

УДК 621.74

Фесенко А. Н., Фесенко М. А., Корсун В. А., Мисько В. К.**ПОЛУЧЕНИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ОТЛИВОК ИЗ БАЗОВОГО РАСПЛАВА ЧУГУНА СПОСОБОМ ПРОМЫВКИ**

В процессе эксплуатации оборудования, механизмов и машин отдельные их детали и даже разные части одной детали чаще всего испытывают нагрузки различного характера, что обуславливает различные, часто противоречивые, требования к ним. Обеспечить такие требования в большинстве случаев позволяет замена монометаллических деталей биметаллическими и многослойными с дифференцированными свойствами в отдельных их частях или слоях. При применении деталей с разными, иногда взаимно исключаящими физико-механическими и эксплуатационными свойствами, кроме всего прочего, достигается повышение эффективности использования металла, снижение металлоемкости, экономия дефицитных конструкционных материалов, а также уменьшение расхода дорогостоящих и дефицитных легирующих элементов при одновременном сохранении или даже повышении эксплуатационных характеристик оборудования, механизмов и машин.

Для изготовления изделий с дифференцированными свойствами в настоящее время разработано и применяется на практике целый ряд способов [1, 2], каждый из которых имеет свои особенности, обладает определенными преимуществами и недостатками, и имеет наиболее рациональные области применения. Особый интерес представляют наиболее универсальные методы получения таких деталей непосредственно из жидкого металла [2–4]. Разновидностями способов, которые сравнительно широко применяются при производстве двухслойных прокатных валков и других подобных изделий в стационарных формах, являются методы промывки и полупромывки, которые включают предварительное заполнение стационарной литейной формы чаще всего склонным к кристаллизации с отбелом легированным чугуном, выдержку залитого расплава в форме до окончания кристаллизации и формирования твердого износостойкого внешнего рабочего слоя отливки определенной толщины, и последующую заливку через сифонную литниковую систему жидкого металла сердцевины, чаще всего серого чугуна, который вытесняет из внутренней (осевой) части отливки белый легированный чугун, который не закристаллизовался [5].

Однако, несмотря на ряд преимуществ указанных методов перед другими, существенным недостатком их является необходимость использования двух различных по химическому составу и свойствам расплавов, что требует установки двух плавильных агрегатов для их выплавки, а это, в свою очередь, влечет за собой увеличение капиталовложений, усложнение технологического процесса, увеличение себестоимости литья, а также требует четкой синхронизации процессов подготовки разных расплавов и последовательной заливки их в литейную форму. Кроме того, в отдельных случаях на практике технологический процесс получения отливки путем промывки или полупромывки еще больше усложняется предварительной, до заливки в литейную форму, обработкой расплава первой, второй или же обеих порций легирующими, модифицирующими, рафинирующими или другими добавками для получения в отливке заданных структуры и свойств металла и повышения эксплуатационных характеристик изделий [6–10].

Целью данной работы является разработка и исследование новых способов, которые позволяют без установки дополнительного оборудования и без применения сложных специальных приспособлений и устройств получать двухслойные отливки (в первую очередь прокатные валки и им подобные детали) с заданными дифференцированными структурой и свойствами металла в наружном (поверхностном) рабочем слое и во внутреннем опорном слое (сердцевине) из одного базового расплава.

В представленной работе разработаны и исследованы новые способы получения из базового расплава чугуна осесимметричных двухслойных чугунных отливок, наружный слой которых имеет структуру и свойства белого, половинчатого с включениями цементита или серого с пластинчатым графитом чугуна, в то время как внутренний слой обладает структурой и свойствами пластичного высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Суть предложенных способов заключается в предварительном заполнении литейной формы исходным базовым расплавом без модифицирования или же базовым расплавом, подвергнутым дополнительной карбидостабилизирующей модифицирующей обработке в литейной форме в процессе ее заливки, выдержке залитого расплава в форме до окончания кристаллизации и формирования внешнего рабочего слоя отливки определенной толщины с заданной структурой и свойствами, и последующей заливке через сифонную литниковую систему для промывки литейной формы того же базового расплава, который в процессе заливки в форму подвергается внутриформенной обработке сфероидизирующей и графитизирующей твердой добавкой и который вытесняет из внутренней (осевой) части отливки залитый на первом этапе расплав, который не закристаллизовался.

