

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 400-летию города Новокузнецка

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2017»

15 – 16 ноября 2017 г.

Труды
XX Международной научно-практической конференции
Часть 2

Новокузнецк
2017

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия

академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор М.В. Темлянец, д.т.н., профессор А.В. Феоктистов,
д.т.н., профессор Г.В. Галевский, д.ф.-м.н., профессор В.Е. Громов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., профессор Н.А. Козырев,
к.т.н., профессор С.Г. Коротков, к.т.н., доцент С.В. Фейлер

М 540 **Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2 / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. – 474 с., ил.**

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и технологии производства, обработки и сварки металлов, энергоресурсосбережения, рециклинга и экологии в металлургии.

Конференция проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-08-20433.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Кемеровской области

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

АО «Русал Новокузнецк»

АО «Кузнецкие ферросплавы»

ОАО «Черметинформация»

Издательство Сибирского отделения РАН

Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»

Журнал «Вестник СибГИУ»

Журнал «IOP conference series: materials science and engineering»

ОАО «Кузбасский технопарк»

Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук

Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	4
КОНВЕРТЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ: СОСТОЯНИЕ, ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ПРОГНОЗЫ	4
Протопопов Е.В., Кузнецов С.Н., Фейлер С.В., Ганзер Л.А., Калиногорский А.Н. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ	9
Протопопов Е.В., Числавлев В.В., Фейлер С.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАВКИ МАРГАНЦА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО	14
Рожихина И.Д., Нохрина О.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СООТНОШЕНИЯ ЧУГУНА И МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА В ШИХТЕ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ	18
Уманский А.А., Думова Л.В. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧИ СЫРЬЯ (АПС).....	23
Григорьев В.Г., Тепикин С.В., Кузаков А.А. Пьянкин А.П., Тимкина Е.В., Пинаев А.А. О ГРАФИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ	29
Кулаков С.М., Мусатова А.И., Кадыков В.Н. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАНАДИЯ В СИСТЕМЕ $V_2O_5 - C - Si$	35
Голодова М.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Рыбенко И.А. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	39
Уманский А.А., Думова Л.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ НА АГРЕГАТЕ «КОВШ-ПЕЧЬ» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ	44
Уманский А.А., Козырев Н.А., Бойков Д.В., Думова Л.В. ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МАРГАНЦА В ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ	48
Дмитриенко В.И., Протопопов Е.В., Дмитриенко А.В., Носов Ю.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗБРЫЗГИВАНИЯ ШЛАКА В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ.....	51
Синельников В.О., Калиш Д., Шуцки М. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НА УКП ОСНОВНЫХ БОРСОДЕРЖАЩИХ ШЛАКОВ – ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ КОВШЕВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	56
Бабенко А.А., Жучков В.И., Смирнов Л.А., Сычев А.В., Сельменских Н.И., Уполовникова А.Г. НЕРАВНОВЕСНЫЕ ДИССИПАТИВНЫЕ СТРУКТУРЫ И УПРАВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА В СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ АГРЕГАТЕ	61
Цымбал В.П., Сеченов П.А., Рыбенко И.А., Оленников А.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫСОТЫ ВАННЫ РУДОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ	67
Кравцов К.И. ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АЛЮМИНИЯ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «АЛЮМИНЦИК».....	71
Мартусевич Е.А., Буинцев В.Н. ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА «ИНЖИНИРИНГ МЕТАЛЛУРГИЯ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ШИРОКОГО КРУГА ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ	75
Рыбенко И.А. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСИ В КРИСТАЛЛИЗАТОР МНЛЗ.....	82
Гусев А.А., Царуш К. А., Лицин К.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР И СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ	85
Сеченов П.А., Цымбал В.П.	

печить достижение центральных и периферийных ручьев практически одновременно – (121) с. и (126) с. для центральных и периферийных ручьев, соответственно.

