



*The modifier of cast iron, which provides the improvement of the structure and characteristics of castings, has increased duration of working, keeps the structural heredity after refining of modified cast iron, is developed.*

Л. З. ПИСАРЕНКО, ОАО «МЗОО», Н. А. СВИДУНОВИЧ, Д. В. КУИС, БГТУ

УДК 621.74

## МОДИФИКАТОР ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Современное понимание сущности явления «наследственности» в сплавах [1] позволяет выбирать меры воздействия на жидкий металл с целью изменения его свойств, более глубокого познания рассматриваемого явления, и тем самым открывать возможности активно влиять на наследственность, программировать структуру и физико-механические свойства чугуна.

Целесообразность развития этого направления определяется повышением требований к надежности готовых изделий, необходимостью снижения материальных и энергетических затрат на доводку чугуна по механическим свойствам, обрабатываемости и т.д.

Одним из способов активного влияния на исправление отрицательной наследственности чугуна является модифицирование. Для активизации углерода, растворенного в железе, необходимо ввести достаточно малые добавки графитизирующих модификаторов, чтобы добиться интенсивного выделения зародышей графита, которые становятся центрами кристаллизации. При этом важно обеспечить сохранение эффекта модифицирования расплава при переплаве, которое заключается в изменении характера кристаллизации в сторону образования стабильных фаз, воспроизводства первичной структуры. Для решения данной задачи целесообразна разработка модификатора длительного действия.

Как известно, общий недостаток модификаторов типа ферросилиция — их способность «улетучиваться» из расплава, т. е. действие их ослабевает с течением времени, а спустя 10–20 мин после введения в чугун вообще прекращается. Было высказано предположение, что, вероятно, существуют также добавки или их сочетания, которые образуют устойчивые зародыши, обеспечивающие большую продолжительность действия модификаторов. Создание таких модификаторов длительного действия позволит в значительной

степени сохранить эффект модифицирования после переплава и, тем самым, уменьшить или исключить количество добавок модификаторов после повторных переплавов возврата модифицированного чугуна. Подобные технологические процессы существуют [2]. Обработка передельного чугуна проволочным ферросиликобариевым модификатором при выпуске его из доменной печи обеспечило получение чушкового передельного чугуна без отбела, что наследственно обеспечивает получение отливок также без отбела и с более высокими механическими свойствами. В данном технологическом процессе в качестве элемента, увеличивающего продолжительность действия модификатора, использован барий в составе модификатора.

В последние годы широкое распространение получили барийсодержащие модификаторы. По данным [3], эти модификаторы имеют более высокую продолжительность действия и с успехом используются в литейном производстве взамен ферросилиция.

Для изыскания модификаторов, имеющих более высокую продолжительность эффекта модифицирования, использовали чугун одинакового состава, содержащий 3,3% С; 2,0% Si; 0,6% Mn; 0,03% S и наиболее эффективные модификаторы ФС75, ФС65Ba22. Для сравнения был использован алюминий, который, как показано в работе [4], имеет высокую живучесть. Модифицирование производили непосредственно в индукционной печи. Температура жидкого чугуна выдерживалась постоянной в двух диапазонах: 1360 и 1430 °С в течение проведения эксперимента с каждым видом модификатора. Через определенные промежутки времени (от 1 до 25 мин) производили отбор проб для установления числа эвтектических зерен и величины отбела, как основных критериев, определяющих эффект модифицирования.

