф1 пластинчатая прямолинейная, распределение равномерное, количество включений графита 10%. Металлическая матрица феррито-пер-

Таблица 1

Результаты анализа структуры графит

Площадь анализа, кв. мм	6,34
Общая площадь графита, кв. мм	0,671
Общая доля графита, %	10,6
Относительная доля пластинчатого графита, %	98,4
Доля ПГф1 (в пластинчатом), %	58,1
Доля ПГф2 (в пластинчатом), %	40,2
Доля ПГф3 (в пластинчатом), %	0,1
Доля ПГф4 (в пластинчатом), %	1,6
Преобладающая форма пластинчатого графита	ПГф1. Пластинчатая прямолинейная
Длина пластинчатого графита	ПГд350, 250—500 мкм (260,7)
Распределение включений графита	ПГр1. Равномерное
Количество включений графита	ПГ10 (10,6%)
Диаметр шаровидного графита	ШГд25, 15—30 мкм (22,6)
Структура графита в чугуне по ГОСТ 3443	ПГф1—ПГд350—ПГр1—ПГ10

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44

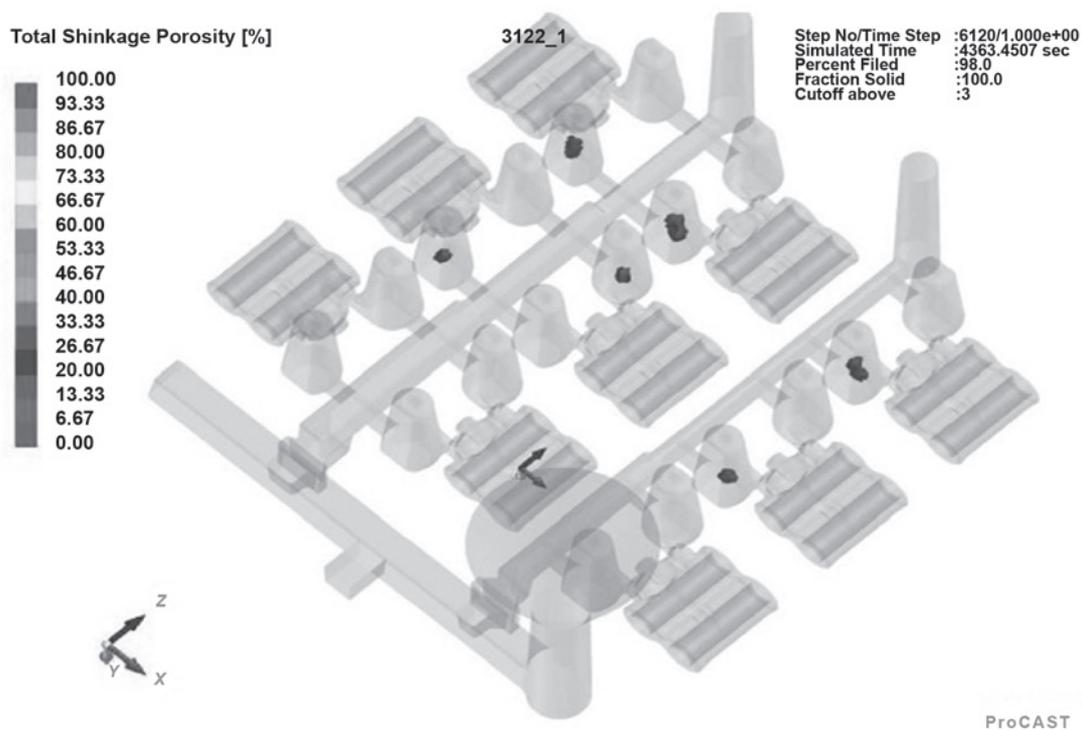


Рис. 3. Результаты моделирования прогнозирования усадочных раковин

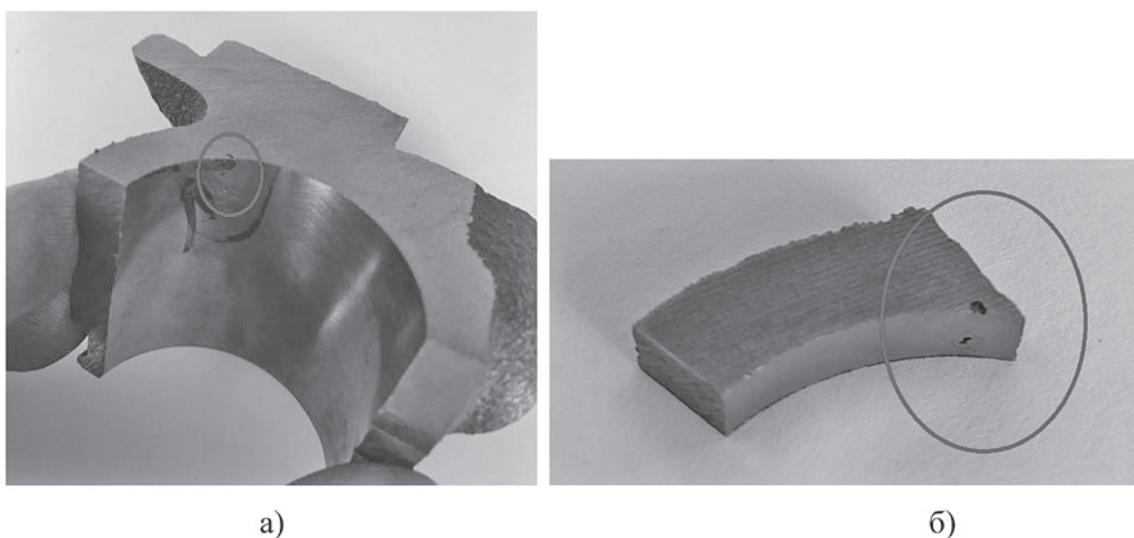


Рис. 4. Изображение образца отливки *а)* и образца раковины *б)*

литная, карбиды отсутствуют. Это говорит о том, что применяемый способ обработки чугуна модификатором ФС75Ст фр. 1–6 мм производства НПП Технология является эффективным и обеспечивает отсутствие цемента в структуре отливки, создает условия для формирования графита требуемой формы в необходимом количестве.

