



УДК 621.74

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

## **ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ**

Перспективным направлением повышения работоспособности и долговечности оборудования, машин и механизмов при одновременном улучшении экономических показателей и снижении расхода дефицитных и дорогостоящих легирующих материалов является использование в их составе двухслойных (двухсторонних) или многослойных деталей с дифференцированными свойствами металла в разных зонах или частях.

Примерами таких деталей могут служить бронифутеровочные плиты, мелющие тела шаровых мельниц, щеки молотков и дробилок, прокатные валки, склизы бункеров сыпучих материалов и многое другое.

Рабочий слой перечисленных деталей должен обладать высокой твердостью и износостойкостью, а монтажная часть – ударостойкостью, вязкостью и, в отличие от рабочего слоя, улучшенной обрабатываемостью резанием.

Высокую износостойкость рабочей поверхности деталей может обеспечить белый чугун с карбидными включениями железа, хрома и других легирующих элементов, а повышенную пластичность и ударную вязкость – высокопрочный чугун с шаровидным графитом или серый чугун с пластинчатым графитом ферритного класса.

На сегодняшний день производство чугуновых деталей с дифференцированными свойствами в отдельных их частях (зонах) осуществляется различными способами. Наибольший интерес представляют способы получения таких деталей методом литья из жидкого металла, реализация которых может быть осуществлена несколькими технологическими вариантами (схемами): заливкой в общую литейную форму разнородных жидких сплавов с установленной твердой перегородкой между ними; последовательной заливкой литейной формы разнородными расплавами через две независимые литниковые системы с паузой между заливками; выливанием жидкого остатка одного расплава с доливкой сердцевины другим расплавом; центробежным литьем с послышной заливкой изложницы, которая вращается, разнородными расплавами и другими методами [1, 2].

Необходимость установки двух плавильных агрегатов для выплавки разнородных сплавов или выплавки и последующей внепечной обработки части (порции) жидкого металла, а также необходимость строгой синхронизации процессов выплавки и разлива этих сплавов являются существенными недостатками перечисленных процессов получения литых деталей с дифференцированными свойствами в разных частях или зонах [3].

Целью работы является разработка способа и исследование процессов получения двухсторонних чугуновых отливок с дифференцированной структурой и свойствами в левой и правой их частях из одного базового расплава.

В работе предложен новый способ изготовления двухсторонних чугуновых отливок с дифференцированной структурой и свойствами в левой и правой ее части из одного исходного (базового) расплава, который базируется на использовании технологии внутриформенной обработки исходного жидкого чугуна в реакционной камере литниковой системы. Способ реализуется путем заливки литейной формы через общий стояк и каналы разветвленной литниковой системы, которая обеспечивает подвод расплава к отливке через питатели с двух сторон и предусматривает возможность внутриформенной обработки (модифицирования, легирования и т. д.) расплава в реакционной камере на пути движения к отливке.

При этом были исследованы следующие технологические варианты литья:

– по первому варианту исходный жидкий чугун, поступающий в одну часть полости формы, на пути движения к отливке в реакционной камере соответствующей ветви литниковой системы проходит внутриформенную обработку графитизирующим (рис. 1, а), сфероидизирующим (рис. 1, б) или карбидостабилизирующим (рис. 1, в) модификатором (лигатурой) или другой добавкой, в то время как расплав, поступающий в другую часть отливки, подается через питатель второй ветви литниковой системы, без какой либо обработки, т. е. исходный;

– по второму варианту заливаемый исходный чугун на пути движения к отливке проходит внутриформенную обработку в реакционных камерах обеих ветвей литниковой системы разными по функциональному назначению модификаторами (лигатурами) или другими добавками (например, в левой ветви карбидостабилизирующим, а в правой ветви сфероидизирующим модификатором (рис. 1, г), после чего модифицированные расплавы заполняют соответствующие части полости формы.