Модифицирование расплава базового чугуна в литейной форме осуществляется путем размещения расчетного количества мелкодисперсного порошкообразного, зернистого, гранулированного или брикетированного модификатора, лигатуры, или другой добавки в специальной полости – проточной реакционной камере литниковой системы на пути движения расплава к отливке. При этом ввод модифицирующих зернистых добавок с целью интенсификации их растворения может производиться также с помощью газифицируемой модели или размещением добавки в специальной газифицируемой оболочке, которую вставляют в литейную форму при сборке формы, и которая выполняет роль промежуточной проточной реакционной камеры, где в процессе заливки протекает перемешивание и взаимодействие расплава с частицами добавки [11–13].

Внутриформенная обработка расплава вследствие легирующего или модифицирующего влияния добавки или отдельных ее компонентов (химических элементов или веществ), приводит к формированию иной структуры, а следовательно и к изменению свойств металла, из которого формируется внешний рабочий слой отливки, по сравнению со структурой и свойствами исходного базового расплава, или базового расплава после внутриформенной обработки при заливке другой добавкой, которым промывают форму и из которого формируется центральная область отливки, благодаря чему достигается дифференциация структуры и свойств металла во внешнем рабочем и внутреннем опорном слоях отливки.

Для подтверждения возможности практической реализации предложенных новых способов получения отливок с дифференцированными структурой и свойствами в наружном рабочем слое и в опорном (монтажном) внутреннем слое методом промывки из одного базового расплава, а также с целью выявления основных закономерностей формирования двухслойных отливок с дифференцированными свойствами в разных слоях и особенностей их структурообразования, в лаборатории кафедры технологии и оборудования литейного производства Донбасской государственной машиностроительной академии были проведены натурные экспериментальные исследования.

Учитывая технологические возможности, и, в первую очередь, плавильного оборудования, в качестве объекта исследований была выбрана отливка «Цилиндр» диаметром 100 мм и высотой 150 мм, которая должна иметь структуру и свойства твердого износостойкого белого чугуна, половинчатого чугуна или серого чугуна с пластинчатым графитом во внешнем слое и высокопрочного чугуна с шаровидным графитом во внутреннем опорном слое (в осевой зоне) отливки. Экспериментальную отливку (рис. 1, а) получали по схеме, представленной на рис. 1, б, для чего разовую литейную форму, изготовленную из песчано-глинистой формовочной смеси, в которую при формовке вставлялась стальная гильза с толщиной стенки 10 мм, которая выполняла роль металлического кокиля для ускоренного охлаждения

наружных слоев отливки (рис. 1, в), заливали в два этапа. Сначала, на первом этапе заливку литейной формы проводили ручным поворотным разливным ковшом конического типа сверху базовым (исходным) чугуном доэвтектического состава (БЧ). Залитый металл выдерживали в литейной форме в течении 15 с для кристаллизации расплава в поверхностном слое отливки и формирования поверхностного слоя определенной толщины. После выдержки через сифонную литниковую систему в литейную форму снизу подавали вторую порцию (промывочную) расплава такого же базового чугуна, который на пути движения по литниковой системе к отливке для получения в центральной зоне отливки структуры и свойств высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) подвергался внутриформенной обработке зернистой сфероидизирующей добавкой (СМ) ФСМГ7 с размерами частиц 1,5...2,5 мм, размещенной в специальной проточной реакционной камере литниковой системы на пути движения потока расплава к отливке. Промывочный расплав после модифицирования, поступая снизу в отливку, вытеснял из центральных областей (зон) расплав первой порции, который не закристаллизовался, замещая его.