С целью подтверждения или опровержения предположения о том, что дефект имеет

природу усадочного характера, провели моделирование отливки в программном продукте ProCAST. Результаты моделирования прогнозирования усадочных раковин приведены на рис. 3.

Согласно результатам проведенного исследования рис. 3 моделирование, выполненное по действующим технологическим параметрам производства, не выявило вероятности образования усадочных дефектов в отливках.

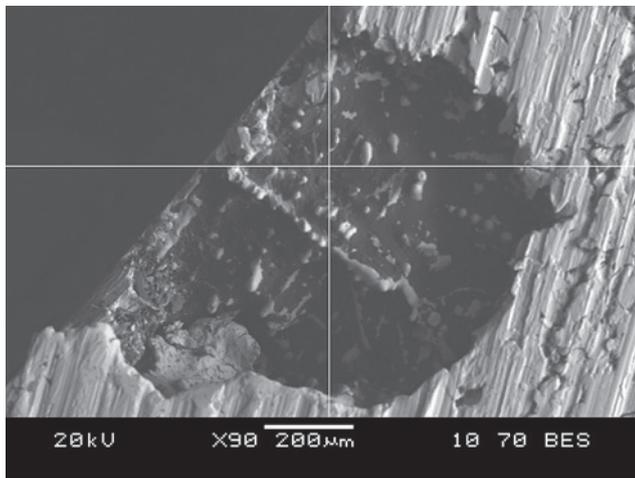


Рис. 5. Точка определения элементного состава темного участка (дефекта)

Вероятность образования усадочных дефектов наблюдается только в прибылях (синие пятна на рис. 3), что совпадало с практическими данными. Таким образом, можно сделать вывод, что природа дефекта не связана с усадкой.

С целью подтверждения или опровержения предположения о том, что дефект имеет природу шлакового характера, провели исследование дефекта на электронном микроскопе. Для этого вырезали фрагмент из детали с раковинами. Фото образца отливки и образца с раковиной, подготовленного для исследования представлены на рис. 4.

В ходе проведения исследования на микроскопе были получены следующие данные. Исследуемая полость раковины пустотелая, кромочная поверхность без острых краев, внутренняя поверхности раковины темного цвета см. рис. 5.

