

импульсную обработку, в отличие от отдельно взятого модифицирования фосфором позволяет измельчить хрупкие структурные составляющие в заэвтектическом сплаве А390 и преодолеть 1 %-ный барьер относительного удлинения. Приходится констатировать, что образование кристаллов первичного кремния размером менее 20 мкм, которое могло бы обеспечить сплаву А390 пластичность на уровне доэвтектических силуминов, даже после такой комплексной обработки расплава возможно лишь при высоких, недостижимых в реальных условиях литья, скоростей охлаждения. Таким образом, поиск альтернативных фосфору модифицирующих добавок и новых подходов к модифицированию структуры высококремнистых силуминов остается актуальным.



Список литературы

1. Transformation of microstructure after modification of A390 alloy Zhang Ying, Yi Dan-qing / Li Wang-xin, Ren Zhi-sen, Zhao Qun, Zhang Jun-hong //Transaction of Nonferrous Metals Society of China. – 2007. – № 17. – P. 413-417.
2. Боом Е. А. Природа модифицирования сплавов типа силумин. – М.: Металлургия, 1972. – 72 с.
3. Поршневые силумины / Н. А. Белов, В. Д. Белов, С. В. Савченко и др. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2011. – 248 с.
4. Гаврилюк В. П., Бондаревський В. М., Гаврилюк К. В. Формування структури алюмінійкремнієвих лігатур для отримання заэвтектичних силумінів //Металознавство та обробка металів. – 2012. – № 1. – С. 22-26.

Поступила 03.08.2012

УДК 621.74

М. А. Фесенко, А. Н. Фесенко*, В. А. Косячков, В. Г. Могилатенко

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев,

*Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск

СПОСОБЫ ВНУТРИФОРМЕННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЧУГУНА

Разработаны и исследованы способы внутриформенной обработки исходного жидкого чугуна в промежуточных реакционных камерах, расположенных в литниковой системе между стояком и питателем, представляющие собой пенополистироловую оболочку, внутрь которой помещается расчетное количество порошкообразной (зернистой) добавки или специальный патрон (контейнер), изготовленный из вспененного полистирола с замешанной порошкообразной (зернистой) добавкой. Предложенные способы внутриформенной обработки обеспечивают максимальное усвоение добавок, равномерное их распределение в объеме

Кристаллизация и структурообразование сплавов

отливки, сокращают расход добавок, упрощают и удешевляют технологический процесс получения чугуновых отливок с заданной структурой и свойствами.

Ключевые слова: способ, внутриформенная обработка, реакционная камера, пенополистироловая оболочка, патрон, чугун, отливка.

Розроблено та досліджено способи внутрішньоформеної обробки вихідного рідкого чавуну в проміжних реакційних камерах, які розташовані у ливниковій системі між стояком та живильником, які являють собою пінополістиролову оболонку, у середину якої міститься розрахункова кількість порошкоподібної (зернистої) добавки або спеціальний патрон (контейнер), виготовлений зі спіненого полістиролу з замішаною порошкоподібною (зернистою) добавкою. Запропоновані способи внутрішньоформеної обробки забезпечують максимальне засвоєння добавок, рівномірний їх розподіл в об'ємі виливка, скорочують витрату добавок, спрощують і здешевлюють технологічний процес виготовлення чавунних виливків з заданою структурою та властивостями.

Ключові слова: спосіб, внутрішньоформена обробка, реакційна камера, пінополістиролова оболонка, патрон, чавун, виливок.

There are developed and investigated the techniques of the in-mold processing of source liquid iron in the intermediate reaction chambers, located in the gating system between the riser and feeder, which are polystyrene foam shells, housing the estimated number of powder (granular) supplements or special cartridge (container) made of expanded polystyrene mixed up with powder (granular) additive. The proposed methods of in-mold processing ensures maximum absorption of supplements, their uniform distribution throughout the amount of casting, thus reducing consumption of additives, simplifying and reducing the price of technological process of obtaining cast iron with a given structure and properties.

Keywords: technique, in-mold processing, reaction chamber, expanded polystyrene shell, cartridge, cast iron, casting.

Модифицирующая обработка расплава является важнейшей в современных технологических процессах изготовления высококачественных отливок из чугунов различных типов.

