

Новые технологии изготовления отливок модифицированием чугуна в литейной форме

Предложены и исследованы новые технологические процессы изготовления чугунных отливок с применением метода внутриформенного модифицирования расплава. Подтверждена возможность реализации предложенных процессов, и разработаны режимы литья, обеспечивающие стабильное получение чугунных отливок с заданными структурой и свойствами. Предлагаемые перспективные технологии помогут решить комплекс задач по повышению качества и свойств отливок широкого назначения при внедрении на промышленных предприятиях литейной отрасли.

Ключевые слова: способ, технология, внутриформенное модифицирование, серый чугун, белый чугун, высокопрочный чугун, двухслойные отливки, двухсторонние отливки, сфероидизирующий модификатор, графитизирующая присадка, карбидостабилизирующая добавка, структура, свойства

Впервые в мировой литейной практике метод внутриформенного модифицирования чугуна (Inmold-process) разработан, запатентован и внедрен в производство в начале 70-х годов прошлого столетия.

Модифицирование чугуна этим методом осуществляется непосредственно в литейной форме путем размещения зернистой, **гранулированной или порошковой** добавки в специальном резервуаре или в полости литейной формы – промежуточной проточной реакционной камере литниковой системы, расположенной между стояком и шлакоуловителем на пути движения расплава к отливке. При оптимальном сочетании температуры и скорости потока жидкого чугуна в литниковой системе расчетное количество модификатора в реакционной камере синхронно с процессом заливки литейной формы равномерно растворяется и усваивается металлом [1, 2].

При внутриформенном модифицировании сокращается до минимума время между вводом модификатора в жидкий чугун и началом кристаллизации последнего, что позволяет исключить **демодифицирование** расплава, обеспечить максимальный эффект зародышеобразования и высокую степень графитизации, **сократить расход модифицирующих добавок, увеличить производительность труда, а также создает условия для автоматизации процессов модифицирования и заливки.** Кроме того, внедрение этого метода в производство не требует установки в цехе или на участке нескольких плавильных агрегатов, дополнительного оборудования или других агрегатов и специальных устройств [3].

В мировой и отечественной практике обработка расплава чугуна в литейной форме применяется в основном при изготовлении мелких и средних по массе отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в условиях серийного и массового производства [3-7].

В то же время, благодаря присущим этому методу преимуществам, метод внутриформенного модифицирования открывает широкие возможности использования его не только с целью сфероидизации гра-

фита в высокопрочном чугуне, но и в других технологических процессах изготовления отливок.

В данной работе предложены и исследованы новые технологические процессы изготовления чугунных отливок с применением внутриформенного модифицирования расплава, к **которым относятся:** обработка исходного жидкого белого или серого чугуна в литейной форме графитизирующими, карбидостабилизирующими или сфероидизирующими добавками при литье в разовые песчаные формы; технология двойной (включая «встречную») обработки исходного расплава белого или серого чугуна в литейной форме; технологический процесс получения отливок с разной структурой и свойствами из одного исходного расплава, в том числе, и в общей литейной форме; технологии изготовления двухслойных и многослойных отливок с дифференцированной структурой и свойствами в отдельных зонах (частях) из одного базового расплава при заливке в разовые песчаные литейные формы, а также при центробежном литье.

Многочисленными исследованиями процессов внутриформенного модифицирования исходного расплава белого и серого чугунов модифицирующими добавками различного гранулометрического и химического состава определены оптимальные типы добавок для графитизирующей, карбидостабилизирующей и сфероидизирующей внутриформенной обработки, их оптимальные количественные и гранулометрические характеристики, а также температурно-временные режимы литья, обеспечивающие стабильное получение отливок с заданной структурой и требуемыми механическими и служебными свойствами.

Установлено, что для графитизирующей внутриформенной обработки белого чугуна в литейной форме целесообразно использовать ферросилиций марки ФС75, с размером частиц $5,0 \pm 2,5$ мм, в количестве, помещаемом в реакционную камеру, от 1,0 до 2,0 % от массы обрабатываемого расплава [8, 9]. При этом количество необходимого графитизирующего ферросилиция уменьшается с увеличением толщины стенки отливки.

При внутриформенной сфероидизирующей обработке серого чугуна стабильные результаты были получены при использовании в качестве модификаторов комплексных ферросиликомagneйевых сплавов с содержанием магния около 7,0 % (марок ФСМг7 и VL63(M)) с размерами частиц $5,0 \pm 2,5$ мм, помещаемых в реакционные камеры в количестве 1,5...2,0 % от массы отливок [9, 10].

Наиболее эффективными для внутриформенного карбидостабилизирующего модифицирования серого чугуна из исследованных добавок, оказались никель-магниевого лигатуры марок НМг15 или НМг19, а также цериевый мишметалл Це48Ла28Мг3 с размерами частиц 1,0...10,0 мм, добавляемые в расплав в количестве до 2,0 % [9, 11].