Библиографический список

1. О структуре течений жидкого металла в гидродинамическом поле ограниченного пространства промежуточного ковша МНЛЗ / А.С. Эльдарханов, Л.Х.-А. Саипова, М.Р. Нахаев [и др.] // *Металлургия машиностроения*. – 2017. – № 4. – С. 13-16.
2. Ефимов, В.А. Технологии современной металлургии / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов – М.: Новые технологии, 2004. – 784 с.
3. Фейлер, С.В. Лабораторно-экспериментальный комплекс для изучения процессов гидродинамики при непрерывной разливке стали / С.В. Фейлер, В.В. Числавлев // *Современные вопросы теории и практики обучения в вузе : сборник научных трудов*. – Новокузнецк: СибГИУ, 2015 – Вып. 18. – С. 62-72.

УДК 669.168

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАВКИ МАРГАНЦА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО

Рожихина И.Д., Нохрина О.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, rojihina_id@mail.ru*

Аннотация: В работе с использованием математической модели спрогнозированы параметры технологии выплавки марганца металлического алуминотермическим способом из марганцевого концентрата химического обогащения с использованием синтезированного монофазного материала CaMnO_3 .

Ключевые слова: молярные доли, коэффициенты активности, металл-восстановитель, алюминий, марганец металлический, монофазный материал.

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ALUMINOTHERMIC SMELTING OF MANGANESE METAL

Rozhikhina I.D., Nokhrina O.I.

*State Siberian Industrial University
Novokuznetsk, Russia, rojihina_id@mail.ru*

Abstract: In this work using mathematical model to predict the parameters of the technology of smelting manganese metal by aluminothermic method from manganese concentrate of chemical enrichment with the synthesized single phase material CaMnO_3 .

Key words: mole fraction, coefficients of activity, a metal-reducing agent, the aluminium, manganese metal, single-phase material.

Для выплавки марганца металлического алуминотермическим способом необходимо использовать высококачественное марганцевое сырье [1]. Для обеспечения требуемого ГОСТ 6008-80 химического состава марганца металлического таким сырьем являются пероксидные марганцевые руды [2] или пердельные малофосфористые марганцевые шлаки [3].

Концентрат химического обогащения, имеющий в своем составе минимальное содержание примесей (Fe_2O_3 до 0,1 %, Р до 0,009 %, 0,5 – 1,2 % SiO_2 , S – следы, менее 2 % CaCl_2), может являться подходящим исходным материалом для получения металлического марганца алуминотермическим процессом [4, 5].

При выплавке марганца металлического алуминотермическим способом возникает проблема наиболее эффективного использования дефицитных и дорогостоящих высококачественных марганцевых руд и порошка вторичного алюминия. Основными характеристиками эффективности внепечного процесса, несомненно, являются степень извлечения компонентов в сплав, химический состав сплава и сопутствующего шлака, кратность шлака.

Сделана попытка аналитически определить кратность шлака и оптимальный состав шлаковой

фазы при алюминотермической выплавке марганцевого сплава заданного состава. Остальные характеристики процесса могут быть определены на базе этих величин. При этом использовались уравнения, полученные путем обработки эмпирических данных по внепечной алюминотермической плавке комплексных сплавов с марганцем и титаном [6]:

$$c[\text{Me}'] = \frac{c[\text{Me}']^{\frac{n}{x}} \cdot c(\text{Me}'_x\text{O}_y)^{\frac{1}{x}} \cdot \gamma[\text{Me}']^{\frac{2n}{x}} \cdot \gamma(\text{Me}'_x\text{O}_y)^{\frac{2}{x}}}{c(\text{Me}''_n\text{O}_y)^{\frac{1}{x}} \cdot \gamma[\text{Me}']^2 \cdot \gamma(\text{Me}''_n\text{O}_y)^{\frac{2}{x}} \cdot \exp\left(\frac{\Delta G_T^0}{x \cdot R \cdot T}\right)}, \quad (1)$$

