

УДК 669.15

DOI:10.35211/1990-5297-2023-7-278-69-71

*Ю. В. Гребнев, В. Ф. Жаркова, Д. Ю. Гребнев
Н. И. Габельченко, П. Д. Киселев, С. С. Млинский*

**ВЫПЛАВКА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЧУГУНА
В ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ С КИСЛОЙ ФУТЕРОВКОЙ**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: mitlp@vstu.ru

Рассматривалась возможность снижения затрат на производство высокопрочного чугуна путем выплавки исходного низкоуглеродистого расплава в электродуговой печи с кислой футеровкой с последующим науглероживанием и силицированием отходом возвратной шихты производства карбида кремния.

Ключевые слова: карбид кремния, синтетический чугун, отход возвратной шихты, горячебрикетированное железо, электродуговая печь.

Yu. V. Grebnev, V. F. Zharkova, D. Yu. Grebnev, N. I. Gabelchenko, P. D. Kiselev, S. S. Mlinsky

**SMELTING OF HIGH-QUALITY CAST IRON IN AN ELECTRIC
ARC FURNACE WITH ACID LINING**

Volgograd State Technical University

The possibility of reducing the cost of producing high-strength cast iron by smelting the initial low-carbon melt in an electric arc furnace with an acidic furnace with subsequent carburization and silicification by waste of the return charge of silicon carbide production was considered.

Keywords: silicon carbide, synthetic cast iron, return charge waste, hot-briquetted iron, electric arc furnace.

Введение

По данным Российской ассоциации литейщиков [1] литые заготовки в Российской Федерации в основном производятся в небольших литейных цехах объемом производства не более 10 000 тонн годных отливок в год. Основные требования к подобным цехам – это возможность производства широкой номенклатуры, качественных отливок из различных сплавов с использованием ограниченного набора оборудования, с минимальными затратами на производство. При выполнении этих взаимоисключающих требований постоянно возникают технические противоречия. Для частичного разрешения этих противоречий была разработана технология производства высокопрочного чугуна в электродуговой печи ДСП-5м с использованием в качестве науглероживателя и легирующего компонента отходов производства карбида кремния. Футеровка дуговой печи кислая, так как в ней выплавляются углеродистые и низколегированные стали и серый чугун. Производство высокопрочного чугуна составляет не более 5 % от общего объема выплавки железоуглеродистых сплавов. Перефутеровка печи основными огнеупорами для получения высокопрочного чугуна марок ВЧ40 ... ВЧ60 на основе рафинированных железоуг-

леродистых расплавов признана экономически нецелесообразной.

В работе [2] описана технология эффективного применения отработанных абразивных карбидокремниевых кругов для получения расплавов высококачественных синтетических чугунов, которые возможно использовать для последующего модифицирования на высокопрочный чугун. Недостатками предложенной технологии, ограничивающими ее эффективность, являются следующие факторы:

1. Необходимость проведения процесса десульфурации, который возможен только в электродуговой печи с основной футеровкой при повышенном расходе электроэнергии и вспомогательных материалов.

2. Необходимость дополнительного науглероживания расплава.

3. Ограниченность ресурсов, содержащих карбид кремния.

Для повышения экономической эффективности процесса производства расплава синтетического чугуна было предложено проводить плавку в электродуговой печи с кислой футеровкой с использованием в шихте материалов, содержащих минимальное количество вредных технологических примесей – серы и фосфора. В качестве науглероживателя и легирующего

кремнием материала использовался отход возвратной шихты (ОВШ) процесса производства карбида кремния.

Химический состав ОВШ находится в следующих пределах:

30–40 % SiC; 30–35 % C;
35–40 % SiO₂; S – следы.

Образование ОВШ в ОАО «Волжский абразивный завод» достигает 1000 тонн в год. ОВШ вывозится для хранения на полигон промышленных отходов.

В качестве шихтовых материалов, содержащих минимальное количество вредных примесей, были выбраны следующие компоненты:

1. Стальной лом, покупаемый непосредственно в подразделениях ОАО РЖД: рельсы; колесные пары; рамы боковые; балки наддрессорные; автосцепки. Содержание серы и фосфора в металле этих изделий не превышает 0,04 % каждого.

2. Горячебрикетированное железо (ГБЖ) Лебединского ГОКа. Химический состав ГБЖ:

до 90 % Fe; 1,0–2,5 % C;
≤0,02 % S; ≤0,02 % P.

В ГБЖ также отмечается очень низкое содержание примесей цветных металлов.

Существенным недостатком ГБЖ является содержание в брикетах до 10 % оксидов железа, кремния и других химических элементов.

В настоящее время из-за санкций, которые Евросоюз ввел в отношении России, в металлургической промышленности стоимость ГБЖ снижается и приближается к стоимости качественного стального лома.

Методика работы и результаты исследования

Целью работы было снижение затрат на производство высокопрочного чугуна путем выплавки исходного низкоуглеродистого расплава в электродуговой печи с кислой футеровкой с последующим науглероживанием и силицированием отходом возвратной шихты производства карбида кремния.