Результаты проведенных модельных исследований с использованием методов физического и компьютерного моделирования, а также экспериментальных исследований на натуральных опытных отливках из чугуна указывают на то, что характер взаимодействия расплава с частицами модификатора в проточной реакционной камере и степень усвоения модифицирующих и сопутствующих элементов из модификатора существенным образом зависят от типа и параметров литниково-модифицирующих систем и, в первую очередь, вида реакционных камер и способа подвода к ним расплава.

Установлено, что эффективность внутриформенной модифицирующей обработки расплава повышается при замене реакционных камер с прямым подводом расплава (прямоточных реакционных камер)

(рис. 1, а) на проточные реакционные камеры цилиндрической или сферической (шаровидной) геометрической формы с центробежным подводом расплава (рис. 1, б, д) или с подводом расплава в камеру по касательной (рис. 1, в, е). При этом наиболее эффективными с точки зрения усвоения добавок расплавом оказались реакционные камеры с центробежным подводом расплава к ним (центробежные реакционные камеры) (рис. 1, б, д).

Интенсифицировать усвоение модифицирующих добавок, в том числе мелкодисперсных, включая пылеобразные (пылевидные фракции) позволяет использование реакционных камер в виде специального патрона, выполненного из спеченного вместе с модификатором пенополистирола (рис. 2, а), или в виде пенополистироловой оболочки, внутрь которой помещается зернистый модификатор и которая вставляется в литейную форму при ее сборке (рис. 2, б) [12-15].

Проведены исследования по отработке технологии двойного (встречного) внутриформенного модифицирования, которая заключается в обработке внутри литейной формы расплава исходного белого или серого чугуна последовательно или параллельно разными по химическому составу и функциональному назначению добавками, размещенными в двух реакционных камерах литниковой системы на пути движения расплава в полость литейной формы [16-18].

В условиях эксперимента при двойной (встречной) внутриформенной обработке исходного жидкого белого или серого чугунов исследовано влияние различных по функциональному назначению и

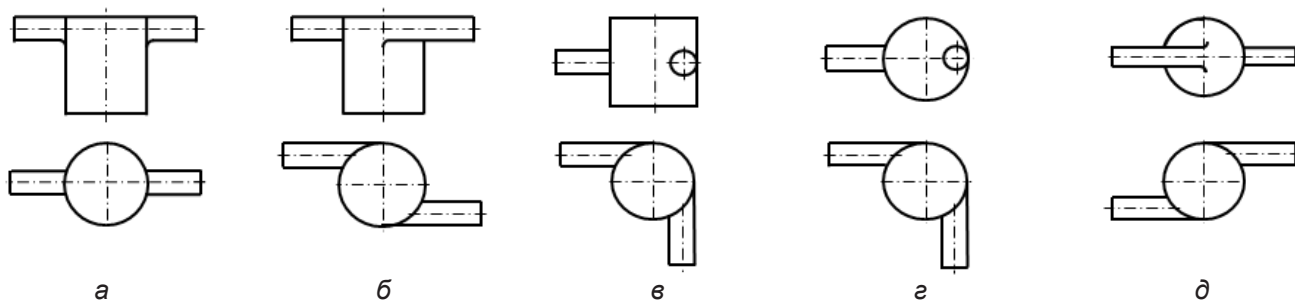


Рис. 1. Типы исследуемых проточных реакционных камер: а – цилиндрическая с прямым подводом расплава; б – цилиндрическая с центробежным подводом расплава; в – цилиндрическая с подводом расплава по касательной; г – шаровидная с подводом расплава по касательной; д – шаровидная с центробежным подводом расплава

