

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВОВ

Н.А. Шабурова

Описаны исследования, проводимые в рамках работы по изучению технологии модифицирования низкоуглеродистой стали барийсодержащими модификаторами. Исследована структура самого модификатора, а также структура стали 20, модифицированной БСК-2.

Ключевые слова: модифицирование, барийсодержащий модификатор, низкоуглеродистая сталь.

Согласно заключению, сделанному Я.И. Френкелем и впоследствии многократно экспериментально подтвержденному, расплавы по своим свойствам и строению гораздо ближе стоят к твердым телам, чем к газам, особенно при температурах, близких к температуре кристаллизации [1].

Однако в отличие от кристаллических тел, обладающих дальним порядком, основной характеристикой структуры жидкости является ближний порядок, т. е. наличие микроскопических объемов (кластеров), в пределах которых частицы располагаются упорядоченно. Теория кластеров рассматривает расплав как сочетание двух структурных составляющих: кластеров и разделяющей кластеры бесструктурной «разупорядоченной» зоны с хаотическим расположением частиц, как правило, более «рыхлой».

Кластеры и бесструктурная зона термодинамически неустойчивы и в результате флуктуации энергии они непрерывно локально «перерождаются» друг в друга. Но соотношение объемов, занимаемых кластерами и разупорядоченной зоной, для каждой температуры постоянно.

Продолжительность жизни кластеров велика по сравнению с продолжительностью цикла колебаний частиц в жидких металлах (10^{-14} – 10^{-13} с), а их размеры на несколько порядков превышают размеры атомов [1]. При снижении температуры расплава до кристаллизационной, кластеры участвуют в процессе кристаллизации, играя роль готовых зародышевых центров.

Таким образом, физико-механическими свойствами сплава, которые формируются в предкристаллизационный и кристаллизационный периоды, определяются эксплуатационные характеристики литых заготовок. А значит, воздействием на структуру и свойства расплава возможно получение металла с заданными свойствами.

На сегодняшний день существует большое количество способов внешнего воздействия на расплавы, с помощью которых можно управлять литой структурой [2]. Все их можно разделить на две группы: химические методы и физические методы.

Химические методы объединяют совокуп-

ность методов управления, связанных с изменением состава сплава, т. е. дополнительным вводом компонентов (легирование и модифицирование), либо удалением вредных примесей (рафинирование). В особую вспомогательную группу отнесены защитные методы, которые непосредственно не влияют на литую структуру, а лишь способствуют стабилизации качества путем сохранения результатов воздействия.

Физические методы включают воздействия, осуществляемые за счет энергетического взаимодействия системы (сплавов) с окружающей средой без изменения химического состава сплава. Физические методы воздействия в зависимости от вида энергоносителя можно разделить на следующие группы: тепловые; барометрические; гравитационные; механические; электромагнитные; высокоэнергетические (корпускулярные).

При выборе модифицирующих добавок мы остановились на барийсодержащих. И тому есть основания.

Если обратиться к существующим механизмам воздействия модификаторов, то можно отметить три из них:

1. Увеличение в расплаве неметаллических включений, которые могут служить центрами кристаллизации. Если эти включения находятся в физическом, химическом и структурном соответствии с основным металлом, то они оказывают инкулирующее действие.

2. Адсорбция элемента-модификатора на поверхности раздела фаз кристалл–расплав (вследствие чего происходит замедление скорости роста кристалла).

3. Связан с низкой предельной растворимостью модификатора в железе (при этом, чем меньше растворимость элемента, тем при меньшей его концентрации проявляется модифицирующий эффект).

Эффективность бария высока с точки зрения двух из указанных механизмов. Во-первых, он из всех ЦЗМ металлов имеет наименьшую растворимость в железе, а во-вторых, обладает сильным воздействием на электронное состояние жидкой стали [1].

В работе исследовалась структура модификатора БСК-2 и низкоуглеродистой стали после модифицирования БСК-2.

