

УДК 669.131.7:621.746.04

Чубина Е. А., Лизун Р. О., Андреев С. С.

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РАФИНИРОВАНИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНОГО ЧУГУНА В 150 КГ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

Качество литейной продукции определяется, в основном, качеством шихтовых материалов, при этом затраты на основные и вспомогательные материалы в структуре себестоимости литья, составляют от 40 до 70 %. Поэтому разработка новых экономно-эффективных мероприятий, направленных на сокращение расхода материалов, является одной из важнейших задач в современном литейном производстве.

Недостаточный объем производства качественных модификаторов и низкосернистых чугунов замедляет развитие массового производства отливок из чугуна с шаровидным графитом. Преимущество магния, как высокоэффективного и наиболее дешевого из всех известных сфероидизаторов графита, доказано многолетней мировой и отечественной практикой его применения [1–4]. Производство высокопрочного чугуна с шаровидным графитом [3, 4] связано с определенными трудностями, возникающими при вводе магния в жидкий чугун и сопровождающимися брызгообразованием, выбросами металла из ковша, значительным дымовыделением и, в конечном счете, нестабильностью механических, пластических свойств получаемого чугуна и невысокой степенью усвоения магния.

Наиболее высокая степень усвоения магния, при значительном снижении его удельного расхода, в сравнении с различными методами ввода чушкового магния, применения автоклавов герметизированных ковшей, магнийсодержащих лигатур, может быть получена при вдувании диспергированного (гранулированного, фрезерованного) магния в расплав через фурму с испарителем, открытым с торца [1, 5]. Такая конструкция фурмы обеспечивает предварительное взаимодействие диспергированного магния непосредственно с поверхностью жидкого чугуна, в пределах нижней части испарителя, и выход за его пределы парообразной смеси магния с азотом или аргоном в виде пузырей. Однако, при таком варианте, обработка носит бурный, слабо управляемый характер, со значительным дымообразованием и догоранием паров неусвоенного магния над поверхностью ванны.

В наилучшем технологическом варианте целесообразно обеспечить спокойное протекание процесса обработки чугуна магнием с ликвидацией указанных отрицательных явлений.

Целью работы является разработка технологического процесса обработки жидкого чугуна магнием.

В работе были проведены лабораторные плавки с применением установки (рис. 1), смонтированной на базе 150-кг индукционной печи. Для продувки чугуна диспергированным магнием (марка МГП-99, фракция 0,67–1,0 мм) в потоке несущего аргона были использованы погружные фурмы с испарителями закрытого типа (рис. 2, а, б) с помощью которых стало возможным организовать процесс десульфурации как с отсутствием выхода на поверхность неусвоенных паров магния и образования белого дыма (рис. 3), так и обеспечить спокойную продувку ванны (за счет изменения положения фурмы относительно уровня ванны) с рассредоточенным выходом относительно оси фурмы отдельных пузырей, слабым развитием явлений пироэффекта и возникновения белого дыма (рис. 3, а) при достаточно высокой степени десульфурации (табл. 1).

Разработанные и опробованные конструкции графитовых испарителей с теплопередающей стенкой обеспечивали, при исследованной промышленной интенсивности подачи диспергированного магния (0,055–0,066 кг/(т·мин)) и аргона (0,11–0,18 м³/(т·мин)), перевод последнего из твердого в газообразное состояние за счет теплоты чугуна в пределах расположенного ниже уровня сопел внутреннего объема испарителя, с видимым истечением струй смеси аргона и парообразного магния при подъеме фурмы над поверхностью ванны (рис. 3, б).