На рис. 1 показано изменение числа эвтектических зерен и величины отбела при выдержке чугуна, модифицированного по 0,2%  $\text{FC75}$  и  $\text{FC60Ba22}$ , и алюминия при постоянных температурах 1360 и 1430 °С. Из приведенных результатов следует, что при температуре модифицирования чугуна 1360 °С и выдержке при этой температуре добавки 0,2%  $\text{FC60Ba22}$  по сравнению с аналогичными добавками  $\text{FC75}$  показали более высокий уровень числа эвтектических зерен и уменьшение величины отбела. В обоих случаях максимальный эффект модифицирования наблюдается через 1–2 мин после ввода добавок, затем резко снижается. Однако при добавках ферросиликобария в течение последующих 5 мин число эвтектических зерен и величина отбела уменьшаются, что свидетельствует о некотором увеличении продолжительности его действия по сравнению с добавками ферросилиция. Затем идет непрерывное снижение эффекта модифицирования указанных добавок и примерно через 20–25 мин он полностью исчезает. Выдержка в жидком состоянии после модифицирования ферросилицием и ферросиликобарием чугуна при температуре 1430 °С показала резкое снижение эффекта модифицирования в обоих случаях, при этом увеличение числа эвтектических зерен и уменьшение величины отбела имеют более высокие значения при модифицировании ферросиликобарием, чем ферросилицием. Своеобразным является поведение алюминия, когда воздействие его в течение примерно 6–7 мин на увеличение числа эвтектических зерен резко возрастает, а затем при достижении пика несколько убывает, являясь значительным даже после 25 мин выдержки. Аналогично изменяется глубина отбела, которая при достижении 6–7 мин снижается и остается на достаточно низком уровне в течение всего интервала выдержки чугуна как при температуре 1360 °С, так и при температуре 1430 °С. При этом уровень числа эвтектических зерен и уменьшение глубины отбела больше при температуре модифицирования 1360 °С, чем при температуре 1430 °С.

Полученные результаты исследований позволяют утверждать, что введение модификаторов в чугун ускоряет протекание металлургических процессов очищения расплава от неметаллических включений. При этом химический состав неметаллических включений изменяется в направлении образования легкоплавких компонентов. Данные частицы, таким образом, будут выполнять роль активных центров графитизации до тех пор, пока поверхность их не ошлакуется закисью железа. Это приводит к быстрому снижению эффекта модифицирования, причем этот процесс происходит тем быстрее, чем выше температура чугуна и чем более высокое содержание в нем кислорода.

Более продолжительные выдержки, обеспечивающие сохранение эффекта модифицирования

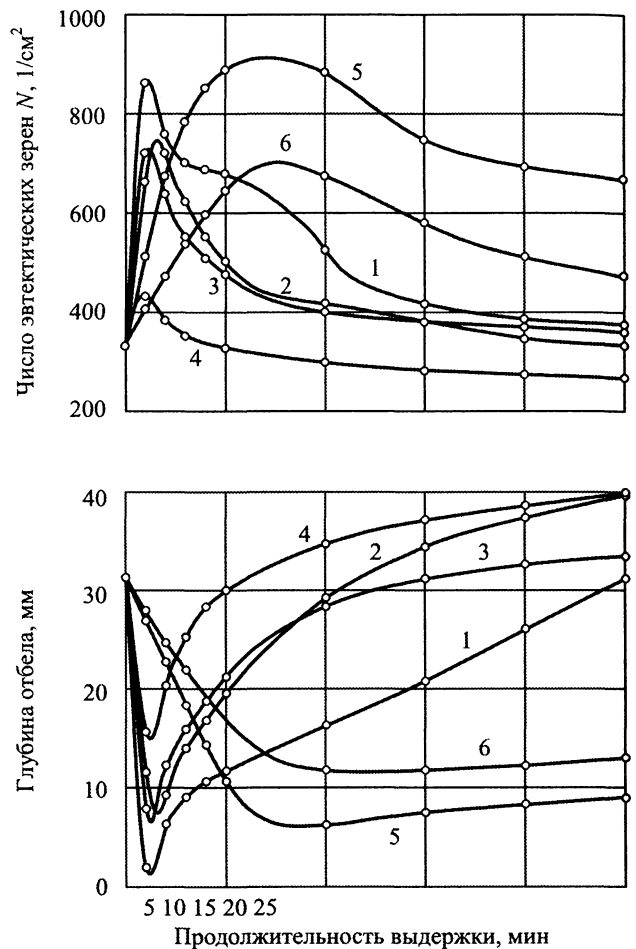


Рис. 1. Влияние продолжительности выдержки расплава на число эвтектических зерен и глубину отбела чугуна, модифицированного по 0,2%  $\text{FC60Ba22}$  (1, 2),  $\text{FC75}$  (3, 4) и  $\text{Al}$  (5, 6) при 1360 и 1430 °С соответственно