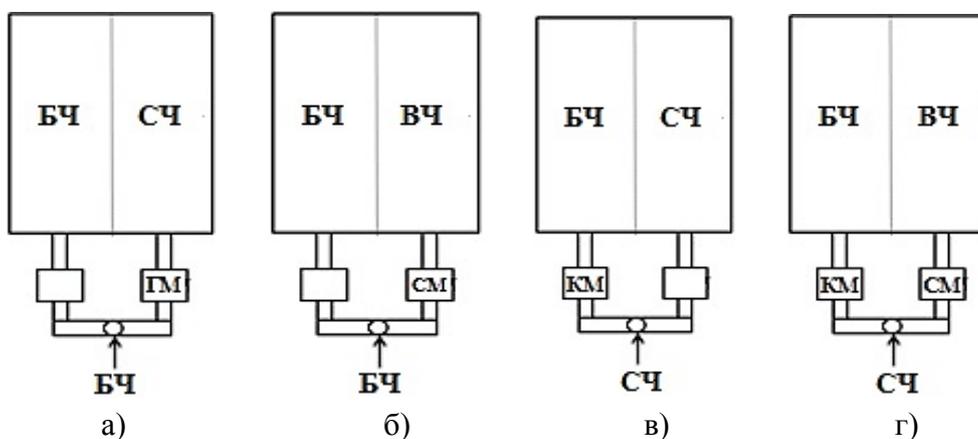


Рис. 1. Технологические схемы получения отливок с дифференцированной структурой и свойствами из одного базового расплава:

БЧ – белый чугун; СЧ – серый чугун; ВЧ – высокопрочный чугун; ГМ – графитизирующий модификатор; СМ – сфероидизирующий модификатор; КМ – карбидостабилизирующий модификатор

Объектом исследования выбрали отливку типа горизонтальной плиты массой 10 кг и размерами 240 × 120 × 25 мм (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид экспериментальной отливки

Исходные чугуны эвтектического или близкого к эвтектическому (серый – СЧ) и доэвтектического (белый – БЧ) состава выплавляли в индукционной тигельной электропечи марки ИЧТ-006 с кислой футеровкой на шихте, состоящей из доменного чушкового чугуна и стального лома (Сталь 3). В экспериментах состав исходного белого чугуна находился в пределах: 2,60–3,20 % С; 0,40–0,80 % Si; 0,30–0,70 % Mn; до 0,040 % P; до 0,020 % S; остальное Fe, а исходного серого чугуна – 3,8–3,9 % С; 1,8–1,9 % Si; 0,13–0,3 % Mn; до 0,065 % P; до 0,040 % S, остальное Fe.

Сухие песчано-глинистые литейные формы при температуре расплава  $1460 \pm 20$  °С заливали открытым ручным ковшом конического типа.

В качестве сфероидизирующего модификатора (СМ) для внутриформенной обработки базового чугуна с целью получения структуры и свойств высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) использовали ферросилиций-магниевый сплав марки VL63M [5], карбидостабилизирующего модификатора (КМ) для получения структуры и свойств белого чугуна (БЧ) – никель-магниевый сплав марки НМг19 и графитизирующего модификатора (ГМ) для получения структуры и свойств серого чугуна с пластинчатым графитом – ферросилиций марки ФС75 [6].

Количество модификаторов с размерами частиц 1,0–5,0 мм, помещаемых в проточные кубические реакционные камеры размером  $40 \times 40 \times 40$  мм литейной формы, во всех экспериментах составляло 2,0 % от массы обрабатываемого чугуна.

Результаты экспериментов оценивали по характеру и цвету излома в центральном сечении опытных отливок. Более полную информацию получали по результатам металлографических исследований, химического состава чугунов, а также сравнением твердости чугуна в образцах, вырезанных из различных зон опытных отливок.

Анализ результатов проведенных исследований показал, что при изготовлении экспериментальных отливок непрерывным заполнением полости литейной формы через разветвленные в разные стороны от общего стояка литниковые системы, дифференциацию структуры и свойств в различных зонах или частях отливок получить практически невозможно.

Причиной этому, как свидетельствуют результаты предварительных экспериментов на прозрачных физических моделях [7], а также на опытных чугунных отливках является гидродинамическое и конвективное перемешивание потоков жидкого металла, который поступает в полость формы через разные каналы литниковых систем. Интенсивное перемешивание расплава, а также диффузионное перераспределение модифицирующих добавок, приводит к усреднению и выравниванию химического состава по всему объему отливок, что, в свою очередь, способствует формированию относительно однородной литой структуры и, как следствие, получению одинаковых свойств металла в объеме отливке.