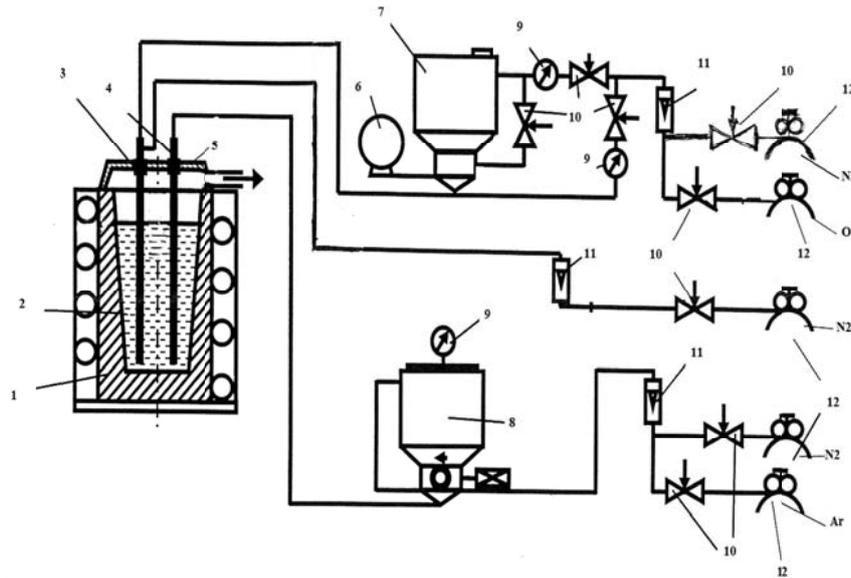


Рис. 1. Схема лабораторной установки комплексной обработки чугуна:

1 – тигель; 2 – металлическая ванна; 3 – погружная фурма для вдувания порошкообразной извести; 4 – погружная фурма для вдувания диспергированного магния; 5 – крышка; 6 – вибратор; 7 – флюсопитатель пневматического типа для подачи извести; 8 – флюсопитатель роторного типа для подачи магния; 9 – манометры; 10 – вентили; 11 – ротаметры; 12 – газовые баллоны

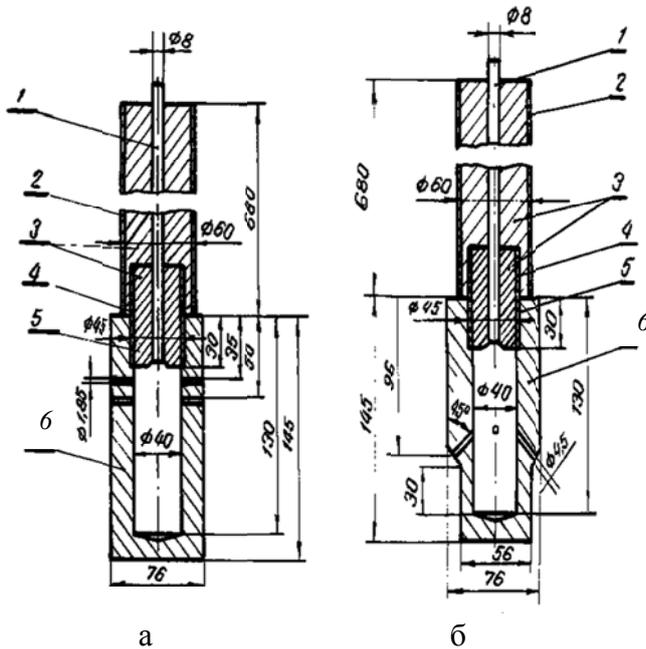


Рис. 2. Конструкции погружных фурм:

а – закрытый с торца испаритель с 24 и 32 соплами; б – закрытый с торца испаритель с 3 и 4 соплами: 1 – стальная трубка подвода диспергированного магния в потоке аргона; 2 – наружный графитовый чехол; 3 – высокоглиноземистая огнеупорная набивка; 4 – графитовая втулка; 5 – резьбовое соединение; 6 – закрытые с торца графитовые испарители с соплами

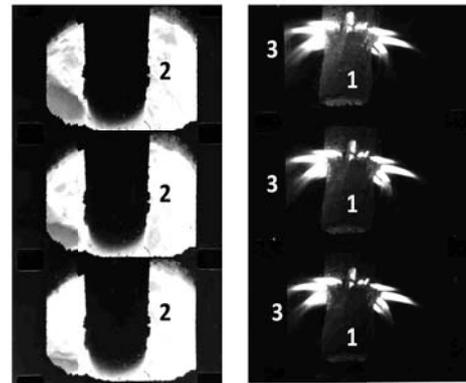


Рис. 3. Макрокартина продувки чугуна диспергированным магнием через фурму с 32-сопловым испарителем (рис. 2, а):