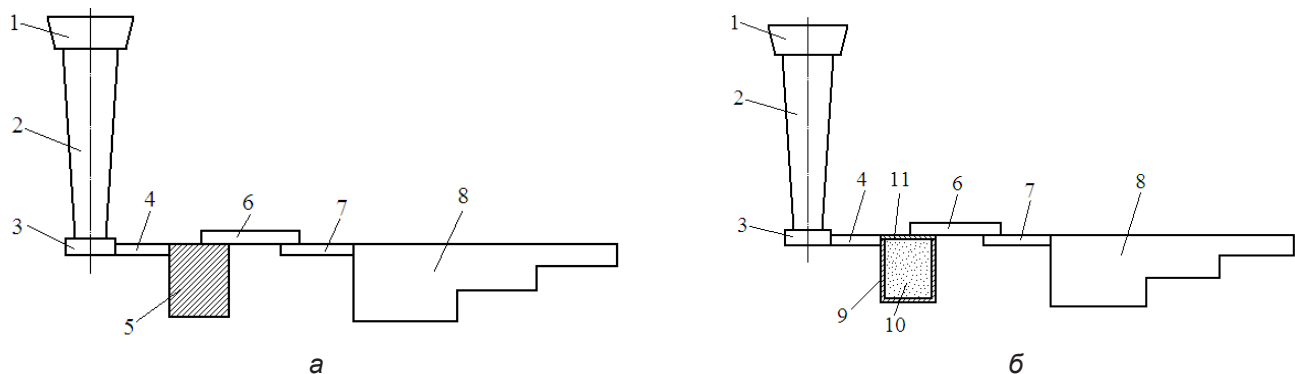


Рис. 2. Схемы внутриформенной обработки чугуна с использованием пенополистиролового патрона (а) и пенополистироловой оболочки с модификатором (б): 1 – литниковая воронка; 2 – стояк; 3 – соединительный канал; 4 – литниковый ход; 5 – пенополистироловый патрон с модификатором; 6 – шлакоуловитель; 7 – питатель; 8 – отливка; 9 – пенополистироловая оболочка; 10 – модификатор; 11 – пенополистироловая заглушка

воздействию на расплав комбинаций добавок: графитизирующей и карбидостабилизирующей, сфероидизирующей и карбидостабилизирующей, а также сфероидизирующей и графитизирующей (рис. 3), а также последовательности ввода 2-х добавок в расплав.

Результаты исследований показали, что как в случае использования в качестве исходного расплава серого чугуна, так и при использовании расплава белого чугуна, эффективность двойной внутриформенной обработки жидкого металла оказалась выше по сравнению с одинарной обработкой только одной добавкой.

Установлено, что, например, для получения повышенной износостойкости отливок, изготавливаемых из исходного серого чугуна, наиболее эффективна двойная обработка сначала карбидообразующей добавкой с последующим модифицированием сфероидизирующей или графитизирующей присадкой. Для получения повышенных пластических свойств чугунных отливок, изготавливаемых из исходного белого чугуна, эффективна двойная обработка первоначально сфероидизирующей присадкой с последующим модифицированием графитизирующей добавкой.

В дальнейших исследованиях метод внутриформенного модифицирования использовался при отработке технологии получения из одного базового исходного жидкого чугуна (в том числе и в одной общей литейной форме) отливок с различной структурой и свойствами [19-21], что актуально для мелких литейных цехов или участков ремонтного литья при наличии одного плавильного агрегата и достаточно широкой номенклатуры мелких и средних отливок из различных чугунов.

Используя, например, в качестве исходного расплава серый чугун, и помещая в реакционную камеру одной из ветвей литниковой системы – сфероидизирующий модификатор, в реакционную камеру другой ветви – карбидостабилизирующую добавку и используя третью ветвь литниковой системы без реакционной камеры (рис. 4, а), получили три отливки соответственно со структурой белого (БЧ), серого с включениями пластинчатого графита (СЧ) и высокопрочного с шаровидным графитом чугуна (ВЧ) (рис. 4, б, в) [21].

Применение технологии внутриформенного модифицирования базового исходного чугуна разнородными по функциональному назначению