Образцы модификатора для исследований шлифовались на наждачной бумаге и полировались на мокром сукне без использования суспензий, во избежание попадания полирующих частиц на неровности поверхности и затруднения химического анализа структуры.

Микроструктура исследовалась на оптическом металлографическом микроскопе Axio Observer D1 фирмы Carl Zeiss и растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6460LV.

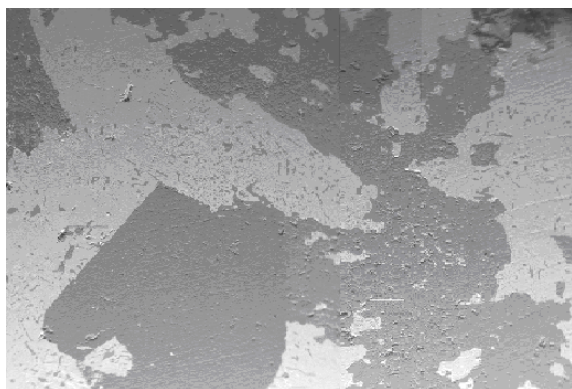


Рис. 1. Дендритное строение БСК-2, $\times 30$

Структура образца модификатора БСК-2 имеет явно выраженное дендритное строение и состоит из двух фаз (рис. 1).

Каждая из указанных фаз имеет однофазные и двухфазные участки.

Темные одно- и двухфазные области не содержат бария и стронция, основные элементы O, Si, K, Al, Fe. В двухфазных областях темной структурной составляющей, в отличие от однофазной, снижается количество Si и O, увеличивается содержание Ca и Fe. Полностью исчезает Al и K, но присутствуют Na и Mg. Химический состав участков темной структурной составляющей представлен в табл. 1.

В оставшихся элементах структуры (однофазной светлой области, темных включениях в светлой фазе) присутствуют Ba, Sr, Ca, O, C.

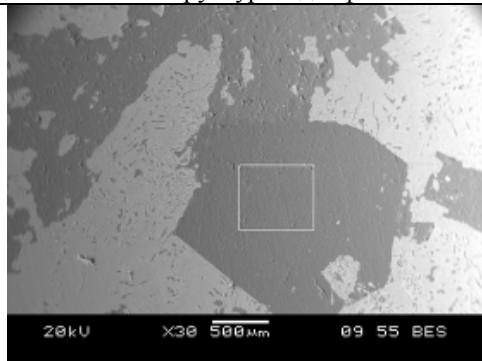
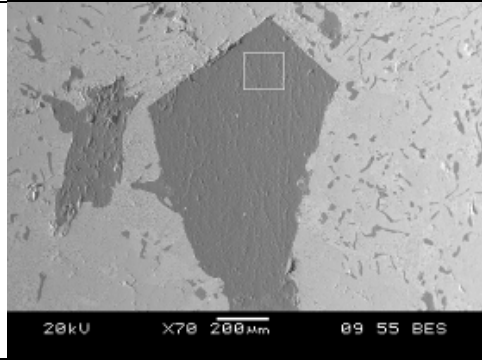
Химический состав указанных областей приведен в табл. 2–3.

Помимо темных Ca-Sr-Ba включений в светлой фазе встречаются выделения светло-серой фазы с повышенным содержанием стронция ($\approx 30\%$). Эти выделения имеют различные форму и размеры и равномерно распределены в светлой фазе (рис. 2).

Очевидно, что светлая фаза преимущественно содержит элементы, имеющие низкие температуры плавления и кристаллизуется по более сложному механизму. Ввиду этого представляло интерес рассмотреть распределение основных элементов в этом участке структуры детально. Для этого на растровом электронном микроскопе с микроанализатором JSM-6460 LV было проведено сканирование по линии. Результаты представлены на рис. 3.

