



The efficiency of the method of late intra-form graphitizing modifying of composition of modifiers Superseed 75, SB5 and ФС65РЗМ1 as compared to ladle modification for disposal of such foundry defect as corner chill is shown.

В. М. МИХАЙЛОВСКИЙ, С. П. КОРОЛЕВ, О. А. КОНСТАНТИНОВИЧ,
А. Г. ШЕШКО, ОДО «ЭВТЕКТИКА»

УДК 621.74

ПОЗДНЕЕ ВНУТРИФОРМЕННОЕ ГРАФИТИЗИРУЮЩЕЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ – ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОТБЕЛА В ЧУГУННОМ ЛИТЬЕ

Способ введения модифицирующей добавки в расплав чугуна в значительной степени определяет кинетику первичной кристаллизации сплава. Принципиальное отличие внутриформенного модифицирования от ковшового способа обработки расплава чугуна заключается в реализации так называемого «позднего» модифицирования, когда время между операцией модифицирования и началом кристаллизации отливок сведено к минимуму. Особенно сильно воздействие этого фактора сказывается в процессе зарождения и роста графитной фазы. При вводе ферросилиция с активными элементами в расплав чугуна возникает как термическая, так и химическая неоднородность расплава (по типу образования микрзон, обогащенных кремнием). Все это интенсифицирует процесс графитизации вследствие высокой каталитической активности дополнительных центров кристаллизации.

Присутствие редкоземельных и щелочноземельных элементов в модификаторе для вторичного графитизирующего модифицирования чугуна позволяет стимулировать графитизацию за счет «замутнения» расплава дисперсными включениями – подложками для кристаллизации графита. Это приводит к увеличению удельного числа включений графита на единице площади.

Вместе с тем, взаимодействие модификатора с жидким чугуном обусловлено введением в расплав элементов, активно реагирующих с примесями – серой и кислородом. Образующиеся неметаллические включения могут являться дополнительными подложками для кристаллизации таких центров графитных включений.

Присутствующие в сплавах неметаллические включения в зависимости от характера их образо-

вания разделяются на экзогенные, поступающие из печи, шлака, футеровки, формовочной смеси, и эндогенные – продукты сложных физико-химических процессов в жидком, затвердевающем и твердом металле. Характер образования эндогенных неметаллических включений можно определить по классификации, предложенной В. И. Явойским [1]:

1) предкристаллизационные: первичные, образующиеся при рафинировании (раскислении, десульфурации), и вторичные, возникающие при охлаждении жидкого металла до температуры ликвидуса;

2) кристаллизационные: третичные, образующиеся в затвердевающем металле в интервале между ликвидусом и солидусом;

3) послекристаллизационные: четвертичные, образующиеся в затвердевающем чугуне при его охлаждении до комнатной температуры.

Закономерности образования перечисленных типов неметаллических включений достаточно сложные и их зарождение, рост, дальнейшее взаимодействие между собой и сплавом подчиняются различным механизмам. Для качества чугунов наибольшее значение имеют первичные и вторичные включения. Их образование обычно рассматривается в рамках классической теории Гиббса–Фольмера. Образование и рост неметаллических включений связаны с изменением свободной энергии, в частности ее ростом вследствие затрат на образование новой поверхности между включением и расплавом. Исходя из теории флуктуаций, скорость образования числа зародышей в единице объема описывается уравнением [2]:

$$J = A \exp(\Delta G^*/KT), \quad (1)$$

где ΔG^* – суммарное изменение свободной энергии при образовании критического зародыша мольного объема V :

$$\Delta G^* = (16\pi\sigma_{i-a}^3 V^2) / [3(KT)^2 (\ln\alpha)^2], \quad (2)$$

где K – постоянная Больцмана; T – температура, К; σ_{M-B} – межфазовое натяжение на границе металл-включение; α – степень пересыщения.