где: $c[\text{Me}']$ и $c[\text{Me}'']$ – молярная доля восстанавливаемого металла и металла-восстановителя в металлическом расплаве соответственно;

$c[\text{Me}'_x\text{O}_y]$ и $c[\text{Me}''_n\text{O}_y]$ – молярная доля оксидов восстанавливаемого металла и металла-восстановителя в шлаковом расплаве соответственно;

$\gamma[\text{Me}']$ и $\gamma[\text{Me}']$ – коэффициенты активности восстанавливаемого металла и металла-восстановителя в металлическом расплаве соответственно;

$\gamma(\text{Me}'_x\text{O}_y)$, $\gamma(\text{Me}''_n\text{O}_y)$ – коэффициенты активности оксидов восстанавливаемого металла и металла-восстановителя в шлаковом расплаве соответственно;

ΔG_T^0 – стандартное изменение энергии Гиббса реакции металлотермического восстановления, Дж;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · К);

T – температура процесса, К.

Для реакции восстановления монооксида марганца алюминием коэффициенты x и n в уравнении (1) будут соответственно равны 1 и 2. Температура процесса, измеренная непосредственно в лабораторных условиях при восстановлении 1 кг марганцеворудного концентрата, составила примерно 2300 К. Стандартное изменение энергии Гиббса реакции алюминотермического восстановления монооксида марганца при данной температуре рассчитывалось по данным [6].

Таким образом, уравнение (1) принимает следующий вид:

$$c[\text{Mn}] = \frac{c[\text{Al}]^2 \cdot c(\text{MnO}) \cdot \gamma[\text{Al}]^4 \cdot \gamma(\text{MnO})^2 \cdot 10^6}{1,016 \cdot c(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot \gamma[\text{Mn}]^2 \cdot \gamma(\text{Al}_2\text{O}_3)^2}. \quad (2)$$

Аналогично были получены уравнения для реакций алюминотермического восстановления монооксида железа и диоксида кремния. Они соответственно имеют следующий вид:

$$c[\text{Fe}] = \frac{c[\text{Al}]^2 \cdot c(\text{FeO}) \cdot \gamma[\text{Al}]^4 \cdot \gamma(\text{FeO})^2 \cdot 10^{17}}{4,265 \cdot c(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot \gamma[\text{Fe}]^2 \cdot \gamma(\text{Al}_2\text{O}_3)^2}, \quad (3)$$

$$c[\text{Si}] = \frac{c[\text{Al}]^4 \cdot c(\text{SiO}_2) \cdot \gamma[\text{Al}]^8 \cdot \gamma(\text{SiO}_2)^2 \cdot 10^9}{3 \cdot c(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot \gamma[\text{Si}]^2 \cdot \gamma(\text{Al}_2\text{O}_3)^2}. \quad (4)$$

Высокопроцентный марганцевый сплав, полученный алюминотермическим способом, может быть в первом приближении описан системой Mn-Fe-Al-Si. При этом шлаковая фаза представляет собой систему MnO-Al₂O₃-SiO₂-FeO-CaO-MgO-Na₂O-K₂O-BaO. Коэффициенты в уравнениях были получены в результате статистической обработки данных опытных плавов металлического марганца:

$$\ln \gamma[\text{Mn}] = -0,033 \cdot \frac{c[\text{Fe}]}{c[\text{Mn}]} + 1,058 \cdot \frac{c[\text{Al}]}{c[\text{Mn}]} + 0,171 \cdot \frac{c[\text{Si}]}{c[\text{Mn}]}, \quad (5)$$

$$\ln \gamma[\text{Fe}] = -0,424 \cdot \frac{c[\text{Mn}]}{c[\text{Fe}]} + 5,252 \cdot \frac{c[\text{Al}]}{c[\text{Fe}]} - 2,278 \cdot \frac{c[\text{Si}]}{c[\text{Fe}]}, \quad (6)$$