Так, при заполнении полости литейной формы исходным жидким чугуном доэвтектического состава (БЧ) через разветвленную в разные стороны от общего стояка литниковую систему, которая разделяет расплав на два потока, один из которых направляется в левую часть полости формы без обработки, а второй – в правую часть с обработкой в промежуточной реакционной камере графитизирующим модификатором ФС75 отливка кристаллизовалась из серого чугуна с однородной структурой, состоящей из пластинчатого графита прямоугольной формы ПГф1 с равномерно распределенным в плоскости шлифа ПГр1, относительной площадью включений ПГ6 при длине пластин ПГд45–ПГд90. Микроструктура перлитно-ферритная (П55Ф45). Твердость по сечению отливки составляет 185–200 НВ (рис. 3).

Поэтому, на следующем этапе исследований для предотвращения взаимного гидродинамического и конвективного перемешивания разнородных чугунов в общей литейной форме до начала затвердевания отливок в рабочую полость формы вдоль базовой оси симметрии перед сборкой и заливкой литейной формы исходным жидким чугуном была установлена разделительная механическая перегородка из оцинкованной листовой стали (рис. 4).

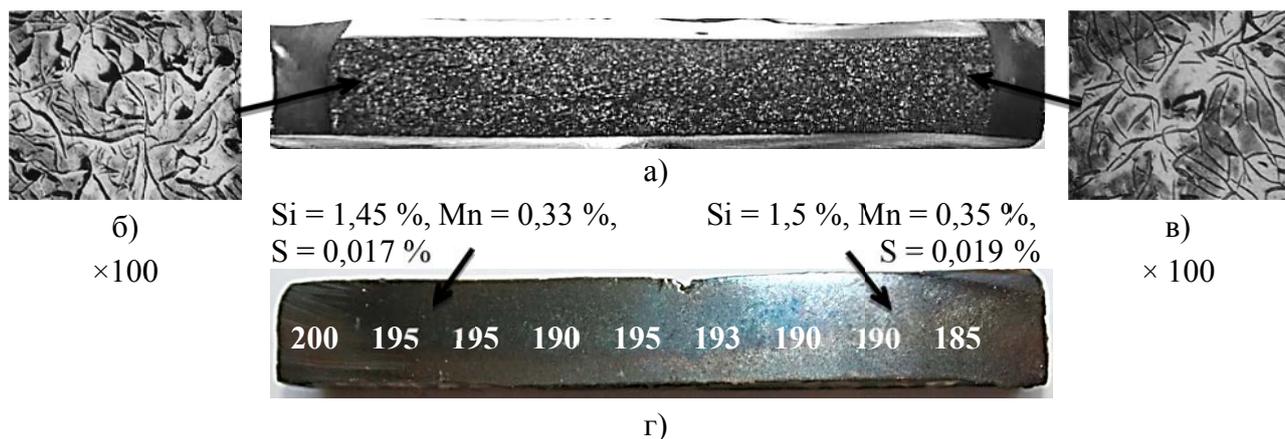


Рис. 3. Цвет излома (а), микроструктура в левой (б) и правой (в) частях и твердость (г) в различных участках поперечного сечения экспериментальной отливки



Рис. 4. Общий вид литейной формы с перегородкой

Как свидетельствуют результаты проведенных экспериментальных исследований, как при заливке исходного жидкого чугуна доэвтектического состава (БЧ), так и при заливке расплава базового чугуна близкого к эвтектическому составу (СЧ) по предложенным технологическим вариантам, наличие стальной перегородки обеспечивает дифференциацию структуры и свойств в разных частях отливки при условии, что до конца затвердевания отливки перегородка сохраняет свою целостность, но в то же время надежно сваривается с половинками отливки.

Иллюстрацией выше сказанного может служить полученная двухсторонняя отливка из исходного базового серого чугуна с обработкой одного потока расплава в реакционной камере карбидостабилизирующим модификатором НМг19, и другого потока сфероидизирующим модификатором VL63M, состоящая в левой части (половинке) из белого чугуна с перлитно-цементитной структурой с содержанием цементита Ц40 и занимаемой площадью Цп6000, а в правой части (половинке) – из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом правильной формы ШГф5, с диаметром включений ШГд45, равномерно распределенным в поле шлифа ШГр1, количеством ШГ6 в перлитно-ферритной металлической матрице (П55Ф45). В центральной части такой отливки сформировалась переходная зона с плотным соединением разнородных чугунов со стальной перегородкой (рис. 5).

Дифференциация структуры левой и правой частей (половинок) представленной отливки вызвана неоднородностью химического состава разнородных чугунов и влечет за собой разницу в твердости левой и правой частей отливки, которая составляет 100–180 НВ (рис. 5).