В ходе экспериментальных работ было проведено восемнадцать плавов по двум вариантам шихтовок. Характеристики экспериментальных плавов сравнивались с характеристиками контрольных плавов, выполненных по действующей технологии. Составы шихты для экспериментальных и контрольных плавов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Составы шихты для выплавки синтетического чугуна

Наименование шихтового материала	Содержание материала в шихте плавов, %		
	Эксперимент № 1	Эксперимент № 2	Контроль
Лом стальной углеродистый марки 2А	-	3,6	68,2
Лом покупаемый в ОАО «РЖД»	71	-	-
Возврат собственного производства	27,5	27,5	27,5
ГБЖ	-	35,9	-
Ферросилиций ФС65	0,2	0,3	3,8
Ферромарганец ФМн78	0,8	1,1	1,1
ОВШ (сверх 100 %)	11	11	-
Стружка электродная (сверх 100 %)	-	-	3,3

ОВШ в ходе экспериментов загружался на подину печи в виде брикетов Ø120×100 мм. Брикетировались на стержневой встряхивающей машине. В качестве связующего использовалось жидкое стекло в количестве 5–6 %. После формовки брикеты отверждались в сушиле при температуре 180–220 °С в течение 50–60 минут.

Одновременно с брикетами на подину загружался известняк флюсовый в количестве 3,5 % к весу металлической шихты.

Таким образом, усвоение углерода и кремния из ОВШ начиналось уже на этапе плавления металлической шихты, что позволяло экономить технологическое время и электроэнергию.

Сравнительный анализ «хода» экспериментальных и контрольных плавов показал следующие закономерности:

1. Продолжительность экспериментальных плавов по двум вариантам шихтовок на 23 минуты меньше, чем продолжительность контрольных плавов. Науглероживание и силици-

рование расплава брикетами из ОВШ протекает в процессе расплавления шихты, что позволяет экономить технологическое время и, соответственно, электроэнергию.

2. Снижение расхода электроэнергии на тонну жидкого металла в экспериментальных плавках составило:

вариант шихтовки № 1 с использованием железнодорожного лома – 21 кВт/час;

вариант шихтовки № 2 с использованием ГБЖ – 17 кВт/час.

3. Достигнуто снижение расхода ферросплавов на тонну жидкого металла:

вариант № 1: ферросилиция ФС65 – 36 кг; ферромарганца ФМн78–3 кг;

вариант № 2: ферросилиция ФС65 – 35 кг.

4. Отмечен повышенный угар углерода в экспериментальных плавках, что легко компенсируется дополнительными присадками брикетов ОВШ. Себестоимость брикетов определяется стоимостью транспортировки исходного материала и затратами на изготовление брикетов. Себестоимость одной тонны брикетов составляет 1530 рублей.

5. В экспериментальных плавках отмечено повышенное образование шлака на тонну жид-

кого металла по сравнению с плавками, выполненными по действующей технологии:

вариант № 1 – на 28 кг;

вариант № 2 – на 43 кг.

6. Химический состав металла плавов, проведенных по двум вариантам экспериментальных шихтовок, полностью соответствует требованиям к расплавам для последующего модифицирования на высокопрочный чугун. Содержание серы во всех восемнадцати плавках не превышает 0,03 %. В контрольных плавках, выполненных по действующей технологии, содержание серы находится в пределах 0,05–0,07 %.

После получения заданного химического состава расплав разогревался до температуры 1420–1440 °С и сливался в стендовый ковш, в котором проводилось модифицирование методом «Сэндвич». В качестве модификатора использовалась лигатура «Сферомат-8» в количестве 1,8 % от массы жидкого металла. Дополнительно для повышения эффекта модифицирования в расплав вводилась редкоземельная лигатура ФС30РЗМ30.

Результаты механических испытаний модифицированного чугуна приведены в табл. 2.

Таблица 2

Механические свойства чугуна после модифицирования

Вариант выплавки чугуна	Предел прочности на растяжение σ_B , МПа	Твердость, НВ
Эксперимент № 1	450–520	180–240
Эксперимент № 2	450–540	180–240
Контроль*	300–430	170–260

* Приведены результаты испытаний 10 плавов. Металл одной из плавов был забракован по причинам: «недомодифицирование», наличие в микроструктуре «черных пятен» и низких механических свойств. Содержание серы в металле этой плавки 0,078 %.

Заключение

Сравнительный анализ расхода шихтовых материалов, «хода» экспериментальных и контрольных плавов, результатов механических испытаний позволяет сделать следующие выводы:

1. Отход возвратной шихты производства карбида кремния является полноценным заменителем ферросилиция и науглероживателей при выплавке высококачественного синтетического чугуна.

2. Из двух предложенных экспериментальных вариантов плавки наиболее эффективным является процесс выплавки синтетического чугуна с использованием в шихте железнодорожного лома и брикетов из отхода возвратной шихты.

3. Себестоимость тонны жидкого чугуна, выплавленного с использованием в шихте железнодорожного лома и брикетов из отхода возвратной шихты ниже, чем чугуна, выплавленного по действующей технологии, на 4200 рублей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дибров, И. А. Литейное производство – прогресс машиностроения / И. А. Дибров // Литейщик России. – 2019. – № 8. – С. 13–23.
2. Выплавка синтетического чугуна с использованием материалов, содержащих карбид кремния / Ю. В. Гребнев, В. Ф. Жаркова, Д. Ю. Гребнев, А. И. Габельченко // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 7 (266) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Металлургия»). – С. 94–97.