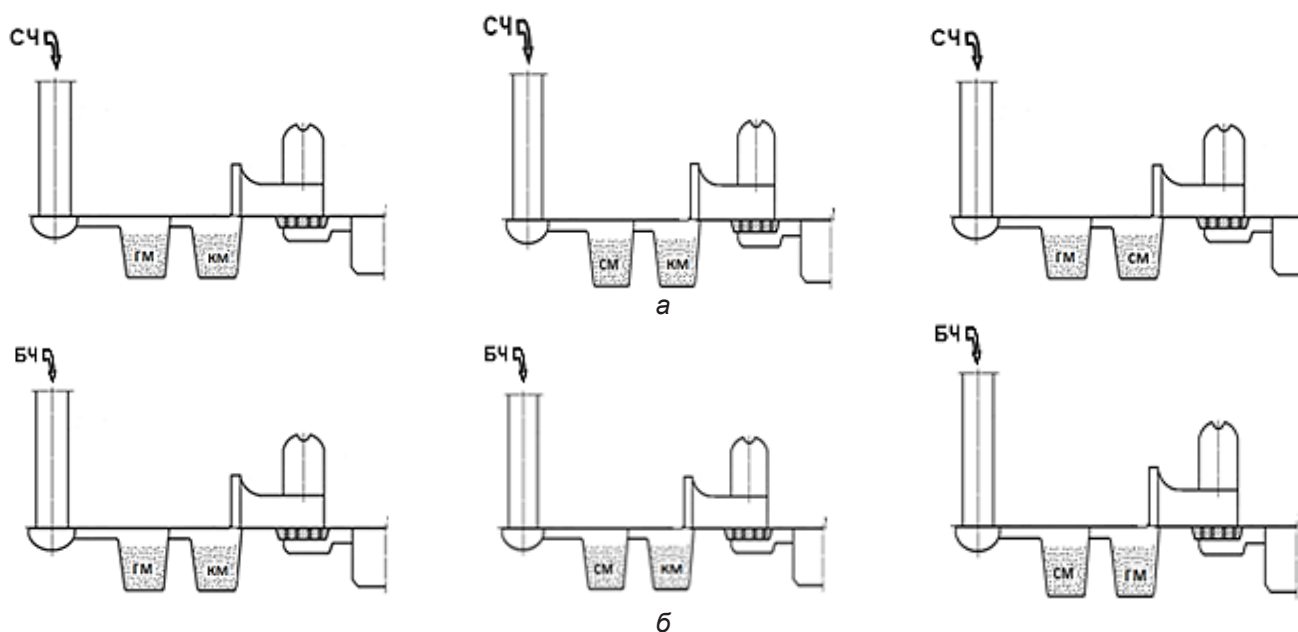


Рис. 3. Схемы двойной (встречной) внутриформенной обработки расплава серого (а) или белого (б) чугуна: СМ – сфероидизирующий модификатор, ГМ – графитизирующий модификатор, КМ – карбидостабилизирующий модификатор, СЧ – серый чугун, БЧ – белый чугун

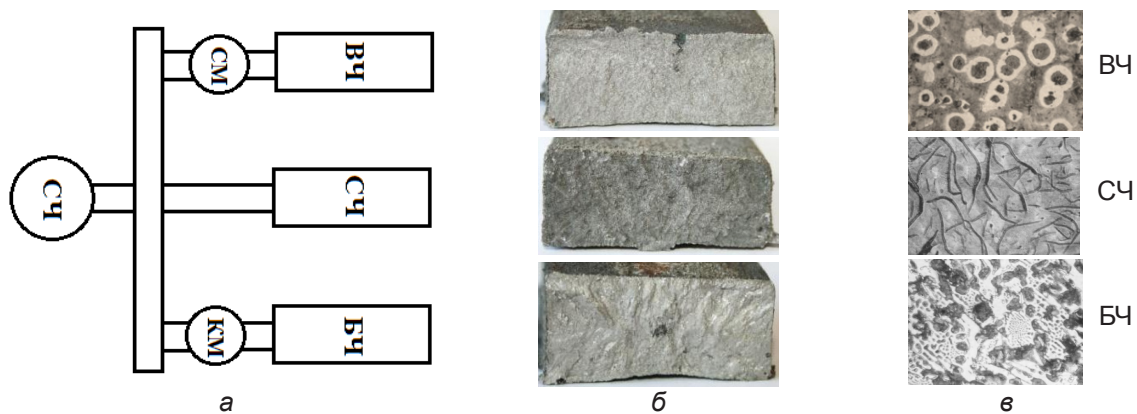


Рис. 4. Схема изготовления (а), изломы (б) и микроструктура (в) отливок, полученных в общей литейной форме из одного исходного серого чугуна: БЧ – белый чугун, СЧ – серый чугун, ВЧ – высокопрочный чугун, КМ – карбидостабилизирующий модификатор, СМ – сфероидизирующий модификатор

модификаторами или другими добавками перспективно и при изготовлении отливок с дифференцированной структурой и свойствами в отдельных их частях или в различных слоях [22].

В работе предложены способы, в которых предусматривается изготовление отливок путем заполнения полости литейной формы исходным расплавом серого (СЧ) или белого (БЧ) чугуна, который при заливке в литейной форме разделяется на два потока, один из которых направляется непосредственно в одну часть полости литейной формы без какой-либо обработки, а второй – сначала подвергается модифицирующей обработке в проточной реакционной камере литниковой системы модификатором, после чего направляется в другую часть полости формы (рис. 5, а) [23-26]. Возможен также вариант внутриформенной обработки обоих потоков расплава исходного чугуна, заполняющего разные части или слои полости литейной формы (рис. 5, б) [27-29].

В результате проведенных многочисленных исследований была подтверждена возможность реализации данной технологии, отработаны параметры и режимы литья, позволившие получить двухсторонние (рис. 5, в) и двухслойные (рис. 5, г) горизонтальные плиты с сочетанием структуры и свойств твердого с карбидами железа белого чугуна в одной части или в одном слое и высокопрочного с шаровидным графитом чугуна в другой части или в другом слое отливки.

Большой интерес также представляет применение метода внутриформенного модифицирования расплава при производстве отливок с дифференцированной структурой и свойствами в наружных и внутренних слоях отливки методом центробежного литья [30-32].

Для отработки новой технологии была спроектирована и изготовлена шпиндельная установка центробежного литья с горизонтальной осью вращения изложницы (рис. 6, а) [33].

