

## РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО И ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ПЛАВКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОХРОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНОГО ВОССТАНОВИТЕЛЯ

*Е.Н. Акимов*

## CALCULATIONS OF MATERIAL AND HEAT BALANCE OF LOW-CARBON FERROCHROMIUM MELT WITH THE USE OF COMPLEX REDUCING AGENT

*E.N. Akimov*

Выполнен расчет материального и теплового балансов плавки низкоуглеродистого феррохрома марки ФХ010 с содержанием фосфора ниже 0,015 % при использовании комплексного восстановителя (кремния и алюминия).

При соотношении комплексного восстановителя алюминия и ФХС48 1 : 1 получается металл с содержанием фосфора менее 0,015 %. В результате расчета теплового баланса установлено, что использование комплексного восстановителя приводит к уменьшению расхода электроэнергии на 23 %.

*Ключевые слова:* материальный баланс, тепловой баланс, низкоуглеродистый феррохром.

Calculations of material and heat balance of melt of low-carbon ferrochromium FeChS48 (with content of phosphorus lower than 0.015 %) and complex reducing agent (silicon and aluminium) are carried out.

At the 1 : 1 ratio of aluminium complex reducing agent and FeChS48 the metal is obtained with phosphorus content lower than 0.015 %. As a result of heat balance calculations it is established that the use of complex reducing agent leads to 23 % decrease of electricity consumption.

*Keywords:* material balance, heat balance, low-carbon ferrochromium.

В ходе опытных плавов, проведенных на ОАО «ЧЭМК», установлено, что для получения низкоуглеродистого феррохрома с низким содержанием фосфора целесообразна частичная замена ферросиликохрома алюминием. Металл, полученный по опытной технологии, содержит менее 0,015 % фосфора [1].

При силикотермическом восстановлении хромовой руды расход электроэнергии составляет от 145 до 180 кВт · ч на 100 кг шихты. По результатам опытных плавов с использованием комплексного восстановителя (алюминия и кремния) расход электроэнергии равен 114,8 кВт · ч.

Целью данной работы является расчет материального и теплового балансов плавки низкоуглеродистого феррохрома марки ФХ010 с содержанием фосфора ниже 0,015 % при использовании комплексного восстановителя. Задачи расчета материального баланса заключаются в определении расхода алюминия для получения содержания фосфора в металле менее 0,015 % и данных для расчета теплового баланса. Задача расчета теплового баланса – определение расхода электрической энергии.

При расчете материального баланса использовали методику Ф.П. Еднерала и А.Ф. Филиппова [2].

Химический состав шихтовых материалов приведен в табл. 1

В расчете приняли, что степень восстановления хрома из руды – 85 %, железа из руды – 98 %, потери металла с корольками – 14 %, полезное использование алюминия – 80 %, из общего количества фосфора, вносимого шихтой, 87 % переходит в сплав, заданная основность шлака (CaO/SiO<sub>2</sub>) – 1,7.

Результаты расчетов материального баланса производства низкоуглеродистого феррохрома с использованием комплексного восстановителя представлены в табл. 2.

Установлено, что при соотношении комплексного восстановителя алюминия и ФХС48 1 : 1 получается металл следующего химического состава: Cr – 71,82 %, Si+Al – 1,5 %, P – менее 0,015 %.

Для расчета теплового баланса использовали теплофизические характеристики материалов, тепловые эффекты реакций [3] и результаты расчета материального баланса. В приходной части теплового баланса учитывали физическое тепло шихты, тепло экзотермических реакций, тепло, вносимое электроэнергией. В расходной части – теплосодержание металла и шлака, потери поверхности печи и с отходя-

Таблица 1

## Химический состав шихтовых материалов

Сырье	Состав, %							
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	P	ППП*
Хромовая руда	50,0	12,0	6,90	19,39	7,76	0,06	0,0016	3,89
Известь		0,10	0,10	1,60	0,20	98,0	0,004	–
	Cr	Si	C	Fe	Al		P	
ФХС48	26,25	51,0	0,02	22,71			0,027	–
Алюминий				1,0	99,0		0,001	–

\* ППП – потери при прокаливании.