добавок алюминия и силикобария, по сравнению с добавками ферросилиция связаны, вероятно, с природой образующихся неметаллических включений, служащих центрами кристаллизации графита.

В частности, при модифицировании чугуна алюминием и выдержке его в печи замечено, что на зеркале металла образуется плотная оксидная пленка, которая защищает чугун от проникновения кислорода из атмосферы и, тем самым, тормозит образование легкоплавких соединений с железом и кремнием. С увеличением продолжительности выдержки обработанного алюминием чугуна тугоплавкая оксидная пленка медленно растворяется. Образующие мелкодисперсные оксиды, а также другие неметаллические соединения алюминия переходят в металл, образуют центры кристаллизации графита и, тем самым, постепенно увеличивают эффект модифицирования чугуна. Замечено, что после полного исчезновения оксидной пленки с поверхности металла эффект модифицирования чугуна алюминием постепенно исчезает.

Полученные результаты исследований по установлению действия алюминия позволяют выя-

вить причину более продолжительного действия ферросиликобария по сравнению с ферросилицием. Это можно объяснить наличием в составе ферросиликобария ФС60Ба22 значительного количества алюминия (3–6%), который обеспечивает несколько большую продолжительность и эффективность его действия по сравнению с добавками ферросилиция ФС75, имеющими в своем составе примеси алюминия в меньших количествах (1,5–2,0%).

Полученные результаты исследований дают предпосылку использовать алюминий, ферросиликобарий и другие добавки для создания смешанного модификатора длительного действия.

На рис. 2 показаны результаты сравнительных исследований влияния продолжительности выдержки чугуна при температуре 1400 °С на число эвтектических зерен и величину отбела чугуна, модифицированного 0,2% ФС75, 0,2% ФС60Ба22, 0,1%Al+0,2%ФС75, 0,06%Al+0,3%ФС75 и 0,1%Al+0,2%ФС60Ба22.



Рис. 2. Влияние продолжительности выдержки расплава при температуре 1400 °С на число эвтектических зерен (1) и глубину отбела (2) чугуна, модифицированного 0,2% ФС75, 0,2% ФС60Ба22 (а), 0,1%Al (б), 0,1%Al+0,2%ФС75 (в), 0,06%Al+0,3%ФС75 (г) и 0,1%Al+0,2%ФС60Ба22 (д)

Во всех случаях эффект модифицирования имеет тенденцию непрерывного уменьшения по мере увеличения продолжительности выдержки чугуна. Достаточно высокая эффективность отмечается в первые 5 мин после ввода модификаторов. Воздействие алюминия в течение первых 5–7 мин резко возрастает, а затем несколько убывает, являясь значительным даже после 20 мин выдержки. В этом же направлении, но более эффективно действуют добавки 0,1%Al+0,2%ФС75 (рис. 2, в). Добавки 0,06%Al+0,3%ФС75 (рис. 2, г) обеспечивают значительное по сравнению с единичными добавками Al и ФС75 увеличение числа эвтектических зерен и уменьшение величины отбела. При этом обеспечивается достаточно высокая «живучесть» смесевых модификаторов. Но наиболее высокую «живучесть» обеспечили совместные добавки 0,1%Al и 0,2%ФС60Ба22 (рис. 2, д), которые имеют практически одинаковую величину отбела и сохранения числа эвтектических зерен на протяжении 20 мин выдержки модифицированного чугуна.