Пересечение осей на фото на рис. 5 показывает место отбора элементного состава, который представлен на графике на рис. 6. Поверхность раковины покрыта черным веществом, которое при анализе определяется как углерод. Можно предположить, что обнаруженный слой углерода образовался в результате термодеструкции углеводородов, выделяющихся из органического связующего (из стержневой смеси) в ходе заливки металла. Чем выше концентрация смолы в стержне, тем больше образуется газообразных углеводородов и соответственно больше вероятность образования дефекта.

Провели анализ элементного состава из точки на светлой поверхности рис. 7. Результаты анализа представлены на рис. 8.

Из анализа элементного состава представленного на рис. 8 видно, что на светлых участках снимка преобладает железо. Таким образом, светлые участки (рис. 7) можно определить как металлическую основу чугуна.

Анализ дефекта «подкорковая раковина» на электронном микроскопе показал отсутствие оксидов, что говорит о том, что природой дефекта не являются шлаковые включения.

Таким образом, из проведенных исследований можно сделать вывод о том, что природой дефекта являются газообразные продукты, выделяемые при пиролизе органического связующего в ходе заливки металла по формам и контакте его со стержнем.

С целью подтверждения того факта, что причиной образования газовой раковины может быть стержень, изготовленный по технологии Cold-box amin процесс, было предложено провести опытную заливку со стержнем

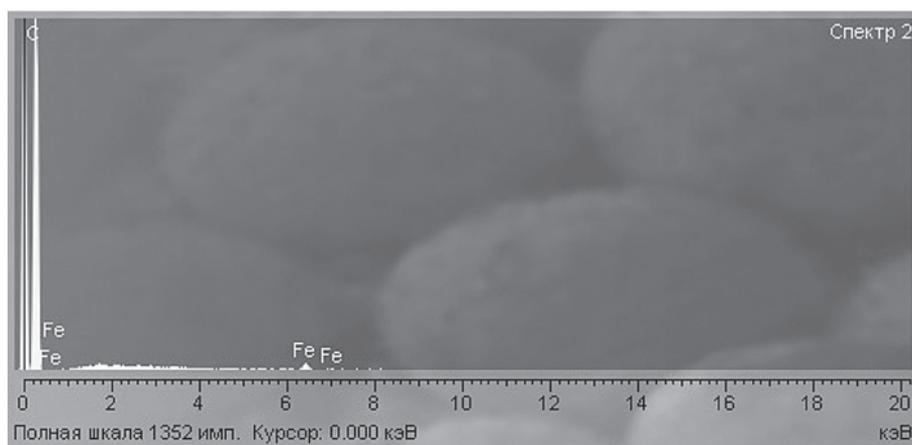


Рис. 6. Анализ состава темного участка «подкорковой раковины»