Среди разработанных и используемых на практике способов модифицирования чугунов одним из наиболее эффективных, экономически выгодных и экологически чистых для получения качественных чугуновых отливок с заданными структурой и комплексом свойств является процесс внутриформенного модифицирования [1, 2].

При этом способе процесс модифицирования осуществляется непосредственно в момент заливки полости литейной формы исходным жидким чугуном, для чего в литниковой системе на пути движения расплава к отливке предусмотрена промежуточная реакционная камера, в которую перед сборкой формы закладывают расчетное количество зернистого (дробленого) модификатора. Во время заливки литейной формы модификатор в реакционной камере последовательно растворяется в потоке жидкого чугуна и, перемещаясь в объем отливки, окончательно усваивается расплавом [1, 2].

Указанный способ модифицирования со времен изобретения всесторонне изучался многими исследователями и совершенствовался. При этом отдельные авторы предлагали другие альтернативные способы внутриформенной обработки: обработка жидкого чугуна добавками, помещаемыми в центробежную промывочную бобышку литниковой системы [3]; в реакционную камеру, расположенную под стояком в верхней или нижней полуформе [4]; в специальный переливаемый реактор (Флотрет-процесс) [5]; в центробежную проточную реакционную камеру [6]; в проточный реактор [7] и др.

Основными недостатками перечисленных способов являются сравнительно

низкая степень усвоения модифицирующей добавки металлом (~50-80 %) и нестабильность процессов во времени, а также усложнение конструкции литниково-модифицирующей системы и необходимость выполнения дополнительных технологических операций.

С целью повышения эффективности модифицирующей внутриформенной обработки расплава, увеличения коэффициента усвоения добавки и, как следствие, повышения качества и свойств отливок в данной работе предложили усовершенствованные технологические варианты обработки исходного жидкого чугуна в литейной форме в промежуточной реакционной камере, расположенной на пути движения расплава между отливкой и стояком (рис. 1). При этом промежуточные реакционные камеры выполняли в виде пенополистироловой оболочки, внутрь которой помещали расчетное количество порошкообразной (зернистой) добавки (рис. 1, а), или же в виде специального патрона (контейнера), изготовленного из вспененного полистирола с замешанной (зернистой) добавкой (рис. 1, б).

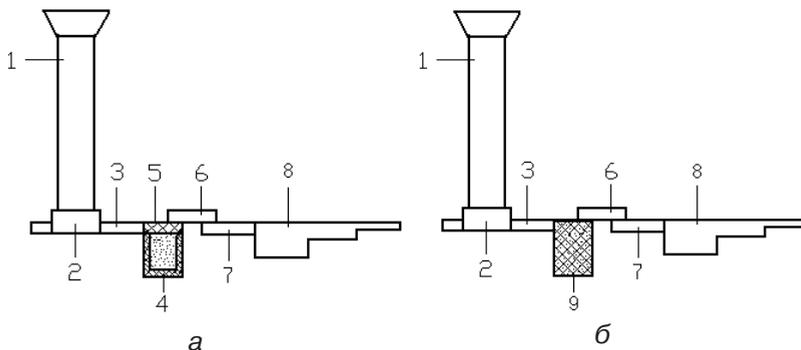


Рис. 1. Схема предложенных технологических вариантов внутриформенной обработки чугуна: 1 – стояк; 2 – соединительный канал; 3 – литниковый ход; 4 – реакционная камера (пенополистироловый контейнер) с модификатором; 5 – пенополистироловая заглушка; 6 – шлакоуловитель; 7 – питатель; 8 – отливка; 9 – пенополистироловый патрон с модификатором

Проведенные многочисленные экспериментальные исследования по опробованию предложенных технологических вариантов внутриформенной обработки исходных жидких чугунов как доэвтектического, так и эвтектического составов, графитизирующими, карбидостабилизирующими и сфероидизирующими добавками различной зернистости (0-5,0 мм) при разном их количестве (0-2,0 %) подтвердили их более высокую эффективность по сравнению с обработкой исходных жидких чугунов в аналогичных реакционных камерах, выполненных в виде полости в песчано-глинистой форме без пенополистироловых вставок.