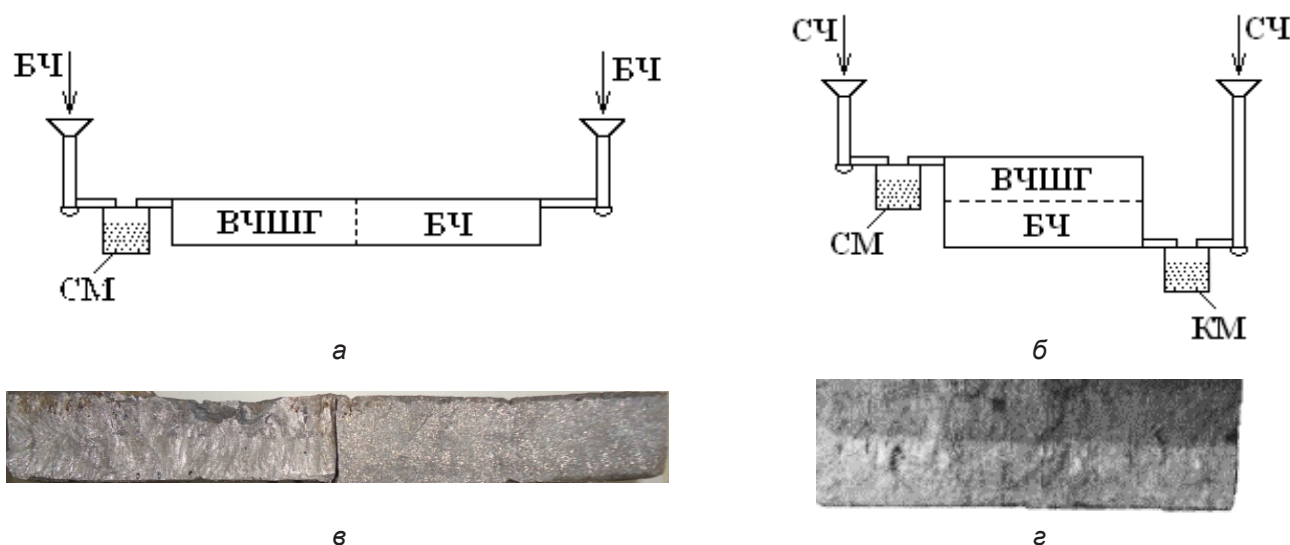


Рис. 5. Схемы изготовления с применением технологии внутриформенного модифицирования двусторонних (а) и двухслойных (б) отливок с дифференцированной структурой и свойствами, вид изломов полученных отливок (в, г): БЧ – белый чугун, СЧ – серый чугун, ВЧШГ – высокопрочный чугун с шаровидным графитом, КМ – карбидостабилизирующий модификатор, СМ – сфероидизирующий модификатор