В данном процессе под степенью пересыщения понимают отношения произведения фактических концентраций активного элемента (раскислителя R) и растворенной примеси (кислорода O) в степени, соответствующей стехиометрическим коэффициентам, к равновесным:

$$\alpha = [\%R]_0^m [\%O]_0^n / [\%R]_p^m [\%O]_p^n. \quad (3)$$

Отсюда следует, что чем больше степень пересыщения, тем легче происходит процесс образования включений. При невысоких значениях σ_{M-B} неметаллические включения выделяются из расплава самопроизвольно при небольшой степени пересыщения. Однако с ростом σ_{M-B} требуется существенное увеличение α . Установлено, что в реальных условиях плавки чугуна фактическая активность кислорода (α_0^O) может в несколько раз превышать равновесную по реакции с кремнием, т. е. для образования SiO_2 требуется определенная степень пересыщения расплава. Однако при введении более активных раскислителей, например PЗМ, образуются дисперсные неметаллические включения, которые в свою очередь могут выступать в качестве каталитических подложек для SiO_2 . Это приводит к образованию сложных по составу неметаллических включений.

Вместе с тем, можно считать, что дисперсные неметаллические включения, образующиеся по описанному механизму, полезны с точки зрения стимулирования процесса кристаллизации графитной эвтектики в чугунах.

Исследовали влияние состава модификатора на склонность чугуна к кристаллизации с образованием структурно-свободного цементита. В качестве графитизирующих модификаторов использовали Superseed 75 фирмы Elkem, SB5 фирмы SKW Giesserei и ФС65PЗМ1 с активными добавками. В качестве активных добавок использовали сложные железоорганические соединения типа $Fe(CO)_2(h-C_5H_5)_2$ в количествах 3–5% к массе основного модификатора (рис. 1).

Модификаторы дробили до фракционного размера 0,1–1,0 мм и затем спрессовывали в цилиндрические таблетки для внутриформенного графитизирующего модифицирования. Исследования проводили на образцах, отлитых по оснастке, вы-

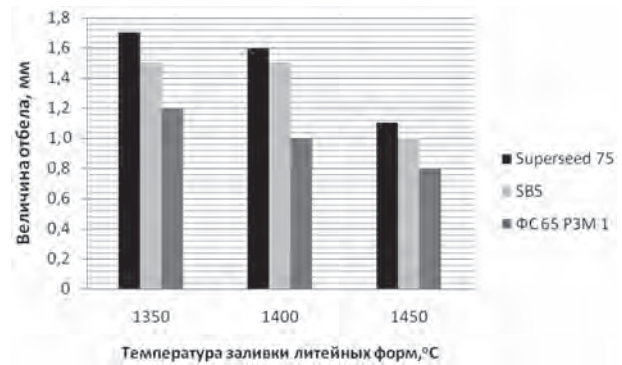


Рис. 1. Влияние состава прессованных модификаторов и температуры заливки литейных форм на величину отбела чугуна при внутриформенном графитизирующем модифицировании

полненной в виде «клиньев» с целью измерения величины отбела.

Химический состав исследуемых модификаторов приведен в таблице.

Химический состав исследуемых модификаторов

| Наименование модификатора | Химический состав, % | | | | | | |
|---------------------------|----------------------|------|-----|-----|-----|-----|-------|
| | Si | Ca | Sr | Al | PЗМ | Ba | Fe |
| Superseed 75 | 75 | 0,08 | 0,8 | 0,4 | – | – | 23,72 |
| SB5 | 67 | 0,5 | – | 1,2 | – | 1,8 | 29,5 |
| ФС65PЗМ1 | 64 | 0,2 | – | 1,2 | 1,0 | – | 33,6 |

Прессованные модификаторы (цилиндрические таблетки) устанавливали на стеклофильтр под сток (рис. 2).

Плавку чугуна осуществляли в тигельной печи ИСТ-016. Химический состав чугуна из печи, %: C – 3,3, Si – 2,1, Mn – 0,7, Cr – 0,12, P – 0,1, S – 0,04.

Заливку литейных форм расплавом чугуна проводили при различных температурах: 1350, 1400, 1450 °C. Расход прессованных модификаторов составлял 0,05% к металлоемкости литейных форм.