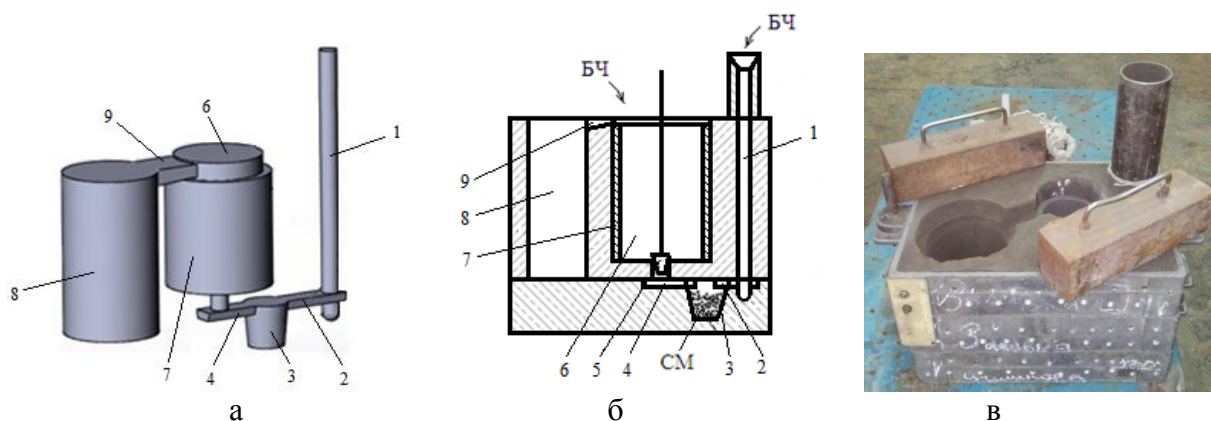


Рис. 1. 3D-модель экспериментальной отливки с литниковой системой (а), технологическая схема (б) и внешний вид (в) формы в сборе :

1 – стояк; 2 – входной канал; 3 – проточная реакционная камера; 4 – выходной канал; 5 – пробка; 6 – отливка; 7 – стальная гильза (кокиль); 8 – полость для промывочного расплава (сливная емкость); 9 – сливной канал

Базовый чугун выплавляли в индукционной высокочастотной тигельной печи типа ИСТ-0,016 на шихте, состоящей из 60% литейного чушкового чугуна и 40% стального лома. Химический состав выплавленного базового чугуна представлен в табл.1. Расплав первой порции чугуна заливался при температуре $1350 \pm 20^\circ \text{C}$, второй промывочной порции – при температуре $1400 \pm 20^\circ \text{C}$.

Таблица 1

Химический состав исходного базового чугуна

Материал	Содержание химических элементов, % (масс.)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
Исходный чугун	2,74	1,65	0,29	0,029	0,022	0,05	0,03	0,04

После полного затвердевания отливки и ее охлаждения в литейной форме до температуры окружающей среды, литейная форма разрушалась и отливка очищалась от остатков формовочной смеси. Общий вид полученной экспериментальной отливки в стальной гильзе-кокиле с литниково-модифицирующей системой представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид экспериментальной отливки с литниково-модифицирующей системой

Из полученной отливки на половине ее высоты вырезали диск толщиной 20 мм, из которого путем шлифования и полирования приготавливали макрошлиф. После изучения макрошлифа и определения твердости по Бринеллю в разных его точках диск разбивался на две примерно равные части для изучения характера излома и изготовления образцов для исследования микроструктуры и химического состава металла в разных точках поперечного сечения отливки.

Макроструктура оценивалась визуально, под бинокулярным стереоскопическим микроскопом типа МБС, а также путем сканирования на сканере поверхности макрошлифа в исходном не травленном состоянии, а также после травления поверхности макрошлифа 4%-ным раствором HNO_3 . Характер излома оценивался визуально, микроструктурные исследования для оценки графита проводились на нетравленных микрошлифах, металлическая основа чугуна оценивалась на микрошлифах после их травления 4%-ным раствором HNO_3 . Оценка графита и металлической основы осуществлялась в соответствии с ГОСТ 3443-87 под металлографическими микроскопами типа МеF 3 и МИМ-8М с фиксацией на цифровую камеру. Содержание углерода и серы в металле образцов определялось на анализаторе типа CS-230, содержание остальных элементов – на оптическом эмиссионном спектрометре «Specrtolab LAVFCO1F».

Как показал визуальный осмотр макрошлифа, на большей части его плоскости, за исключением осевых зон, наблюдается плотное строение металла, без каких-либо видимых дефектов. На плоскости макрошлифа, особенно после травления, и на изломе полученной отливки четко выявляются две характерных структурных зоны: поверхностная зона толщиной 7,0...8,0 половинчатого и серого чугуна, а также зона серебристого цвета высокопрочного чугуна в центральной области отливки.

Исходный чугун (по микрошлифу образца, вырезанного со средней по высоте части стояка $\varnothing 25\text{мм}$) имеет структуру, характерную для серого чугуна с пластинчатым графитом с сеткой остаточного цементита и эвтектики (рис. 3), что обусловлено пониженным в нем содержанием углерода. Структура исходного чугуна в соответствии с ГОСТ 3443-87 оценивается баллами: ПГф1-Гд45-ПГр9-ПГ4-П92(Ф8)- Ц4-Цп2000.

Микроструктура в поперечном сечении на половине высоты экспериментальной отливки, определенная по микрошлифам образцов, вырезанных из различных мест отливки, характеризуется следующим образом.