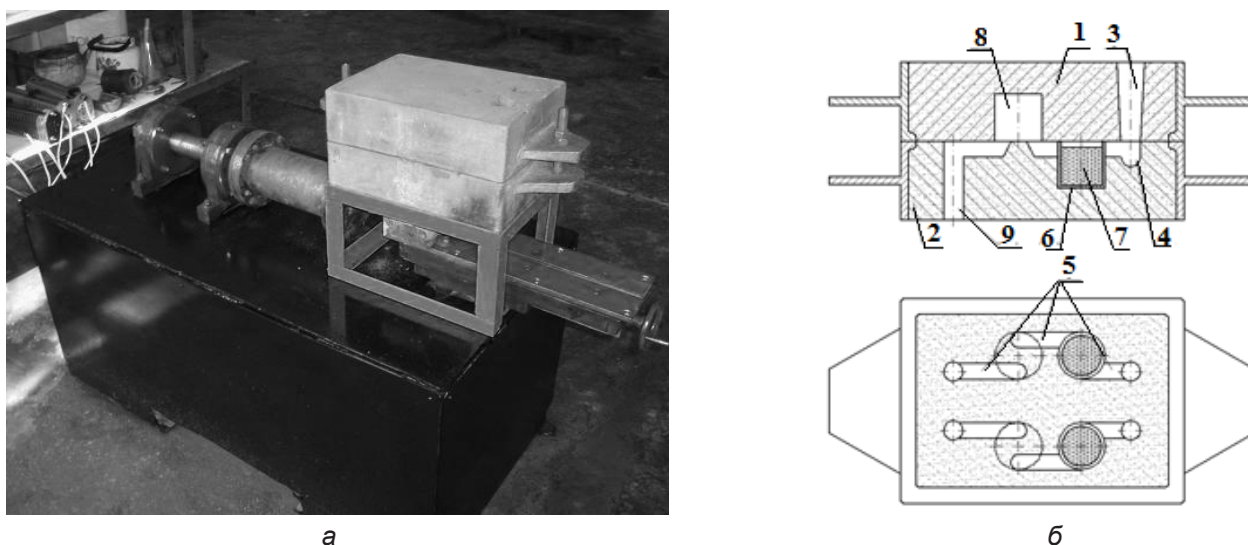


Рис. 6. Общий вид установки центробежного литья для изготовления отливок с дифференцированными свойствами (а) и схема заливочно-модифицирующего устройства (б): 1 – верхняя полуформа; 2 – нижняя полуформа; 3 – стояк; 4 – зумпф; 5 – горизонтальные каналы; 6 – реакционная камера; 7 – модификатор; 8 – шлакоуловитель; 9 – вертикальный выходной канал

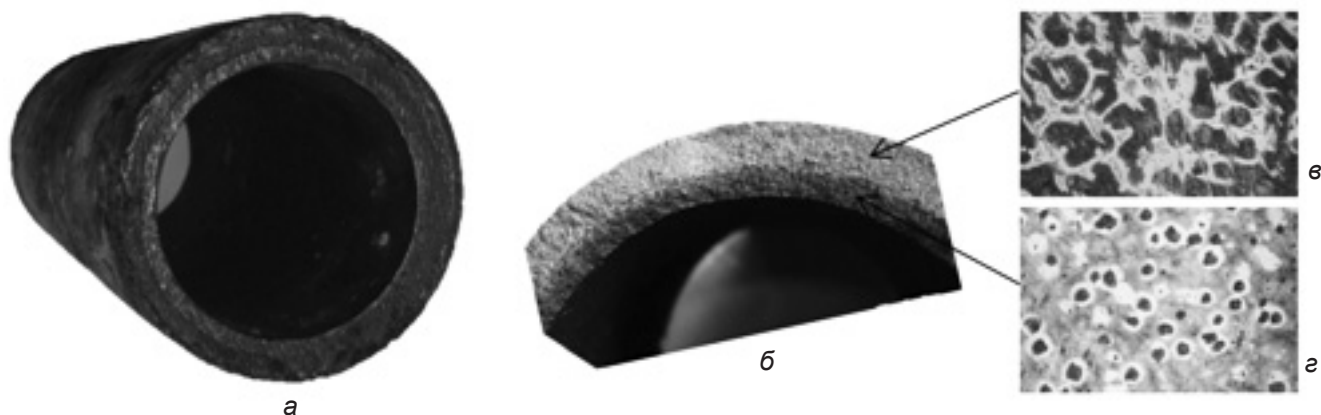


Рис. 7. Общий вид (а), излом (б) и микроструктура наружного (в) и внутреннего (д) слоев полученной центробежно-литой двухслойной отливки

Особенностью спроектированной и изготовленной установки центробежного литья является наличие в ее конструкции специального заливочно-модифицирующего устройства (блока или модуля), в котором происходит внутриформенная обработка отдельных порций расплава, дозирование расхода и регулирование скорости поступления расплава в изложницу.

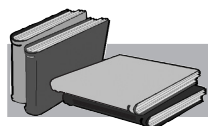
Заливочно-модифицирующий блок (модуль) представляет собой разовую или полупостоянную литейную форму, которая располагается перед вращающейся изложницей над перемещающимся вдоль продольной оси изложницы заливочным желобом, и обеспечивает возможность в процессе заливки проводить обработку исходного базового расплава разными по функциональному назначению и воздействию на структуру и свойства металла модифицирующими, легирующими или другими добавками, помещаемыми в проточные реакционные камеры автономных литниковых систем литейной формы (рис. 6, б) [34].

Количество автономных литниковых систем определяется количеством слоев с дифференцированной структурой и свойствами, которые необходимо получить в центробежнолитом изделии. При этом во всех или в части независимых литниковых систем литейной формы предусмотрены промежуточные

проточные реакционные камеры (поз. б на рис. 6, б), в которых на пути движения расплава при заливке размещаются модифицирующие добавки 7 для внутриформенной обработки порции расплава, движущегося через соответствующую литниковую систему и далее по желобу во вращающуюся изложницу.

Проведенными экспериментальными исследованиями была подтверждена возможность реализации предложенной технологии, отработаны температурно-временные режимы литья двухслойных отливок с дифференцированной структурой и свойствами из одного исходного расплава. Для примера на рис. 7 представлены результаты исследований при получении промышленных двухслойных отливок «втулка» длиной 250 и диаметром 100 мм из расплава базового белого чугуна с сочетанием структуры и свойств белого чугуна в наружном слое и высокопрочного чугуна с шаровидным графитом во внутреннем слое [35].

Предложенные технологии внутриформенной обработки расплава защищены патентами Украины и могут являться перспективными для внедрения в промышленную практику с целью решения комплекса задач по повышению качества и свойств отливок широкого назначения, а также повышения технико-экономических показателей производства.