1 – фурма; 2 – поверхность расплава; 3 – струи смеси парообразного магния и аргона

Таблица 1

Показатели процесса десульфурации при использовании различных конструкций фурм

Фурма (рис. 2), к-во сопел, № пл.	$T_{\text{чуг.}}$, °C	Q_{Ar} , м ³ /мин	$\tau_{\text{прод.}}$ мин, (Mg, г/мин)	Q_{Mg} , кг/т чугуна	$[S]_{\text{чуг.}}$, %	η_S , %
а, 32, пл. № 39	1390 / 1200 (1345)*	0,018	24,0 (7,2)	1,49 0,83*	0,029 / 0,004	86,2
б, 4, пл. № 41	1380 / 1200 (1280)*	0,018	24,0 14,0** (7,2)	1,1 0,77**	0,027 / 0,004	86,3

Примечание: * длительность обработки, расход магния и температура расплава при содержании 0,005 % серы в чугуне.

Следует отметить тенденцию к увеличению конечного содержания растворенного магния в чугуне (рис. 4), содержащем серы менее 0,01 %, при переходе на обработку диспергированным магнием, подаваемым в расплав через многосопловые фурмы с закрытым с торца испарителем с теплопередающей стенкой (рис. 2, а, б). Это свидетельствует в пользу использования таких конструкций фурм, в случае преследования целей:

– обеспечения спокойного хода продувки с предотвращением выделения паров магния за пределы рабочего пространства ковша, сопровождающегося пироэффектом, брызгоуносом и выделением белого дыма;

– повышения коэффициента использования вдуваемого магния как на реакцию десульфурации, так и на растворение в конечном расплаве, особенно при рафинировании и модифицировании литейного чугуна с целью получения шаровидной формы графита в отливках ответственного назначения.

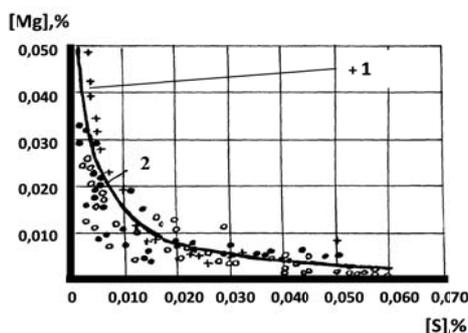


Рис. 4. Взаимосвязь между содержанием растворенного магния и серы в чугуне:

1 – вдувание струй газовой смеси магния и аргона через фурмы (рис. 2, а, б); 2 – кривая зависимости $[Mg] \cdot [S] = 1,4 \cdot 10^{-4}$ согласно [5]

Созданная лабораторная установка комплексной обработки чугуна (рис. 1) и разработанные конструкции погружных фурм для вдувания в расплав порошкообразной извести (рис. 5) и диспергированного магния с переводом последнего в парообразное состояние в графитовом испарителе с теплопередающей стенкой (рис. 2, а, б) были использованы для отработки технологии получения чугуна с шаровидным графитом (ЧШГ) при мелкосерийном производстве отливок.

Отработанная технология позволяет:

– обеспечить рекомендуемый химический состав ЧШГ (по ГОСТ 7293-85) марок ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45 при толщине стенки отливки ≤ 50 мм;

– достичь в процессе рафинирования и модифицирования литейного чугуна содержание серы и фосфора ниже 0,01 % и 0,05 % соответственно;

– максимально снизить расход магния на рафинирование и сфероидизирующую обработку жидкого чугуна, достигая при этом стабильного образования шаровидного графита в последнем (рис. 6).