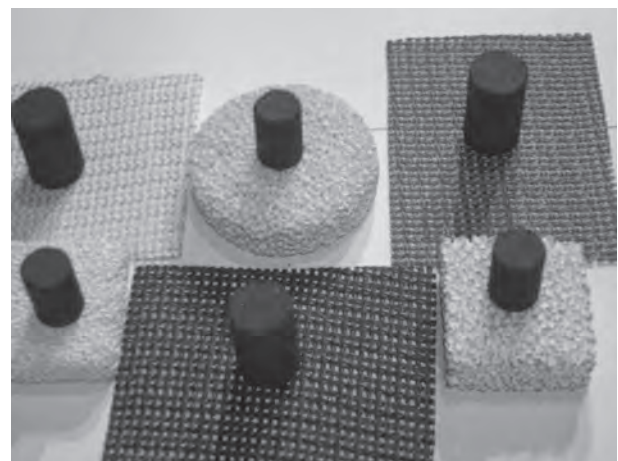


Рис. 2. Прессованные модификаторы

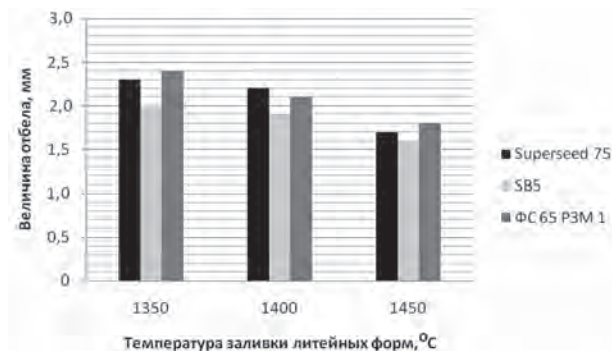


Рис. 3. Влияние состава фракционных модификаторов и температуры заливки литейных форм на величину отбела чугуна при ковшовом графитизирующем модифицировании

Для сравнения проведена серия экспериментов, в которой использовали те же модификаторы по химическому составу: Superseed 75, SB5, FC65P3M1 фракцией 0,8–1,0 мм. Графитизирующее модифицирование осуществляли в ковше металлоемкостью 100 кг. Обработку производили при тех же температурах: 1350, 1400 и 1450 °C. Расход графитизирующих модификаторов составил 0,3%. После снятия шлака с зеркала металла заливали формы с «клиньяками» для определения отбела, такие же, как в экспериментах с прессованными модификаторами (рис. 3).

Анализ полученных данных показывает, что вариант позднего внутриформенного графитизирующего модифицирования имеет ряд преимуществ пе-

ред традиционным методом ковшового графитизирующего модифицирования фракционными кусковыми модификаторами. В первую очередь, более эффективное устранение отбела при равных условиях температурного воздействия и кристаллизации отливок, а также значительно меньшие расходные характеристики – 0,05% вместо 0,3%.

Таким образом, исследования показали эффективность способа позднего внутриформенного графитизирующего модифицирования всех трех составов модификаторов по сравнению с ковшовым модифицированием для устранения такого распространенного литейного дефекта, как кромошный отбел. При этом таблетированный модификатор FC65P3M1 с железоорганическим связующим для внутриформенного модифицирования обеспечил минимальные значения величины отбела в чугуне. Для развития решения данной проблематики научно-производственное предприятие ОДО «Эвтектика» разработало химический состав, способ специальной подготовки модификаторов для поздней внутриформенной обработки под техническим наименованием: «Присадка графитизирующая для снятия отбела в чугуне» ТУ ВУ 100196035.008-2006. Присадки графитизирующие производят массой от 5 до 300 г, т. е. для литейных форм металлоемкостью от 10 кг до 1 т, чтобы удовлетворить технологические и технические потребности литейщиков.

Литература

1. Явойский В. И., Близнюк С. А., Вишкарёв А. Ф. и др. Включения и газы в стали. М., 1979.
2. Григорян В. А., Белянчиков Л. Н., Стомахин А. Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. М., 1987.