Таблица 1

Химический состав темной фазы модификатора БСК-35, мас. %

Участок структуры однофазный	O	Al	K	Si	Ca	Fe
	47,55	6,59	15,63	25,12	0,52	4,58
	46,38	6,80	16,88	26,15	–	3,79
Среднее, мас. %	46,97	6,70	16,25	25,64	0,26	4,19

Окончание табл. 1

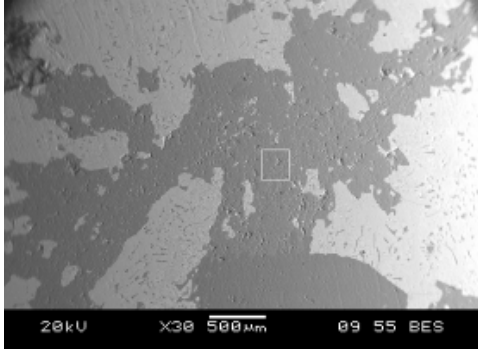
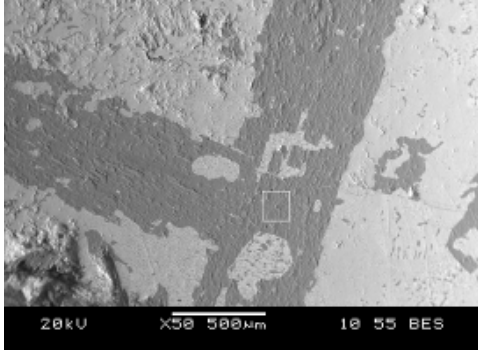
Участок структуры двухфазный	C	O	Na	Mg	Si	Ca	Fe
	11,64	44,00	3,09	2,05	13,13	13,97	12,11
	9,21	40,73	3,51	2,83	17,73	10,44	15,56
Среднее, мас. %	10,43	42,37	3,3	2,44	15,43	12,21	13,84

Таблица 2

Химический состав светлых однофазных участков, мас. %

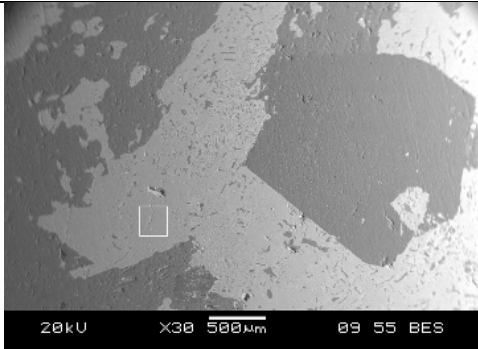
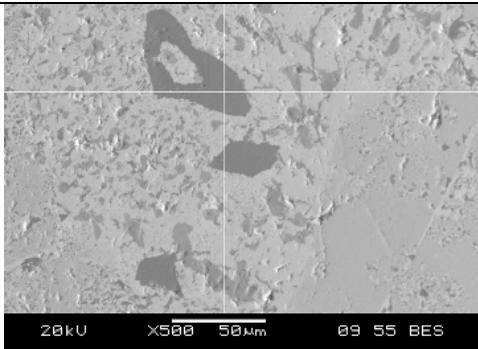
	Ca	Sr	Ba	C	O
 1	15,93	8,11	32,11	13,79	30,05
2	16,73	8,61	33,41	12,47	28,78
3	13,92	5,81	41,87	12,42	25,99
Среднее содержание элементов в однофазной области, мас. %	15,53	7,51	35,80	12,89	28,27

Таблица 3

Химический состав темных включений в светлой фазе, мас. %

	Ca	Sr	Ba	C	O
 1	36,54	6,55	3,23	12,35	41,33
2	37,75	5,88	2,81	12,61	40,96
3	31,35	5,11	2,05	15,08	46,41
Среднее содержание элементов в однофазной области, мас. %	35,21	5,85	2,70	13,34	42,9