В связи с изложенными выше результатами исследований для разработки смешанного модификатора длительного действия были приняты добавки ферросиликобария и алюминия. Учитывая то, что в процессе длительной выдержки, а также переплава модифицированного чугуна может иметь место угар углерода, в состав ингредиентов был введен графит в виде графитированного коксика.

Чугун, содержащий 3,4% С, 1,8% Si, 0,6% Mn, 0,03% S, выплавляли в индукционной печи ИСТ-1.0. После расплавления чугун перегревали до 1500 °С, охлаждали до температуры 1400 °С, при которой модифицировали в печи известным модификатором (а.с. 1098970), содержащим 0,19% ферросиликобария, 0,015% алюминия, 0,1% графита в количестве 0,3% от массы жидкого чугуна, и разрабатываемым модификатором, содержащим 0,15% ферросиликобария, 0,82% алюминия и 0,068% графита также в количестве 0,3% от массы жидкого чугуна. Использовали средние составы как известного, так и разрабатываемого модификатора. Производили разливы металла в формы с одновременным отбором проб для определения микро- и макроструктуры и механических свойств.

После 10-й минуты выдержки отбирали чугун из печи для последующего переплава чугуна, обработанного известным и разрабатываемым модификатором.

Результаты исследования эффекта модифицирования и его сохранение после переплава модифицированных чугунов приведены на рис. 3.

Наблюдается также закономерность, полученная в предыдущих исследованиях. В чугуне, обработанном известным модификатором, содержащим минимальное количество алюминия, величина отбела и число эвтектических зерен изменяются по закономерности, подобной при единичных добавках ферросиликобария. Добавка же раз-