Так, например, в результате сфероидизирующей обработки расплава серого чугуна модификатором ФСМг7 в количестве 1,5 % от массы обрабатываемого чугуна в реакционной камере, выполненной в виде газифицируемой пенополистироловой оболочки или газифицируемого пенополистиролового патрона (контейнера), модификатор полностью увлеклся потоком жидкого металла и распределялся сравнительно равномерно по объему отливки. Остаточное содержание магния в чугуне составляет 0,030-0,034 %, оно выше, чем в чугуне, полученном с обработкой в реакционной камере по традиционной технологии внутриформенного модифицирования без пенополистироловой вставки (0,025-0,028 %), на дне которой остается часть зернистого модификатора, не усвоенного чугуном (рис. 2 б, в). Причем, количество не усвоенного чугуном зернистого сфероидизирующего модификатора, оставшегося на дне реакционной камеры, выполненной в виде полости в песчано-

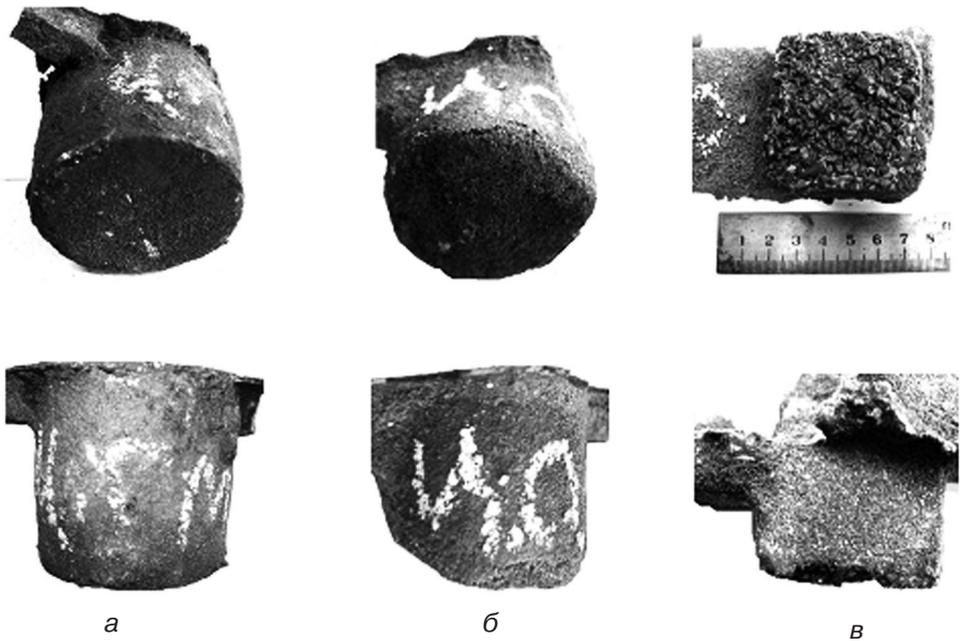


Рис. 2. Общий вид реакционных камер после модифицирования, выполненных с использованием пенополистироловой вставки (а) и в виде полости в песчано-глинистой форме (б, в)

глинистой форме, возрастает с уменьшением размера частиц модификатора менее 1 мм и увеличением доли пылевидной фракции.

Процесс же обработки расплава в реакционной камере, выполненной в виде пенополистироловой оболочки или патрона, отличается стабильностью даже при использовании модификатора пылевидной фракции (с размером частиц менее 1,0 мм), рис. 2, а.

После сфероидизирующей обработки чугуна в литейной форме с применением пенополистироловых реакционных камер в структуре чугуна наблюдается образование графита правильной шаровидной формы с диаметром включений до 30 мкм, равномерно распределенных в плоскости шлифа с баллом ШГр1 и площадью, занятой графитом на плоскости шлифа, до 10 %. Микроструктура чугуна перлитно-ферритная (рис. 3, в). Чугун обладает достаточно высокими механическими свойствами: $\sigma_b = 436-455$ МПа, $\delta = 2-5$ % и твердостью 240-280 НВ.

В структуре чугуна, обработанного в обычной реакционной камере, выполненной в виде полости в песчано-глинистой форме, наблюдается образование вермикулярного графита с отдельными включениями шаровидной формы, равномерно распределенными в плоскости шлифа с баллом ШГр1 и площадью, занятой графитом на плоскости шлифа от 3 до 5 %. Микроструктура такого чугуна перлитно-ферритная (рис. 3, б), а механические свойства ниже и находятся на следующем уровне: $\sigma_b = 350-360$ МПа; $\delta = 1,5-2,0$ % и твердость 180-200 НВ.