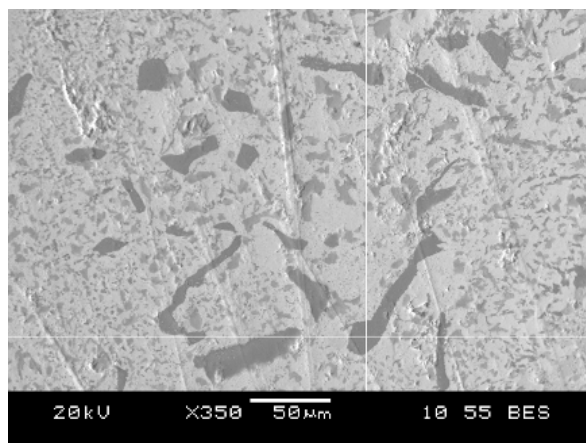


Рис. 2. Выделения темно-серой и светло-серой фаз

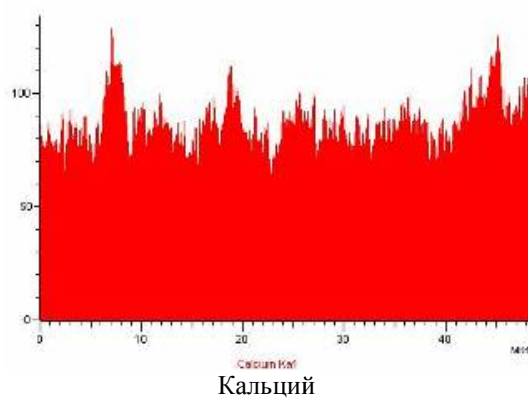
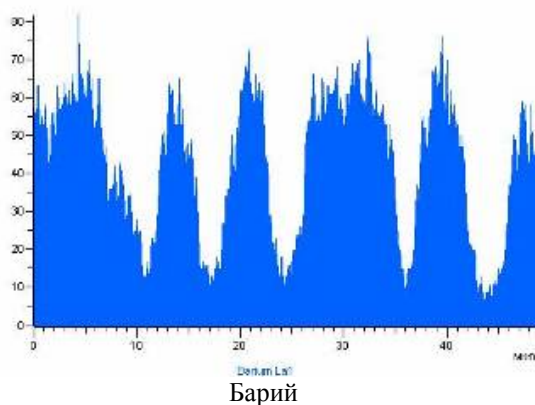
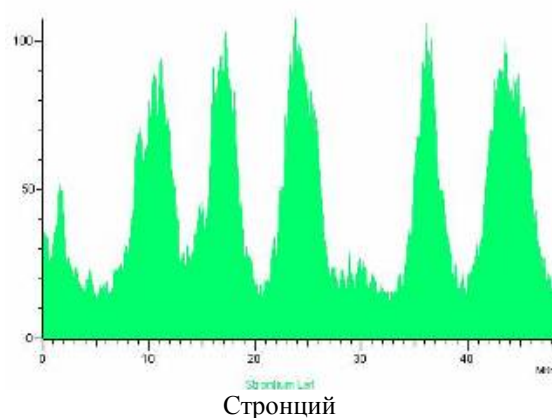
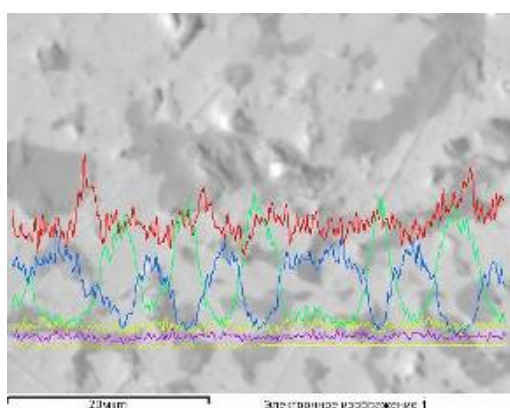


Рис. 3. Линии спектров основных компонентов светлой фазы

Таким образом, можно предположить, что темная, кремнийсодержащая фаза имеет более высокую температуру плавления и кристаллизуется в первую очередь. Светлая же структурная составляющая, содержащая 3 различные фазы, кристаллизуется при эвтектическому механизму с образованием тройной эвтектики.