Таблица 2

Материальный баланс производства низкоуглеродистого феррохрома  
с использованием комплексного восстановителя

Задано, кг		Получено, кг	
Хромовой руды	100,0	Металла (с учетом королек)	45,217
ФСХ	12,941	Шлака	116,71
Извести	36,450		
Кислорода воздуха	6,78	Летучих из руды	3,89
Алюминия	13,177	Улет	0,001
Всего	169,348	Всего	165,818
		Невязка	3,53

щими газами. Результаты расчетов тепловых балансов производства низкоуглеродистого феррохрома с использованием ферросиликохрома и комплексного восстановителя представлены в табл. 3 и 4.

Расчетный расход электроэнергии при производстве низкоуглеродистого феррохрома с исполь-

зованием комплексного восстановителя на 100 кг шихты и 1 тонну сплава равен 107,6 и 2380 кВт·ч, а с использованием ферросиликохрома – 171,1 и 2940 кВт·ч соответственно.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что расчет выполнен корректно, так как рас-

Таблица 3

## Тепловой баланс производства низкоуглеродистого феррохрома с использованием ферросиликохрома

Приход, %		Расход, %	
Физическое тепло шихты + + тепло окисления С (электродов)	4,1	Теплосодержание металла	11,5
Тепло экзотермических реакций: восстановления, шлакообразования, горения избытка восстановителя	30,7	Теплосодержание шлака	71,4
Тепло, вносимое электроэнергией	65,2	Потери поверхности печи	7,5
		Потери с отходящими газами	9,6
Всего	100	Всего	100

Таблица 4

Тепловой баланс производства низкоуглеродистого феррохрома  
с использованием комплексного восстановителя

Приход			Расход		
	МДж	%		МДж	%
Физическое тепло шихты + + тепло окисления С (электродов)	3,1	2,33	Теплосодержание металла	11,692	8,78
Тепло экзотермических реакций: восстановления, шлакообразования, горения избытка восстановителя	28,364 18,212 24,61	53,46	Теплосодержание шлака	82,283	61,79
Тепло, вносимое электроэнергией	58,879	44,22	Потери поверхности печи	11,838	8,89
			Потери с отходящими газами	27,352	20,54
Всего	133,165	100	Всего	133,165	100

---

ход электроэнергии в расчетах и опытных плавках практически совпадает.

Низкий расход электроэнергии по сравнению с классической технологией объясняется использованием алюминия. В тепловом балансе показано, что в зависимости от используемого восстановителя изменяются значения вносимого тепла экзотермических реакции и электроэнергии. Кроме того, расход электроэнергии при использовании алюминия снижается на 23 % на 1 тонну сплава.

Таким образом, выполнены расчеты материального и теплового баланса плавки низкоуглеродистого феррохрома марки ФХ010 с частичной заменой восстановителя на алюминии. При соотношении комплексного восстановителя алюминия и ФХС48 1:1 получается металл с содержанием

фосфора менее 0,015 %. В результате расчета теплового баланса установлено, что использование комплексного восстановителя приводит к уменьшению расхода электроэнергии на 23 %.

#### **Литература**

1. Воронов, Ю.И. Особенности выплавки низкоуглеродистого феррохрома с низким содержанием фосфора / В.Н. Карноухов, Е.Н. Акимов // *Электromеталлургия*. – 2011. – № 1. – С. 4–6.

2. Еднерал, Ф.П. Расчеты по электротермии стали и ферросплавов / Ф.П. Еднерал, А.Ф. Филиппов – М.: *Металлургиздат*, 1956 – 189 с.

3. Юренева, В. Н. *Теплотехнический справочник* / В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева. – М.: *Энергия*, 1976 – 896 с.

**Поступила в редакцию 25 июня 2012 г.**