Повышение эффективности внутриформенной обработки исходного расплава чугуна по предложенным технологическим вариантам наблюдалось и при использовании в качестве добавок более тугоплавких карбидостабилизирующих ферросплавов.

В результате карбидостабилизирующей обработки исходного жидкого серого чугуна феррохромом марки ФХ200 при использовании пенополистироловых реакционных камер также обеспечивалось полное усвоение добавки расплавом из

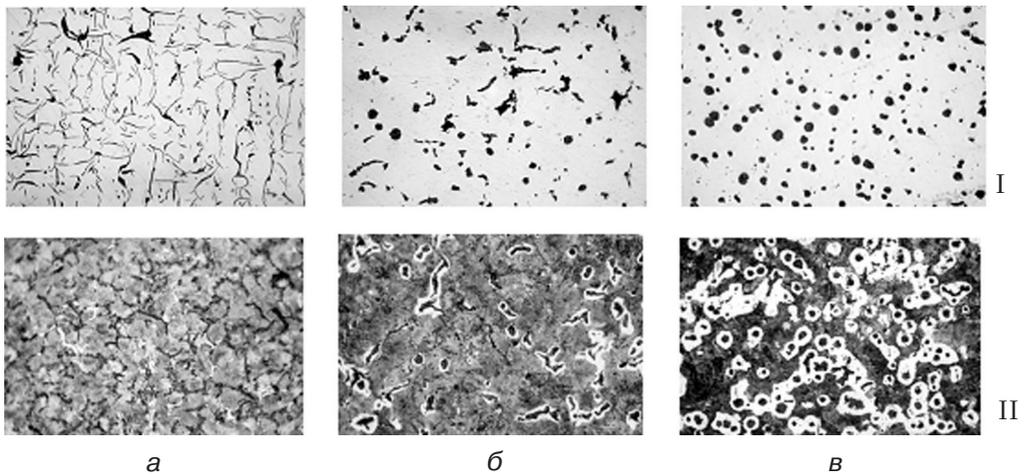


Рис. 3. Микроструктура исходного серого чугуна (а) и чугуна после внутриформенной сфероидизирующей обработки добавкой ФСМг7 в реакционной камере, выполненной в виде полости в песчано-глинистой форме (б) и в виде пенополистироловой оболочки (патрона) (в): I – не травленные образцы; II – образцы после химического травления, $\times 100$

реакционной камеры. При этом структура чугуна после такой обработки состояла из перлита и цементита с твердостью 380-400 НВ (рис. 4, в).

В случае внутриформенной обработки исходного серого чугуна карбидостабилизирующей добавкой ФХ200 в обычной реакционной камере, выполненной в виде полости в песчано-глинистой форме, добавка фактически не усваивалась расплавом и после заливки, охлаждения и выбивки формы оставалась практически в первоначальном неспекшемся состоянии в реакционной камере. Микроструктура такого чугуна не отличалась от микроструктуры исходного серого чугуна и состояла из пластинчатого графита, равномерно распределенного в плоскости шлифа в перлитной металлической матрице (рис. 4, б). Твердость чугуна составляла 180-190 НВ.

Повышение эффективности внутриформенной обработки расплава с использованием пенополистироловых реакционных камер, по-нашему мнению, обеспечивается за счет того, что при заливке металла в форму под действием тепла жидкого металла пенополистироловая реакционная камера газифицируется, освобождая пустоту для