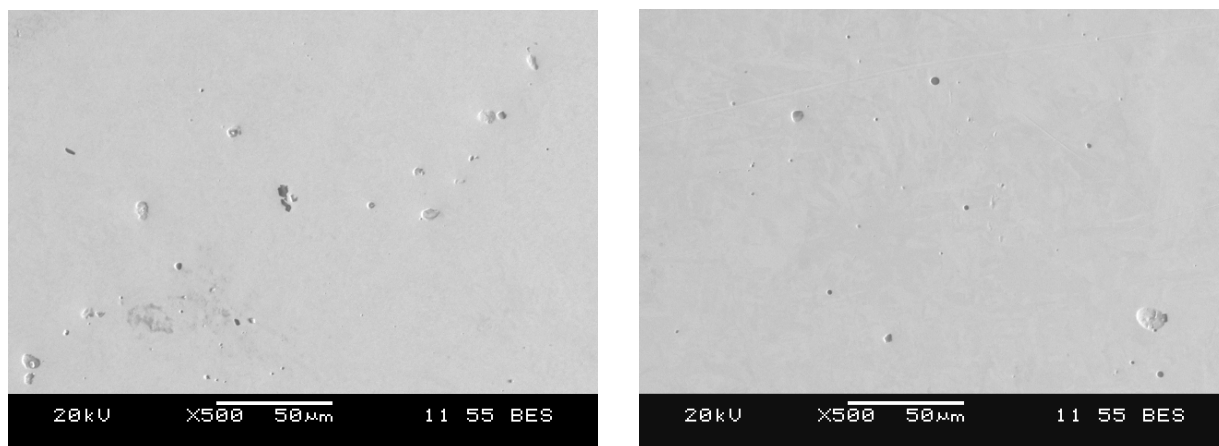
Исследованный модификатор БСК-2 использовался при проведении опытной плавки 10 кг стали 20. Измельченный модификатор в количестве 10 г вводили в расплав перед разливкой, перемешивали и отбирали стержневые пробы через 3 и 12 минут. Пробы диаметром 5 мм охлаждались в во-

де. Неметаллические включения исследовались на нетравленных шлифах.

Общий вид наиболее типичных участков структуры образцов представлен на рис. 4.

Следует отметить наличие в первом образце грубых, немодифицированных включений корунда, содержащих Mn и Si, во втором образце преобладают модифицированные включения этого типа.

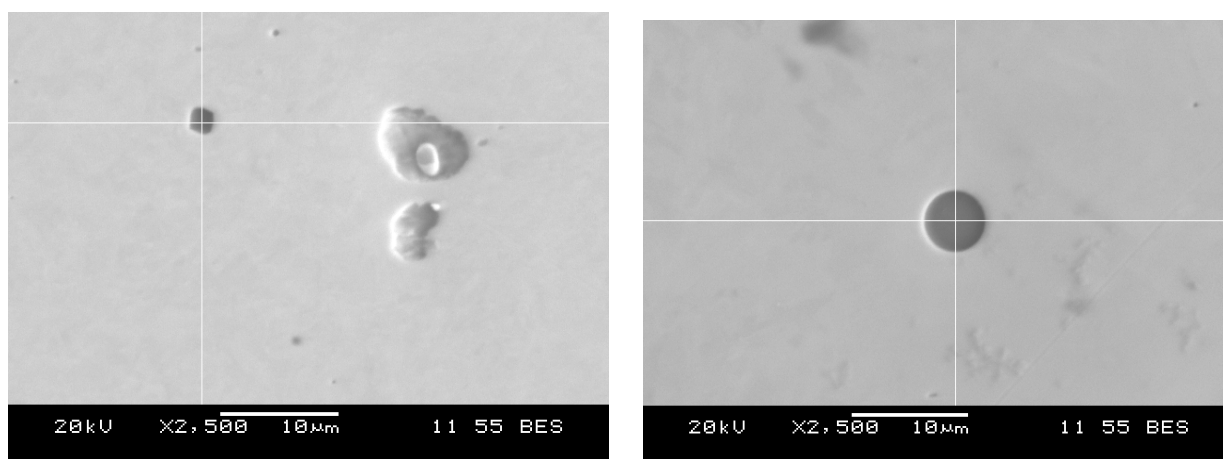
Размер включений, содержащих Ba, в обоих образцах не превышает 2 мкм. В обоих случаях барий присутствует во включениях одного типа, содержащих помимо бария O, Al, Mn, Mg (рис. 5).



