

нов, осевших на крышках; масса их  $\leq 0,155$  г. В составе возгонов обнаружено  $\leq 2,3\%$  введенного Mg;  $1,8\%$  введенного Ca, PЗМ отсутствуют. Такое распределение элементов соответствует упругости паров этих элементов. Сумма концентрации кальция (табл. 3) в металле, шлаке и возгонах практически со-

Таблица 3

Лигатура (см. табл. 2 плавки 1-3)	Масса чугуна, г	Масса шлака, г	Химический состав шлака, %						Усвоение металла-модификатора чугуном (шлаком), %		
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CeO <sub>2</sub>	Mg	Ca	PЗМ
1	870	8,9	24	3	9	29	32	2,5	23 (38)	3 (97)	32 (29)
2	870	8,1	16	5	12	33	30	2	19 (28)	10 (90)	26 (22)
3	740	7,0	34	8	9	12	30	5	30 (57)	50 (50)	32 (43)

ответствует введенному количеству Ca, а суммы Mg и PЗМ не соответствуют. В связи с этим исследовали состав обломков стенок тиглей, в которых проводили плавки. Исходный материал тигля на 95% состоял из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с 1,5...3,0% SiO<sub>2</sub>, после выплавки чугуна в тигле появились оксиды Ca, Mg и PЗМ. Так, в 1 г материала тигля плавки 2 найдено до 0,06 г Mg; 0,14 г Ca и 0,02 г PЗМ, а плавки 3 — 0,05 г Ca и 0,02 г PЗМ; магний не обнаружен.

УДК 621.746:669.13

Д-р техн. наук Д. Н. ХУДОКОРМОВ,  
кандидаты техн. наук А. С. КАЛИНИЧЕНКО, Н. П. ЖВАВЫЯ, Ю. А. ЛОСЮК

## Использование быстроохлажденного модификатора ФС30PЗМ30Б для устранения отбела в чугуне

В работе сделана попытка повысить графитизирующую способность модификаторов системы PЗМ—Fe—Si за счет изменения технологии их получения и использования.

При оценке эффективности действия модификаторов обычно учитывается их фракционный состав и не принимается во внимание степень дисперсности их микроструктуры. Вместе с тем, модифицирующий эффект комплексных графитизирующих присадок связан с кинетикой процесса их растворения в жидком чугуне. Крупные включения различных тугоплавких фаз, присутствующие в модификаторах промышленного производства, попадая в жидкий металл, растворяются чрезвычайно медленно. Это заметно снижает объем жидкой фазы, кратковременно переобогащенной модифицирующими элементами, так как при замедленном растворении скорость диффузии этих элементов в расплаве мало отличается от скорости растворения частиц самого модификатора.

При высокой степени дисперсности микроструктуры модификатора растворение его микрочастиц существенно ускоряется. Если в расплав переходит, например, кремний, то вокруг частицы модификатора довольно значительный объем расплава обогащается этим элементом и способствует активизации выделения графита. Наличие в добавке химически активных элементов, взаимодействующих с примесями чугуна с образованием тугоплавких соединений, еще больше способствует графитизации в обогащенных кремнием зонах.

В настоящее время в ферросплавной промышленности лигатуры получают путем разлива их расплава в изложницы с последующим размолом полученных слитков до необходимых фракций. Такие лигатуры наследуют крупнозернистую структуру слитка с неравномерным распределением крупных фаз, число и размер которых во многом определяют эффективность действия лигатуры.

Для повышения эффективности действия модификатора используют гранульную технологию их производства<sup>1</sup>. Однако таким гранулам свойственны повышенные окисляемость и газонасыщенность. В целях улучшения свойств гранул при их получении необходимо применять вакуумирование, что удорожает их производство. Поэтому были использованы лигатуры типа ФС30PЗМ30, которые предварительно расплавляли и разливали в ленты толщиной 0,5...2 мм, охлаждающиеся со скоростью  $10^3...10^4$  К/с.

Микроструктурный анализ лигатур показал, что, по сравнению с обычными, быстроохлажденный модификатор характе-

Проведенные исследования показали, что, чем больше содержание магния в лигатуре, тем меньше он усваивается чугуном и шлаком; при этом в большем количестве присутствует в шлаке, чем в чугуне.