Наружный (поверхностный) слой отливки, затвердевающий из исходного базового чугуна в контакте с металлической гильзой-кокилем, имеет структуру, свойственную белым и половинчатым чугунам (рис. 4, а) и состоит из продуктов распада первичных кристаллов аустенита и ледебуритной эвтектики. По мере удаления от поверхности отливки наблюдается появление мелких частиц графита и увеличение их количества, а ближе к зоне сплавления (рис. 4, б) формируется структура, аналогичная структуре исходного чугуна, которая по ГОСТ 3443-87 оценивается такими же баллами, как и для исходного чугуна. Твердость серого чугуна вблизи зоны сплавления составляет 170...185 НВ.



Рис. 3. Микроструктура образца исходного чугуна:
 I – не травленный микрошлиф; II – микрошлиф после химического травления

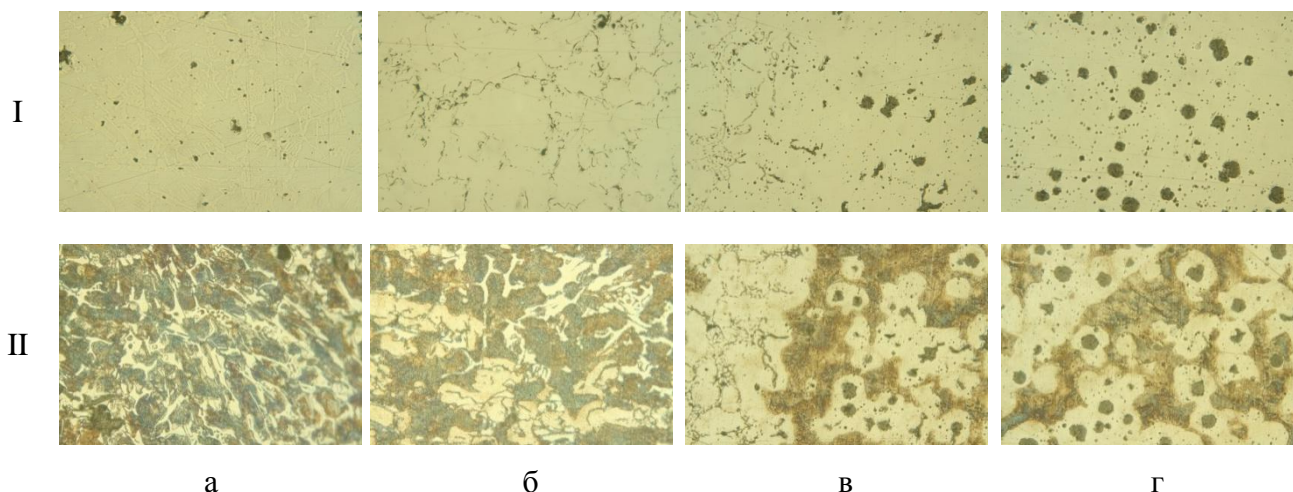


Рис. 4. Микроструктура образцов у поверхности (а), на расстоянии 5 мм от поверхности (б), в переходной зоне (в зоне сплавления) (в) и в центре (г) отливки:
 I – не травленный микрошлиф; II – микрошлиф после химического травления

В зоне сплавления двух порций в структуре наблюдается переход от серого чугуна с пластинчатым графитом до высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (рис. 4, в). В центральной зоне отливки, которая формировалась из расплава, модифицированного в реакционной камере сифонной литниковой системы лигатурой ФСМг7, образовалась типичная для высокопрочного чугуна с шаровидным графитом перлитно-ферритного класса микроструктура (рис. 4, г), которая оценивается баллами ШГф4-ШГф5-ШГд25-ШГр1-ШГ6-П85(Ф15)-ФЭЗ-ФЭр1-ФЭп2000 вблизи зоны сплавления и баллами ШГф4-ШГф5-ШГд25-ШГд45-ШГр1-ШГ6-П70(Ф30) – в осевой зоне отливки. При этом вокруг графитных включений наблюдается формирование ферритной оторочки и при переходе от периферии к оси отливки незначительное укрупнение шаровидных включений графита и увеличение количества феррита в металлической матрице высокопрочного чугуна. Твердость высокопрочного чугуна в центральной зоне отливки находится на уровне 150-160 НВ.