а)

б)

Рис. 4. Неметаллические включения в образцах стали 20:
а – через 3 мин; б – через 12 мин после ввода модификатора



а)

б)

Рис. 5. Формы барийсодержащих включений в образцах:
а – через 3 мин; б – через 12 мин после ввода модификатора

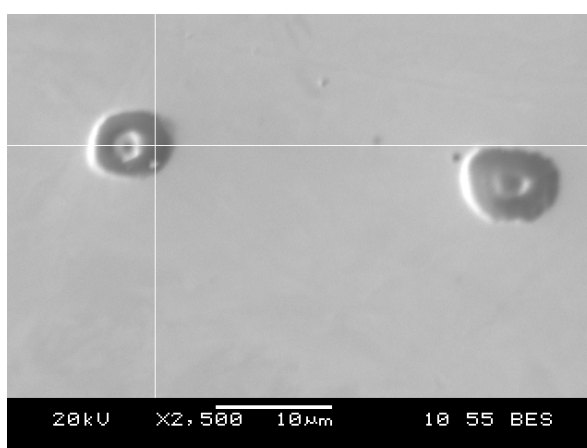


Рис. 6. Внешний вид сложных включений

В образце, отобранном через 12 минут после ввода модификатора, отмечено наличие нового типа включений, внешний вид которых представлен на рис. 6. Центральная часть включения (светлая)

представляет оксосульфид, содержащий Mn, S, Si, Al, O, P. Оболочка включения – практически чистый оксид Al_2O_3 .

Таким образом, можно отметить следующее:
1. Модификатор изначально имеет грубое дендритное строение, следовательно, для достижения наилучшего модифицирующего эффекта целесообразно его максимальное измельчение.

2. Сравнительный анализ образцов свидетельствует об уменьшении количества и размеров неметаллических включений при увеличении продолжительности выдержки после модифицирования.

3. Включения с барием обнаруживаются во

всех исследуемых образцах; включений, содержащих стронций, не обнаружено.

Литература

1. Рябчиков, И.В. Модификаторы и технологии внепечной обработки железоуглеродистых сплавов / И.В. Рябчиков. – М.: Экомет, 2008. – 400 с.

2. Гольдштейн, Я.Е. Модифицирование и микрореглирование чугуна и стали / Я.Е. Гольдштейн, В.Г. Мизин. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.

Шабурова Наталия Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры физического металловедения и физики твёрдого тела, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. Тел.: (351)2679013. E-mail: nata8855@gmail.com.

Bulletin of the South Ural State University
Series "Metallurgy"
2013, vol. 13, no. 1, pp. 85–90

THE THEORY AND PRACTICE OF USING EXTERNAL EFFECTS FOR PROCESSING METAL MELTS

N.A. Shaburova

The paper describes the work carried out within the framework of research of the technology of modification of low carbon steel with barium-containing modifiers. Investigated are the structure of the modifier itself and the structure of steel 20 modified by BSK-2 modifier.

Keywords: modification, barium-containing modifier, low-carbon steel.

Shaburova Nataliya Aleksandrovna, candidate of engineering science, associate professor of the Physical Metallurgy and Solid State Physics Department, South Ural State University. 76 Lenin avenue, Chelyabinsk, Russia 454080. Tel.: 7(351)2679013. E-mail: nata8855@gmail.com.

Поступила в редакцию 13 марта 2013 г.