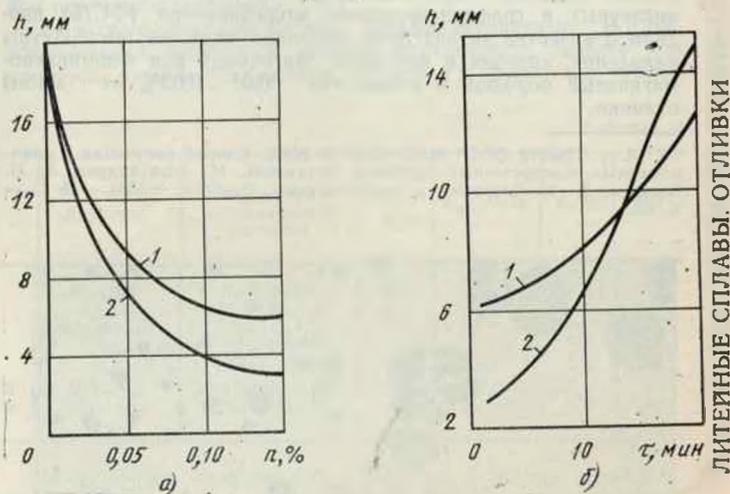
Кальций практически весь переходит в шлак (усваивается на 100%), ввод его в лигатуру в количестве  $>3\%$  нежелателен, так как тугоплавкие соединения кальция способствуют ошлаковыванию лигатуры и образующийся шлак становится вязким. PЗМ почти в одинаковых количествах находится в чугуне и в шлаке, при температуре жидкого чугуна не испаряются и более полно взаимодействуют с ним. Все использованные лигатуры содержат примерно одинаковое количество PЗМ (3...4%), но лигатуры с более низким содержанием Mg обеспечивали более высокое усвоение PЗМ. Вводить PЗМ в состав лигатур следует в небольшом количестве ( $\leq 4\%$ ), учитывая их высокую цену, карбидостабилизирующее действие и образование тугоплавких оксидов.

Проведенные исследования показали, что оптимизация содержания магния в составе лигатуры позволяет экономить его за счет снижения безвозвратных потерь на угар при модифицировании, обеспечивая при этом необходимую степень сфероидизации графита в чугуне и заданный уровень механических свойств отливок.

ризуется более равномерной и мелкозернистой структурой. Размер зерна (фаз) уменьшается в 4—7 раз.

Анализ распределения основных элементов (Fe, Si, La, Ce) показал, что в быстроохлажденном модификаторе элементы распределены более равномерно. Повышенное количество зерен и их высокая дисперсность способствуют более быстрому и равномерному растворению элементов в объеме расплава и повышению эффективности действия модификатора (рисунок).

Модифицирующее действие быстроохлажденных лигатур определяли по величине отбела  $h$  на клиновидных образцах. Состав обрабатываемого ваграночного чугуна, %: 3,35...3,51 С; 0,63...0,89 Mn; 1,8...2,2 Si; 0,06...0,09 P; 0,06...0,09 S. Промышленный модификатор ФС30PЗМ30Б вводили в ковш вместимостью 15 кг перед заливкой в форму в виде кусков размером 2,5...5 мм, а быстроохлажденный — в виде лент толщиной 0,7...0,9 мм. Количество  $n$  модификатора было одинаковым и составляло 0,05; 0,1 и 0,15% массы обрабатываемого чугуна (рисунок. а). Из сравнения кривых 1 и 2 видно, что одинаковый эффект может быть обеспечен меньшим количеством быстроохлажденного модификатора по сравнению с промышленным, что позволяет экономить дорогостоящую лигатуру.



<sup>1</sup> Влияние условий получения лигатуры Al—Ti на дисперсность выделения TiAl<sub>3</sub>. И. Никитин, А. М. Парамонов, П. С. Попель, В. А. Павлов / Физико-химические исследования металлургических процессов. — Свердловск: 1986. — № 14. — С. 87—92.