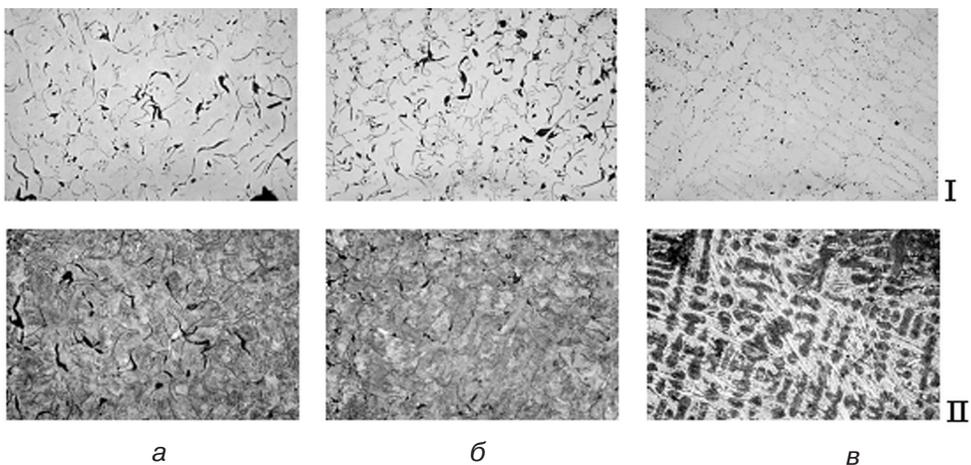


Рис. 4. Микроструктура исходного серого чугуна (а) и чугуна после внутриформенной карбидостабилизирующей обработки добавкой ФХ200 в реакционной камере, выполненной в виде полости в песчано-глинистой форме (б) и в виде пенополистироловой оболочки (патрона) (в): I – не травленные образцы; II – образцы после химического травления, $\times 100$

Кристаллизация и структурообразование сплавов

потока жидкого металла, в том числе и между зернами добавки, благодаря чему увеличивается площадь контакта частиц модификатора с расплавом. Кроме того, выделяющиеся газообразные продукты газификации реакционной камеры способствуют перемешиванию жидкого металла с модификатором (добавкой), увеличивая коэффициент их усвоения. Повышению усвоения добавок способствует также уменьшение вероятности окисления отдельных наиболее активных составляющих за счет создания восстановительной атмосферы в объеме реакционной камеры в результате выделения продуктов газификации пенополистирола.

Таким образом, на основании проведенных исследований в работе предложены и исследованы эффективные технологические варианты внутриформенной обработки расплава, которые по сравнению с другими альтернативными методами имеют ряд существенных преимуществ:

- обеспечивают полное усвоение и равномерное распределение модифицирующих добавок в объеме отливки;
- уменьшают угар основных модифицирующих или легирующих добавок в результате создания восстановительной атмосферы;
- снижают расход модифицирующих и легирующих добавок;
- используют возможность модифицирующих и легирующих добавок разной дисперсности, включая пылевидные фракции;
- упрощают и удешевляют модельный комплект, а также технологические операции изготовления и сборки литейной формы;
- автоматизируют процесс модифицирования чугуна.

Предложенные технологические варианты внутриформенной обработки расплава с использованием пенополистироловых камер, выполненных в виде пенополистироловой оболочки или пенополистиролового патрона (контейнера) с модификатором, защищены патентами Украины [8-10].



Список литературы

1. *McCaulay J. L.* Production of Nodulagraphite Iron Casting by the Inmold-process // Foundry Trade Journal. – 1971. – № 4. – P. 327-332, 335.
2. *Косячков В. А., Ващенко К. И.* Особенности технологии получения высокопрочного чугуна модифицированием в форме // Литейн. пр-во. – 1975. – № 12. – С. 11-12.
3. *Белогуров Н. И.* Вторичное модифицирование высокопрочного чугуна в форме // Там же. – 1974. – № 2. – С. 5-7.
4. *Сивко В. И. Вазиев И. К.* Производство отливок из высокопрочного чугуна. Опыт ОАО «Камский литейный завод» // Там же. – 1998. – № 12. – С. 9-12.
5. *Ковалевич Е. В.* Способы модифицирования чугуна для получения шаровидной формы графита // Там же. – 2006. – № 4. – С. 9-14.
6. Перспективные направления развития технологий высокопрочных и специальных чугунов / В. Б. Бубликов, Б. Г. Зеленый, А. А. Шейко и др. // Процессы литья. – 2007. – № 1-2. – С. 32-39.
7. Пат. 22578 U, 200612610, B22C9/00. Ливникова система для модифікування чавуну / В. Б. Бубликов, Д. М. Берчук, Д. С. Козак та ін. – Опубл. 25.04.2007, Бюл. № 5.
8. Пат. 13632 U, 2005 09104, B22D27/00. Спосіб обробки чавуну в ливарній формі / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко. – Опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4.
9. Пат. 13646 U, 2005 09284, B22D27/00. Спосіб обробки рідкого металу в ливарній формі / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко – Опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4.
10. Пат. 46486 U, 2009 06686, B22D27/00. Спосіб обробки рідкого металу / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко. – Опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24.

Поступила 21.11.2012