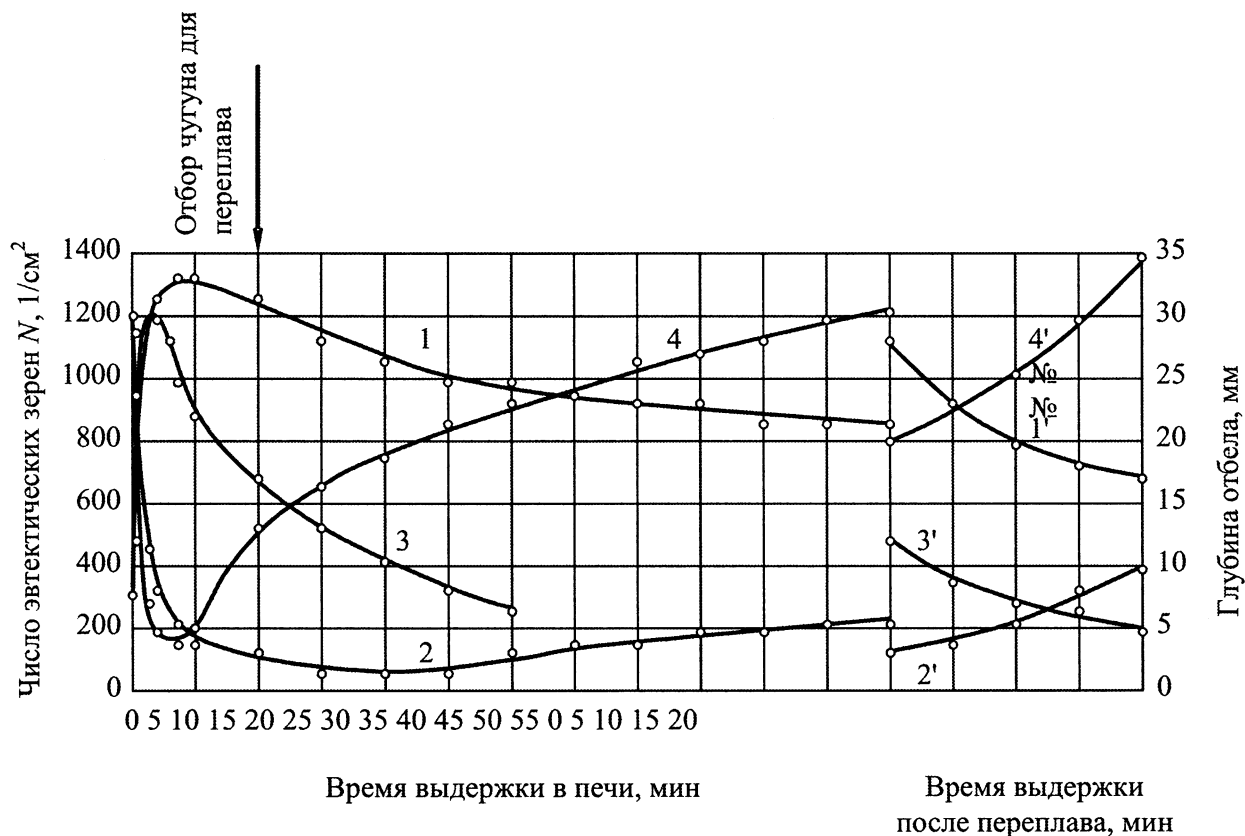


Рис. 3. Влияние времени выдержки чугуна в печи и в печи после переплава на число эвтектических зерен в чугуне обработанном: 1 – разрабатываемым модификатором; 3 – известным модификатором; 1' – разрабатываемым модификатором после переплава чугуна; 3' – известным модификатором после переплава чугуна; на глубину отбела: 2 – разрабатываемым модификатором; 4 – известным модификатором; 2' – разрабатываемым модификатором после переплава чугуна; 4' – известным модификатором после переплава чугуна

рабатываемого модификатора сохраняет достаточно высокий эффект модифицирования даже после часовой выдержки модифицированного чугуна. Так, если число эвтектических зерен и величина отбела чугуна, обработанного известным модификатором, достигает своего первоначального значения по числу эвтектических зерен и величине отбела примерно на 20–25 мин, то число эвтектических зерен и величина отбела чугуна, обработанного разрабатываемым модификатором, по этим показателям не достигли исходных значений даже после часовой выдержки.

При вторичном переплаве чугуна, модифицированного разрабатываемым модификатором, сохраняется его структурная наследственность – достаточно высокое число эвтектических зерен ( $\approx 1000$  шт.) и низкое значение величины отбела (4–5 мм). В то же время чугун, обработанный для сравнения известным модификатором, практически не обеспечил сохранения эффекта модифицирования и передачу наследственных свойств после переплава. Величина отбела после расплавления равнялась 20 мм, т.е. значению отбела, полученного во время отбора чугуна для переплава на 10-й минуте, и низкому значению по числу эвтек-

тических зерен (примерно равному исходному значению, полученному до переплава ( $\approx 350$  шт.)).

На основании полученных результатов установлен состав модификатора, содержащий ферросиликобарий, алюминий и графит. При соотношении компонентов ферросиликобарий – 45–55%, алюминий – 30–25, графит – 25–20% обеспечивает улучшение структуры и свойств отливок, имеет увеличенную продолжительность действия, сохраняет структурную наследственность после переплава модифицированного чугуна. На разработанный модификатор получен патент РБ №7538 по заявке 20030367 от 22.04.2003 г.

### Литература

1. Никитин В.И. Наследственность в литых сплавах. Самара: СамГТУ, 1995.
2. Курганов В.А. О перспективах применения доменных чугунов с новыми наследственными свойствами // Информационный бюллетень ИТЦМ «Металлург». 2005. №7, 8.
3. Повышение эффективности модифицирования серого чугуна // Тез. докл. четвертого съезда литейщиков России, 20–24 сентября 1999 г., М., С.75.
4. Писаренко Л.З. Новые модифицирующие смеси для улучшения структуры и свойств чугуна в отливках. Мн.: Институт прикладных исследований, 1992.