Зависимость глубины отбела серого чугуна от количества введенного модификатора ФС30PЗМ30Б (а) и продолжительности его действия (б): 1 — промышленный модификатор, 2 — быстроохлажденный

Продолжительность  $\tau$  действия быстроохлажденного модификатора несколько меньше, чем промышленного (рисунок, б), что обусловлено более быстрой его растворимостью в чугунах. В то же время быстроохлажденный модификатор эффективен при модифицировании ваграночных чугунов с малым перегревом.

Производство быстроохлажденных лент лигатур можно

организовать непосредственно на ферросплавных предприятиях. Полученные ленты при необходимости можно дробить до требуемых размеров. Причем при дроблении не образуется пыль, с которой теряется значительное количество модификатора.

Применение быстроохлажденных модификаторов позволяет устранить потери, связанные с разломом промышленных лигатур, и снизить величину присадки при прочих равных условиях.

У ДК 621.74:042:621.746.393:669.13

Кандидаты техн. наук А. И. БЕЛЯКОВ, В. И. КУЛИКОВ, В. С. СУЛЬМЕНЕВ

## Модифицирование чугуна в изложнице центробежной машины

Недостатком модифицирования жидкого чугуна Ni—Mg-лигатурой в открытом ковше является дымовыделение, пироэффект и затухание модифицирующего эффекта при выдержке расплава до кристаллизации отливок.

В работе исследовали влияние количества сфероидизирующей присадки на форму графита, структуру и свойства чугуна при модифицировании в форме. Чугун состава, %: 3,11... 3,56 С; 2,07... 2,99 Si; 0,26... 1,2 Mn; 0,037... 0,12 P; 0,005... 0,009 S; 0,44... 0,86 Cr; 0,08... 1,17 Ni; 0,49... 1,7 Al; 0,0... 0,1 Mg плавил в индукционной печи ИСТ-150.

При модифицировании чугуна, содержащего ~0,05% S, в стационарной форме Ni—Mg-лигатурой (из расчета 0,3... 0,4% массы жидкого металла) графит переходит от пластинчатой формы в вермикулярную с отдельными шаровидными включениями. В таком чугуне в литом состоянии  $\sigma_b=487$  МПа,  $\sigma_T=421$  МПа. С повышением расхода сфероидизирующего модификатора весь графит приобретает шаровидную форму, при этом возрастают механические свойства чугуна, и при расходе 1% Ni—Mg-лигатуры  $\sigma_b=680$  МПа и  $\sigma_T=503$  МПа.

Исследование микроструктуры чугуна показывает, что при модифицировании в стационарной форме шаровидный графит (ШГ) получается при вводе 0,5... 0,6% (массы отливки) Ni—Mg-лигатуры. Кроме того, данный способ позволяет получать ферритно-перлитную матрицу без цементита и отказаться от высокотемпературной термообработки для его разложения.

Дальнейшие исследования были проведены на Алма-Атинском заводе тяжелого машиностроения по изготовлению отливок корпуса ролика из низколегированного чугуна с ШГ, модифицированного в изложнице центробежной машины с горизонтальной осью вращения. Способ модифицирования<sup>1</sup> заключается в последовательном введении во вращающуюся изложницу одной песочницы кварцевого песка и двух песочниц сухой чугунной стружки, песочницы модифицирующей смеси зернистостью <3 мм и последующей заливке расплава чугуна.

При изготовлении отливок длиной >2 м температура расплава значительно снижается по мере удаления от литника к концу формы за счет охлаждения модификатором и чугунной стружкой, что приводит в отдельных случаях к неполному взаимодействию сфероидизатора. Поэтому одновременно со смесью тяжелой сфероидизирующей присадки (Ni—Mg-лигатуры) и графитизирующего модификатора (ФС75) вводили в качестве активаторов, имеющих меньшие температуры плавления, кипения и плотность, магниевый или алюминиймагний порошок в количестве 0,01... 0,03% от массы отливки.

<sup>1</sup> А. с. 1255272 СССР МКН В 22 D 27/00. Способ получения длинномерных толстостенных чугунных отливок/Н. Н. Александров, А. И. Беляков, К. К. Байганин и др.//Открытия. Изобрет. — № 33, — С. 42.