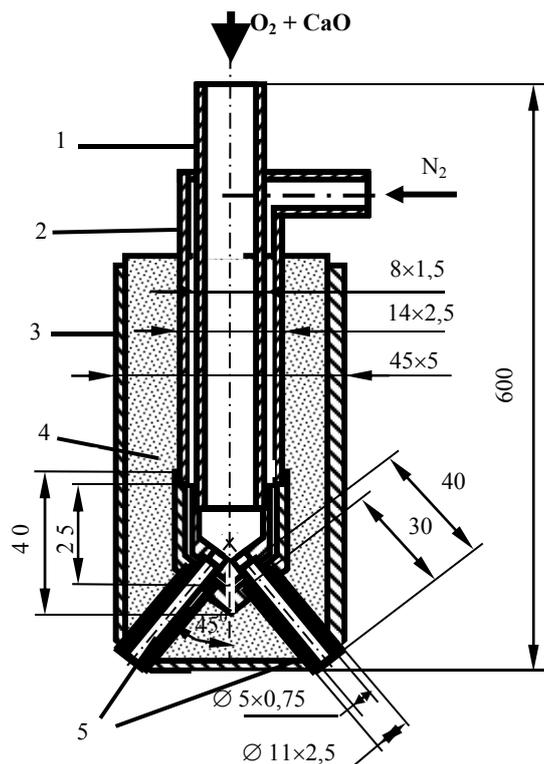


Рис. 5. Конструкция погружной фурмы для вдувания в чугун кислородно-известковых струй:
 1 – труба подвода кислорода и порошкообразной извести; 2 – внешняя труба подвода азота; 3 – наружная графитовая труба; 4 – огнеупорная высокоглиноземистая набивка; 5 – сопла типа «труба в трубе»

При проведении плавок были использованы следующие шихтовые материалы:

– литейный коксовый чушковый чугун марки ЛЧ (ГОСТ 4832-80), содержащий в среднем 3,95 % С, 2,22 % Si, 0,65 % Mn, 0,058 % P и 0,045 % S;

– подготовленный по размерам стальной лом Ст 3сп среднего химического состава: 0,17 % С, 0,25 % Si, 0,58 % Mn, 0,038 % P и 0,046 % S;

– ферросилиций ФС 65 (ГОСТ 1415-78) химического состава: 65,1 % Si, 0,05 % P и 0,02 % S;

– фрезерованный диспергированный магний марки МПП-99 фракции 0,67 – 1,00 мм;

– свежеприготовленная порошкообразная известь (фракция < 0,015 мм) известково-обжигательного отделения ОАО «ДМКД» среднего химического состава: 89,21 % CaO, 4,56 % MgO, 1,05 % SiO₂, 0,003 % S и 5,53 % п.п.п.

– свежеприготовленный порошкообразный плавленый шпат (фракция < 0,015 мм) ФК-85 (ГОСТ 29220-91), содержащий 86,32 % CaF₂, 8,75 % SiO₂, 0,25 % P и 0,29 % S.

При отработке технологии общий вес металлозавалки (чугун + стальной лом), загружаемый в основной (магнезитовый) тигель индукционной печи составлял 100 кг. Согласно расчета материального баланса плавки без учета угара элементов для получения по расплавлению литейного чугуна, содержащего 3,6 % С, 2,4 % Si, 0,4 % Mn, 0,040 % P и 0,045 % S, в тигель загружали 91 кг чугуна и 9 кг лома.

После расплавления металлошихты и нагрева температуры расплава до 1380–1400 °С химический анализ отобранной пробы чугуна был следующим: 3,61 % С, 2,32 % Si, 0,38 % Mn, 0,026 % P и 0,046 % S. Таким образом, за исключением серы, содержание углерода, кремния и марганца в расплаве соответствовало рекомендуемому химическому составу ЧШГ марок ВЧ 35, ВЧ 40 и ВЧ 45.

Предварительную доводку расплава до содержания серы 0,010–0,015 % производили путем вдувания через двухсопловую фурму (рис. 5) порошкообразной извести и плавленого

шпата ($90\% \text{CaO} + 10\% \text{CaF}_2$) с расходом $0,9 \text{ кг}/(\text{т}\cdot\text{мин})$ в потоке несущего азота ($0,06 \text{ кг}/(\text{т}\cdot\text{мин})$). При этом, для поддержания температуры чугуна на уровне $1380\text{--}1400^\circ\text{C}$ нагрузку на индукторе поддерживали на уровне 30% от номинальной.