ЛИТЕРАТУРА

1. McCaulay J. L. Production of nodulagraphite iron casting by the in-mold-process / McCaulay J. L. // Foundry trade journal. – 1971. – № 4. – P. 327-332, 335.
2. Косячков В. А. Особенности технологии получения высокопрочного чугуна модифицированием в форме / В. А. Косячков, К. И. Ващенко // Литейное производство. 1975. – № 12. – С. 11-12.
3. Lerner Y. S. Overview of ductile iron methods // Foundry Trade Journal. – 2003. – V. 177. – P. 25-27.
4. Бубликов В. Б. Высокопрочному чугуну – 60 // Литейное производство. – 2008. – № 11. – С. 2-8.
5. Болдырев Д. А. Внутриформенное модифицирование чугуна магниевым модификатором с лантаном / Д. А. Болдырев // Там же. – 2006. – № 5. – С. 10-13.
6. Knustad O. Проблемы, возникающие при производстве высокопрочных чугунов. Обзор существующих способов получения ВЧ и используемых модификаторов / O. Knustad // Литейщик России. – 2011. – № 4. – С. 15-17.
7. Ковалевич Е. В. Современные способы модифицирования для получения в чугуне шаровидного графита / Е. В. Ковалевич, Л. А. Петров, В. В. Андреев // Литейное производство. – 2014. – № 2. – С. 2-5.
8. Фесенко М. А. Оптимизация состава присадки для графитизирующего модифицирования чугуна в литейной форме / М. А. Фесенко // Там же. – 2005. – № 10. – С. 13-15.