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44

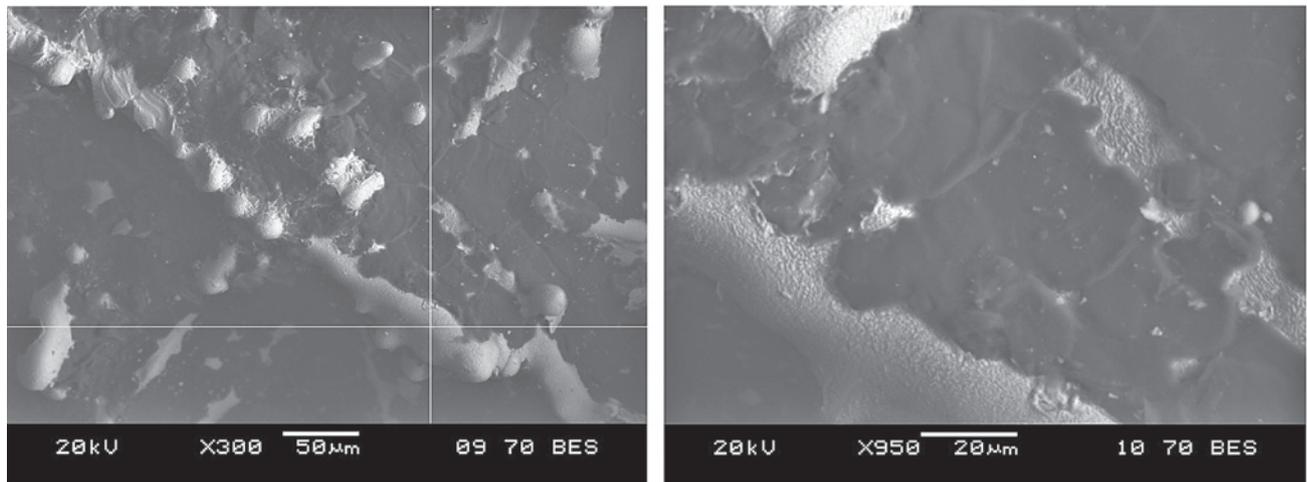


Рис. 7. Точка определения элементного состава светлого участка (дефекта)

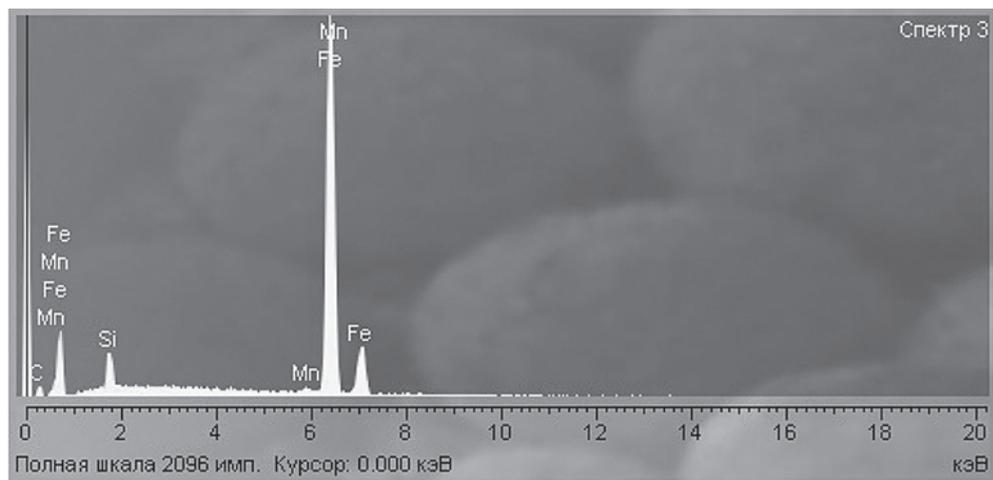


Рис. 8. Анализ состава светлого участка «подкорковой раковины»

изготовленным по иной технологии, а именно технологии Hot-box. В ходе работ изготовили опытную партию отливок в количестве 225 шт., и укрупненную партию в количестве 700 шт. После механической обработки обеих партий отливок брак по дефекту «раковина подкорковая» составил 0%. Параллельно проведена заливка сравнительной партии в количестве 600 отливок по действующей технологии Cold-box amin процесс. Брак в сравнительной партии составил 50%.

При производстве стержней на стержневой машине Laetре по технологии Cold-box amin процесс в качестве компонентов связующего используется фенол-формальдегидная смола C_7H_6O (компонент А) и полиизоцианат $C_{15}H_{10}N_2O_2$ (компонент Б), которые при термодеструкции в результате заливки металла образуют газообразные продукты. Таким об-

разом, при избытке перечисленных соединений происходит образование газовых раковин, ситовидной пористости в отливках. Следует отметить, что наиболее легко растворяются в расплавах на основе железа атомы водорода, сложные газы в расплавах нерастворимы.

В литейном производстве известна практика использования в экзотермических смесях добавок оксида железа (гематита) как сильного окислителя [7]. Для предотвращения насыщения металла водородом в ходе его выплавки также используются дорогостоящие способы, основанные на вводе в расплав гидридообразующих металлов: титана, циркония, РЗМ или модификаторов с их содержанием [8, 9, 10, 11].