После 15-и минутного вдувания в расплав $1,35 \text{ кг}$ смеси порошкообразной извести и плавикового шпата с удельным расходом $13,5 \text{ кг}/\text{т}$ чугуна обеспечивалось содержание серы в чугуне в пределах $0,012\text{--}0,014\%$.

В последующем в чугун присаживали $0,05 \text{ кг}$ ($0,5 \text{ кг}/\text{т}$) ферросилиция ФС 65 с целью предсфероидизирующего инокулирования расплава и приступали к сфероидизирующей обработке струями смеси парообразного магния и азота, формируемыми при подаче диспергированного магния с расходом $0,060 \text{ кг}/(\text{т}\cdot\text{мин})$ в потоке азота ($0,055 \text{ кг}/(\text{т}\cdot\text{мин})$) через погружную фурму с графитовым испарителем с теплопередающей стенкой (рис. 2, а).

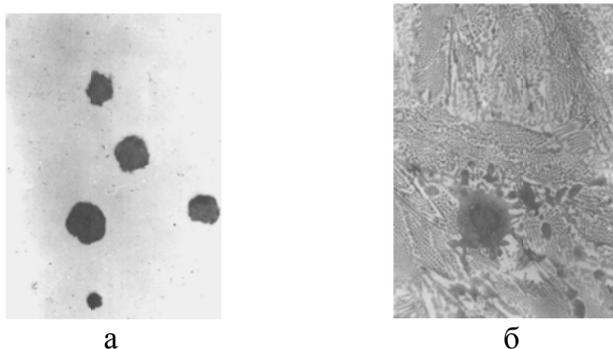


Рис. 6. Микроструктура образцов чугуна до травления (а) и после (б)

В результате, после 8-минутного вдувания диспергированного магния с удельным расходом $0,48 \text{ кг}/\text{т}$ обеспечивали конечное содержание серы в чугуне $0,004\text{--}0,005\%$ и растворенного магния $0,028\text{--}0,035\%$. При этом отношение $\text{Mg}_{\text{ост}}/\text{S}_{\text{ост}}$ в чугуне колебалось в пределах $6,3\text{--}7,0$, что приводило к стабильному образованию шаровидного графита в чугуне (рис. 6).

ВЫВОДЫ

Разработаны и освоены в лабораторном масштабе, предложены к промышленному внедрению фурменные устройства, технология рафинирования и модифицирования литейного чугуна в 150 кг индукционной печи путем предварительной десульфурации расплава вдуванием порошкообразной извести с заключительной обработкой струями смеси парообразного магния и нейтрального газа, истекающими из погружного испарителя с теплопередающей стенкой, с целью получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для отливок малого развеса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доменный чугун с шаровидным графитом для крупных отливок / А. М. Зборицки, В. А. Курганов, Ю. Б. Бычков [и др.]. – М. : Машиностроение, 1995. – 128 с.
2. Стовпченко П. И. Конструкция специального барабанного ковша для модифицирования чугуна вдуванием порошкового магния / П. И. Стовпченко, К. В. Шадрин, Г. Л. Мирошниченко // Повышение качества чугуна и чугуна литья : сб. ИЧМ. – М. : Металлургия, 1972. – С. 24–27.
3. Леках С. Н. Внепечная обработка высококачественных чугунов в машиностроении / С. Н. Леках, Н. И. Бестужев. – Минск : Наука і техника, 1992. – 270 с.
4. Ващенко К. И. Магнєвий чугун / К. И. Ващенко, Л. А. Софрони. – М. : Машигиз, 1960. – 488 с.
5. Воронова Н. А. Десульфурация чугуна магнием / Н. А. Воронова. – М. : Металлургия, 1980. – 240 с.

Статья поступила в редакцию 22.10.2011 г.