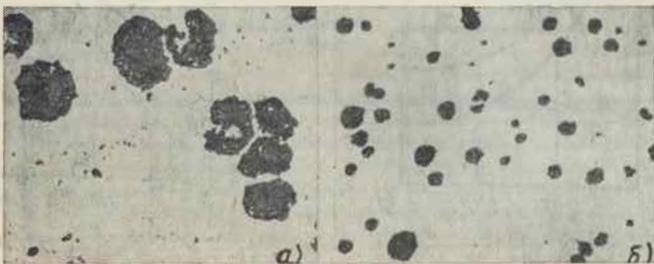


Рис. 1. Микроструктура низколегированного чугуна, модифицированного в ковше (а) и в изложнице центробежной машины (б)

Проведенные исследования показали, что при модифицировании в изложнице центробежной машины оптимальное количество сфероидизирующей присадки составляет 0,7... 0,8%, а ФС75—0,3%. Повышенное содержание присадки следует связывать с тем, что в заводских условиях для ускорения плавки вводят 20... 30% жидкого ваграночного чугуна с повышенным содержанием серы. Однако заливка расплава в изложницу центробежной машины при температуре 1350... 1360°C не обеспечивает активное взаимодействие чугуна с присадкой во всем объеме и получение ШГ. Повышение температуры заливки до 1430... 1470°C обеспечивает взаимодействие расплава со сфероидизирующей и графитизирующей присадками, получение ШГ и необходимой прочности по всему сечению отливки. Активизация сфероидизирующей присадки небольшими количествами магниевого порошка при одновременном повышении температуры заливки обеспечивает стабильное получение ШГ по всей длине отливки, способствуя перемешиванию расплава, и предотвращает образование твердой корочки на наружной поверхности до окончания взаимодействия со сфероидизатором. Модифицирование протекает спокойно, без дымовыделения, пироэффекта и выбросов металла.

Исследование микроструктуры показало, что в чугуне, модифицированном в изложнице центробежной машины, ШГ в 1,5—2,0 раза мельче по сравнению с чугуном, модифицированным в ковше (рис. 1). Поверхностный слой отливки глубиной до 5 мм содержит повышенное количество Si и Ni. В последующих сечениях отливки значительного различия в содержании элементов не выявлено.

Одним из недостатков модифицирования в стационарной форме, является большое количество неметаллических включений. В разработанном способе образующиеся неметаллические включения в чугуне под действием центробежной силы всплывают на поверхность отливки и удаляются со шлаком, что подтверждается серным отпечатком (рис. 2).

При литье корпусов роликов из чугуна, модифицированного в ковше и залитого в изложницу на теплоизоляционный слой из кварцевого песка и дистенсиллиманита, на наружной поверхности заготовок часто наблюдаются завороты металла, которые внедряются в тело детали на глубину 10 мм, т. е. почти на всю глубину припуска на механическую обработку. Кроме того, в месте падения струи жидкого металла из литника происходит разрыв теплоизоляционного слоя, что также приводит к увеличению пригара, а иногда и к появлению трещин.

Модифицирование в изложнице центробежной машины с применением теплоизоляционного слоя из чугунной стружки увеличивает скорость кристаллизации в 1,5 раза, позволяет избежать неспая металла и размыва теплоизоляции в месте падения струи и, следовательно, уменьшить припуск на механическую обработку.

В связи с тем, что чугунные ролики при эксплуатации подвергаются термическим, ударным и истирающим нагрузкам от нагретой до 700... 900°C стальной полосы, в работе изучали физико-механические свойства хромоалюминиевого сос-

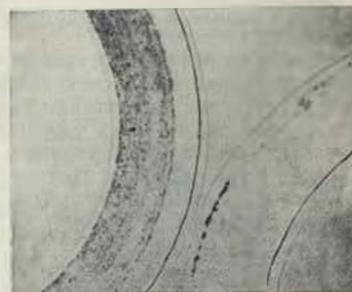


Рис. 2. Серные отпечатки отливок из чугуна, модифицированного в изложнице центробежной машины