В качестве решения представленной задачи по устранению дефекта «подкорковая раковина» было предложено ввести в стержневую

Таблица 2
Результаты расчетов ΔG

Реакции	ΔG_p^0 , Дж/моль Fe_2O_3	
	1300 °C	1400 °C
1	-59146,94	-69924,94
2	-59972,58	-68618,58

смесь окислитель в виде оксида железа Fe_2O_3 в количестве 1,5% от общего объема смеси. В результате применения добавки оксида железа в составе стержневой смеси удалось устранить дефект отливки, брак составил 0%.

При заливке чугуна по формам (при температуре 1300—1400 °C) органическое связующее смеси разлагается с выделением предельных и непредельных углеводородов в газовой фазе (C_xH_y), которые в свою очередь также подвергаются термодеструкции с выделением водорода, который растворяется в металле в атомарном виде и при определенных условиях формирует в отливках газовые раковины. В случае наличия в составе смеси гематита Fe_2O_3 возможно протекание следующих реакции в системе металл-стержень:



$$\Delta G_p^0 = \Delta G_{H_2O} + 2\Delta G_{FeO} - \Delta G_{Fe_2O_3},$$

Дж/моль Fe_2O_3



$$\Delta G_p^0 = 3\Delta G_{H_2O} - \Delta G_{Fe_2O_3}, \text{ Дж/моль } Fe_2O_3.$$

Результаты расчетов ΔG реакции 1 и реакции 2 представлены в таблице 2 ниже [12].

Как видно из таблицы 2 протекание обеих реакций возможно примерно с одинаковой вероятностью. Таким образом, добавка оксида железа позволила связать водород в прочное оксидное соединение (H_2O).

Выводы

1. В ходе последовательно проведенных исследований определено, что природой дефекта является газ, а именно водород, выделяемый в результате термодеструкции связующего стержня. Причиной дефекта является откло-

нение технологического процесса производства стержней по технологии Cold-box amin процесс по качеству и количеству используемых компонентов в составе стержневой смеси, что подтверждается заменой стержней, изготовленных по другой технологии Hot-box процесс.

2. Использование добавки гематита Fe_2O_3 в составе стержневой смеси в количестве 1,5% позволило скорректировать состав смеси и таким образом устранить брак по дефекту подкорковая раковина на отливке «Цилиндр» за счет перевода образующегося водорода в его оксид, который как сложный газ, в расплаве чугуна не растворяется.

Библиографический список

1. Воронин Ю.Ф., Камаев В.А. Атлас литейных дефектов. Черные сплавы. Монография. — М.: Машиностроение-1. — 2005. — 328 с.
2. Воронин Ю.Ф. Повышение качества литья. Системный подход. — М.: Машиностроение-1, — 2007. — 264 с.
3. Воронин Ю.Ф., Камаев В.А. Экспертная оценка качества литья. Черные сплавы. — М.: Машиностроение-1, — 2006. — 180 с.
4. Беляков А.И., Жуков А.А. Производство отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом / под ред. А.И. Белякова. — М.: Машиностроение, 2010. — 712 с.
5. Соляков Д.А., Болдин А.Н. Процессы газовой выделения из стержней горячего и холодного отверждения / Соляков Д.А., Болдин А.Н., Яковлев А.И. — М.: Машиностроение-1, 2004. — 200 с.
6. Лазаренков А.М., Садох А.М. Исследование воздушной среды рабочих зон литейных цехов при современных технологиях изготовления стержней и форм // Литейщик России. — 2022. — № 9. — С. 29—32.
7. Новохацкий В.А., Жуков А.А. Малоотходная технология производства стальных отливок с экзотермическими прибылями // Новохацкий В.А., Жуков А.А., Макарычев Ю.И. — М.: Машиностроение. — 1986. — 64 с.
8. Болдин А.Н., Соляков Д.А. Получение отливок без ситовидной пористости / Литье и металлургия. — 2 (34). — 2005. — 1 с.
9. Тепляков С.Д. Ситовидная пористость в отливках // Литейщик России. — 2004. — № 12. — С. 33—37.
10. Elimination of casting defects induced by cold box cores / Url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320380196>
11. Naro R.L. Porosity Defects in Iron Castings From Mold-Metal Interface Reactions / Silver Anniversary Paper, Div. 5. — 13 p.
12. Казачков Е.А. Расчеты по теории металлургических процессов // Уч. пособие для вузов. — М.: Металлургия. — 1988. — 288 с.