9. *Косячков В. А.* Оптимизация присадок для дифференцированного графитизирующего, карбидостабилизирующего и сфероидизирующего модифицирования чугуна в литейной форме / В. А. Косячков, М. А. Фесенко, Д. В. Денисенко // Процессы литья. – 2005. – № 4. – С. 34-40.
10. *Макаревич А. П.* Влияние типа модификатора на структуру высокопрочного чугуна с шаровидным графитом при литье по газифицируемым моделям / А. П. Макаревич, М. А. Фесенко, В. А. Косячков, А. Н. Фесенко // *Металл и литье Украины*. – 2005. – № 1-2. – С. 20-22.
11. *Фесенко Е. В.* Карбидостабилизирующие заряды реакционных камер при модифицировании чугуна в литейной форме / Е. В. Фесенко, В. А. Косячков, М. А. Фесенко // *Процессы литья*. – 2014. – № 3 (105). – С. 23-27.
12. *Фесенко М. А.* Способы внутрiformенного модифицирования чугуна / М. А. Фесенко, А. Н. Фесенко, В. А. Косячков, В. Г. Могилатенко // Там же. – № 1. – 2013. – С. 44-49.
13. Патент № 13632 U, B22D27/00. Спосіб обробки чавуну в ливарній формі / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко. – Опубл. 17.04.2006, Бюл. № 5.
14. Патент № 13646 U, B22D27/00. Спосіб обробки рідкого металу в ливарній формі / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко. – Опубл. 17.04.2006, Бюл. № 5.
15. Патент № 46486 U 2009 06686, B22D 27/00. Спосіб обробки рідкого металу / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко. – Опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24.
16. Патент № 59207 U 210 11799, B22D 27/00. Спосіб подвійної обробки рідкого металу в ливарній формі / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко. – Опубл. 10.05.2011, Бюл. № 9.
17. Патент № 76396 u201203999, B22D 27/00. Спосіб подвійної обробки рідкого металу в ливарній формі / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко, Д. О. Чугайов. – Опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.
18. *Фесенко А. Н.* Технология встречного модифицирования жидкого чугуна в литейной форме / А. Н. Фесенко, М. А. Фесенко // Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейной индустрии: материалы международной научно-практической конференции, 19-21 октября 2010 г. (Киев).
19. Патент № 27682 U 2007 07330, B22D 27/00. Спосіб виготовлення виливків з різними структурами і властивостями в загальній ливарній формі з одного базового розплаву / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко, В. О. Косячков. – Опубл. 12.11.2007, Бюл. № 18.
20. Патент № 29197 U 2007 08456, B22D 27/00. Ливникова система для виготовлення виливків з різними структурами і властивостями з одного базового розплаву в загальній ливарній формі / Фесенко А. М., Фесенко М. А., Косячков В. О. – Опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1.
21. *Фесенко А. Н.* Получение чугуновых отливок с разнородной структурой и свойствами из базового расплава методом внутрiformенного модифицирования / А. Н. Фесенко, М. А. Фесенко, В. А. Косячков, Е. В. Фесенко / *Вестник ДГМА*. – 2009. – № 1 (15). – С. 170-174.
22. *Фесенко М. А.* Внутрiformенное модифицирование для получения чугуновых отливок с дифференцированными структурой и свойствами / М. А. Фесенко, А. Н. Фесенко, В. А. Косячков // *Литейное производство*. – 2010. – № 1. – С. 7-13.
23. Патент № 27681 U 2007 07328, B22D 27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими властивостями // М. А. Фесенко, В. О. Косячков, А. М. Фесенко – Опубл. 12.11.2007, Бюл. № 18.
24. Патент № 41383 U 2008 11908, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурами і властивостями / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко, В. О. Косячков, К. В. Ємельяненко – Опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10, 2009 р.
25. Патент № 42795 U 2009 00009, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурами і властивостями / М. А. Фесенко, А. М. Фесенко, В. О. Косячков, К. В. Ємельяненко. – Опубл. 27.07.2009, Бюл. № 14.
26. Патент № 54267 U 2009 13101, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурами і властивостями / М. А. Фесенко, А. М. Фесенко, В. О. Косячков. – Опубл. 11.11.2010, Бюл. № 21.
27. Патент № 32662 U 2008 00343, B22D 27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурами і властивостями / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко, В. О. Косячков. – Опубл. 26.05.2008, Бюл. № 10.
28. Патент № 42477 U 2009 00188, B22D 27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурами і властивостями / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко, В. О. Косячков, К. В. Ємельяненко. – Опубл. 10.07.2009, Бюл. № 13.
29. Патент № 54266 U 2009 13097, B22D27/00. Спосіб виготовлення виливків з диференційованими структурами і властивостями / М. А. Фесенко, А. М. Фесенко, В. О. Косячков. – Опубл. 11.11.2010, Бюл. № 21.
30. Патент № 93949 U 2014 04316, B22D 27/00. Спосіб відцентрового лиття двошарових виливків з диференційованими структурами й властивостями / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко – Опубл. 27.10.2014, Бюл. № 20.
31. Патент № 93953 U 2014 04329, B22D 27/00. Спосіб відцентрового лиття виливків з диференційованими структурами та властивостями / М. А. Фесенко, А. М. Фесенко. – Опубл. 27.10.2014, Бюл. № 20/2014.
32. Патент № 94050 U 2014 05363, B22D 27/00. Спосіб відцентрового лиття двошарових виливків з диференційованими структурами й властивостями / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко. – Опубл. 27.10.2014, Бюл. № 20.
33. Патент № 93948 U 2014 04315, B22D 27/00. Установка відцентрового лиття / М. А. Фесенко, А. М. Фесенко. – Опубл. 27.10.2014, Бюл. № 20.
34. Патент № 93901 U 2014 03243, B22D 27/00. Пристрій для заливання й модифікування розплаву установки відцентрового лиття / М. А. Фесенко, А. М. Фесенко. – Опубл. 27.10.2014, Бюл. № 20.
35. *Фесенко А. Н.* Исследование процесса получения двухслойных чугуновых отливок методом центробежного литья / А. Н. Фесенко, М. А. Фесенко, С. А. Дегтярев // *Вестник ДГМА*. – 2011. – № 4 (25). – С. 149-153.

Анотація

Фесенко М. А.

Нові технології виготовлення виливків модифікуванням чавуну в ливарній формі

Запропоновано та досліджено нові технологічні процеси виготовлення чавунних виливків із застосуванням методу внутрішньоформового модифікування розплаву. Підтверджена можливість реалізації запропонованих процесів і розроблені режими литва, що забезпечують стабільне отримання чавунних виливків із заданими структурою та властивостями. Запропоновано технології, які перспективні для впровадження в промислову практику на підприємствах ливарної галузі з метою вирішення комплексу завдань щодо підвищення якості та властивостей виливків широкого призначення.

Ключові слова

спосіб, технологія, внутрішньоформове модифікування, сірий чавун, білий чавун, високоміцний чавун, двошарові виливки, двобічні виливки, сфероїдизуючий модифікатор, графітуюча присадка, карбідостабілізуюча добавка, структура, властивості

Summary

Fesenko M.

New technologies for production of castings by in-mold inoculation

New technological processes of production iron castings using the method of in-mold inoculation are proposed and investigated. The possibility of the proposed processes implementation is confirmed and modes of casting are developed, which provide stable production of iron castings with desired structure and properties. Was proposed technologies promising ones for implementation in industrial practices at the enterprises of foundry industry, in order to solve complex tasks of improvement of the quality and properties of wide purpose castings.

Keywords

mode, technology, in-mold inoculation, gray cast iron, white cast iron, ductile iron, bilayer-casting, double-sided casting, nodular modifier, graphitizing additive, carbide-stabilizing additive, structure, properties

Поступила 24.11.2014