$$\ln \gamma[\text{Al}] = 0,11 \cdot \frac{c[\text{Fe}]}{c[\text{Al}]} - 0,112 \cdot \frac{c[\text{Mn}]}{c[\text{Al}]} + 0,105 \cdot \frac{c[\text{Si}]}{c[\text{Al}]}, \quad (7)$$

$$\ln \gamma[\text{Si}] = -2,845 \cdot \frac{c[\text{Fe}]}{c[\text{Si}]} + 1,362 \cdot \frac{c[\text{Mn}]}{c[\text{Si}]} + 28,135 \cdot \frac{c[\text{Al}]}{c[\text{Si}]}, \quad (8)$$

$$\ln \gamma(\text{MnO}) = 0,104 \cdot \frac{c(\text{Al}_2\text{O}_3)}{c(\text{MnO})} - 0,292 \cdot \frac{c(\text{SiO}_2)}{c(\text{MnO})} + 0,176 \cdot \frac{c(\text{FeO})}{c(\text{MnO})} + 0,176 \cdot \frac{\Sigma(c)}{c(\text{MnO})}, \quad (9)$$

$$\ln \gamma(\text{SiO}_2) = -0,802 \cdot \frac{c(\text{Al}_2\text{O}_3)}{c(\text{SiO}_2)} + 0,465 \cdot \frac{c(\text{FeO})}{c(\text{SiO}_2)} + 0,465 \cdot \frac{c(\text{MnO})}{c(\text{SiO}_2)} + 0,465 \cdot \frac{\Sigma(c)}{c(\text{SiO}_2)}, \quad (10)$$

$$\ln \gamma(\text{FeO}) = -1,733 \cdot \frac{c(\text{Al}_2\text{O}_3)}{c(\text{FeO})} + 3,262 \cdot \frac{c(\text{SiO}_2)}{c(\text{FeO})} - 0,668 \cdot \frac{c(\text{MnO})}{c(\text{FeO})} - 0,668 \cdot \frac{\Sigma(c)}{c(\text{FeO})}, \quad (11)$$

$$\ln \gamma(\text{Al}_2\text{O}_3) = -0,071 \cdot \frac{c(\text{SiO}_2)}{c(\text{Al}_2\text{O}_3)} + 0,052 \cdot \frac{c(\text{FeO})}{c(\text{Al}_2\text{O}_3)} + 0,052 \cdot \frac{c(\text{MnO})}{c(\text{Al}_2\text{O}_3)} + 0,052 \cdot \frac{\Sigma(c)}{c(\text{Al}_2\text{O}_3)}, \quad (12)$$

где: $\Sigma(c)$ – суммарная молярная концентрация CaO, MgO, BaO, Na₂O и K₂O в шлаке.

Так как молярный состав сплава обычно известен или может быть рассчитан, то уравнения (2) - (12) могут быть сведены в систему, содержащую тринадцать неизвестных. Такая система не может быть однозначно решена. Для получения однозначного решения предложены следующие дополнительные уравнения:

$$\sum c \approx 1 - c(\text{Al}_2\text{O}_3) - c(\text{SiO}_2) - c(\text{MnO}) - c(\text{FeO}), \quad (13)$$

$$K_{\text{шл}} = \frac{N_{\text{шл}} \cdot [102 \cdot c(\text{Al}_2\text{O}_3) + 60 \cdot c(\text{SiO}_2) + 71 \cdot c(\text{MnO}) + 72 \cdot c(\text{FeO}) + 81 \cdot \Sigma(c)]}{55 \cdot c[\text{Mn}] + 56 \cdot c[\text{Fe}] + 27 \cdot c[\text{Al}] + 28 \cdot c[\text{Si}]}, \quad (14)$$

где: $K_{\text{шл}}$ – кратность шлака;

$N_{\text{шл}}$ – количество шлака, моль.