Химический состав чугуна проб, вырезанных из наружного слоя и центральной зоны экспериментальной отливки приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав чугуна проб, вырезанных из разных частей экспериментальной отливки

№ п/п	Место вырезки пробы	Содержание элементов, % (масс.)								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mg
1	Наружный слой отливки	2,73	1,61	0,29	0,028	0,023	0,05	0,03	0,04	-
2	Центр (ось) отливки	2,49	2,13	0,27	0,026	0,023	0,05	0,02	0,03	0,034

ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе разработан и исследован новый способ получения из одного базового расплава чугуна осесимметричных отливок с дифференцированными структурой и свойствами в наружном рабочем слое и в центральных зонах отливки. Экспериментальными исследованиями подтверждена возможность практической реализации предложенного нового способа для изготовления конкретных отливок. Из исходного базового доэвтектического чугуна получена двухслойная отливка со структурой и свойствами белого половинчатого чугуна в наружном слое и пластичного высокопрочного чугуна с шаровидным графитом во внутреннем опорном слое. Использование предлагаемого способа устраняет необходимость выплавки и предварительной подготовки двух разнородных сплавов и обеспечивает упрощение технологического процесса получения двухслойных отливок и снижение себестоимости литья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Позняк Л. А. Основные направления производства литых биметаллов / Л. А. Позняк, Г. Д. Костенко, А. А. Снежко // Сб. «Литье биметаллических изделий». – ИПЛ АН УССР, Киев, 1976. – С. 3–15.
2. Технологические особенности производства биметаллических (многослойных) отливок повышенной износостойкости / В. В. Ширяев, О. А. Пеликан, И. О. Шинский, Д. В. Глушков, Ю. Н. Романенко // *Металл и литье Украины*. – 2009. – №7-8. – С. 52–55.
3. Лузан П.П. Основные направления исследований в области получения отливок с дифференцированными физико-механическими свойствами / П. П. Лузан // *Многослойное литье*. – Киев, 1970. – С. 3–18.
4. Теплофизические особенности процессов получения биметаллических отливок на основе сплавов железа / Г. Д. Костенко [и др.] // *Литейное производство*. – 2003. – № 9. – С. 19.
5. Кривошеев А.Е. Литые валки: Теоретические и технологические основы производства. – М: Металлургия, 1957. – 360 с.
6. Авторское свидетельство СССР №1284662 А1. В22 D25/00. Способ получения двухслойных чугунных валков / Гольдштейн Л.Б., Балаклея И.А., Рудницкий А.Л. и др. – Заявл. 17.04.1985. – Опубл. 23.01.1987, Бюл. №3, 1987 г.
7. Авторское свидетельство СССР №1337191 СССР, В22D25/06. Способ получения чугунных двухслойных прокатных валков // Гольдштейн Л.Б., Балаклея И.А. и др. заявл. 13.01.86; опубл. 15.09.87, Бюл. №34, 1987 г.
8. Авторское свидетельство СССР №1540935 А1. В22 D27/00. Способ получения двухслойных прокатных валков / В.И. Комяков, О.В. Пузырьков-Уваров, В.А. Рямов и др. – Заявл. 08.12.1987. – Опубл. 07.02.1990, Бюл. №5, 1990 г.
9. Авторское свидетельство СССР №1565575 А1. В22 D19/00. Способ отливки двухслойных прокатных валков / В. Т. Калинин, В. И. Комяков, О. В. Пузырьков-Уваров, и др. – Заявл.16.06.1987. – Опубл. 23.05.1990, Бюл. № 19, 1990 г.
10. Авторское свидетельство СССР №1585067 А1. В22 D27/00. Способ отливки двухслойных чугунных прокатных валков / Л.Б. Гольдштейн, Р.Л. Билярчик, И.А. Балаклея и др. – Заявл. 11.07.1988. – Опубл. 15.08.1990, Бюл. №30, 1990 г.
11. Патент № 13632 U, В22D27/00. Спосіб обробки чавуну в ливарній формі / Фесенко А. М., Фесенко М. А. Заявл. 26.09.2005, опубл. 17.04.2006. Бюл. № 5, 2006 р.
12. Патент № 13646 U, В22D27/00. Спосіб обробки рідкого металу в ливарній формі // Фесенко А. М., Фесенко М. А. Заявл. 03.10.2005, опубл. 17.04.2006. Бюл. № 5, 2006 р.
13. Патент № 46486 U 2009 06686, В22D 27/00. Спосіб обробки рідкого металу // Фесенко А. М., Фесенко М. А. Заявл. 25.06.2009, опубл. 25.12.2009. Бюл. № 24, 2009 р.