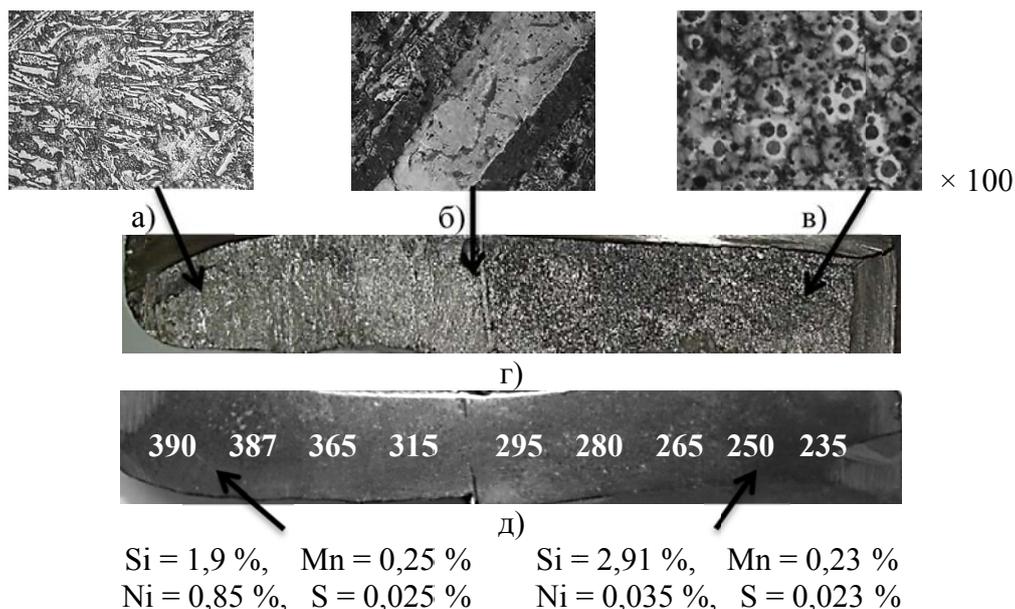


Рис. 5. Микроструктура в левой половине (а), переходной зоне (б), правой половине (в) отливки, цвет излома (г) и твердость (д) в различных участках поперечного сечения отливки

## ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе предложен и исследован способ получения двухсторонних чугуновых отливок с дифференцированной структурой и свойствами в левой и правой частях (половинках), получаемых из одного базового расплава с использованием технологии модифицирования чугуна в литейной форме. Способ является перспективным для изготовления чугуновых отливок различной номенклатуры, работающих в условиях безударно-абразивного или ударно-абразивного износа взамен стальных отливок, например, из стали 110Г13Л или других высоколегированных сталей, а также легированных специальных чугунов, что позволит значительно сократить расход дефицитных и дорогостоящих легирующих элементов и снизить себестоимость литья.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лузан П. П. Основные направления исследований в области получения отливок с дифференцированными физико-механическими свойствами / П. П. Лузан // Многослойное литье : сб. науч. трудов. – Киев : ИПЛ АН УССР, 1970. – С. 3–18.
2. Позняк Л. А. Основные направления производства литых биметаллов / Л. А. Позняк, Г. Д. Костенко, А. А. Снежко // Литье биметаллических изделий : сб. науч. трудов. – Киев : ИПЛ АН УССР, 1976. – С. 3–15.
3. Фесенко М. А. Внутриформенное модифицирование для получения чугуновых отливок с дифференцированной структурой и свойствами / М. А. Фесенко, А. Н. Фесенко, В. А. Косячков // Литейное производство. – 2010. – № 1. – С. 7–13.
4. Патент № 3196 Україна, 7С21С1/00. Спосіб модифікування чавуну / Косячков В. О., Макаревич О. П., Агєєв К. В., Денисенко Д. В., Сич М. С. – № 2004042551 ; заявл. 06.04.2004 ; опубл. 15.10.04, Бюл. № 10.
5. Влияние типа модификатора на структуру высокопрочного чугуна с шаровидным графитом при литье по газифицируемым моделям / А. П. Макаревич [и др.] // Металл и Литье Украины. – 2005. – № 1–2. – С. 20–22.
6. 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.
7. Косячков В. А. Использование метода внутриформенного модифицирования расплава для получения отливок с дифференцированными свойствами / В. А. Косячков, М. А. Фесенко, А. Н. Фесенко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – 2007. – № 3 (9). – С. 123–127.