$$1 = c[\text{Al}] + c[\text{Si}] + c[\text{Mn}] + c[\text{Fe}]. \quad (15)$$

Таким образом, можно получить систему из четырнадцати уравнений (в том числе и нелинейных) с пятнадцатью неизвестными. Недостающее уравнение может быть получено либо на основании каких-либо дополнительных технологических требований, либо аналогично уравнениям (2) - (4) для любой из следующих реакций:



Эта система уравнений была решена с использованием программы MathCAD при следующих условиях:

- состав KXO, %: 87 Mn₃O₄, 7 CaO, 4,0 CaCl₂, 0,3 SiO₂, 0,1 Fe₂O₃, S – следы, P₂O₅ – следы;
- монофазный материал CaMnO₃: ~ 40 % CaO, ~ 60 % MnO₂;
- алюминиевый порошок;
- состав марганца металлического.

В результате расчета был получен оптимальный состав шлаковой фазы, % масс.: 6,0 – 8,2 MnO, 35,5 – 40,0 CaO, 50,0 – 58,0 Al₂O₃, 0,5 – 1,5 SiO₂, 2,8 – 4,8 CaCl₂, 0,08 – 0,20 FeO, следы P, 0,015 – 0,05 S, которому соответствует оптимальное соотношение концентрата химического обогащения (KXO) и монофазного материала (CaMnO₃) – $\frac{KXO}{CaMnO_3} = \frac{6,5 - 7,5}{2,5 - 3,5}$. Кратность шлака 2,2 – 2,7.

На основании термического анализа и данных математического моделирования была разработана технология выплавки марганца металлического, включающая предварительную подготовку шихтовых материалов с целью получения синтетического материала, который содержит высший оксид марганца MnO₂ и одновременно является эффективным флюсом.

Ранее были установлены оптимальные условия получения твердых растворов оксидов кальция и марганца, в том числе CaMnO₃ [7].

Применение монофазного материала CaMnO₃ в качестве шихтовой составляющей при алюминотермической плавке металлического марганца позволяет увеличить термичность процесса, а, следовательно, увеличить извлечение марганца из концентрата в среднем до 90 %.

Шихта состояла из концентрата химического обогащения, продукта синтеза и алюминиевого порошка. Плавку вели в горне с верхним запалом. В результате опытных плавов был получен металл, химический состав которого приведен в таблице 1.

Из полученных результатов видно, что химический состав сплава соответствует требованиям ГОСТ 6008-80.

Необходимо отметить, что металлический марганец отличается низким содержанием вредных примесей – фосфора и серы, а содержание железа не превышает 1 % [8].

Извлечение марганца из концентрата составило в среднем 90 %.

Таблица 1 – Химический состав опытного металла

№ плавки	Состав металла, масс. %						Содержание MnO в шлаке, %	Извлечение Mn, %
	Mn	Al	Si	Fe	S	P		
1	96,89	0,81	0,45	0,88	0,004	0,006	7,24	90,70
2	97,00	0,75	0,38	0,83	0,002	0,006	6,15	90,11
3	97,12	0,73	0,40	0,74	0,003	0,005	6,01	91,16
4	96,78	0,68	0,58	0,97	0,004	0,004	8,15	87,68
5	96,84	0,83	0,64	0,91	0,004	0,006	7,35	89,89

Кратность шлака – 2,30 – 2,65.

Температуру расплава замеряли в ходе экспериментов, она составляла ~ 2300 – 2373 К (при оптимальном соотношении $\frac{KXO}{\text{монофазный материал}} = \frac{6,5 - 7,5}{2,5 - 3,5}$).

Сквозное извлечение марганца при выплавке марганца металлического из концентрата химического обогащения, полученного по разработанной технологии обогащения карбонатных руд кальций-хлоридным способом составило 85,3 – 89,3 %, что значительно превышает извлечение марганца при выплавке марганца металлического алюминотермическим внепечным процессом из пероксидных марганцевых руд, которое составляет 69 – 72 %, и находится на уровне извлечения марганца при использовании КХО при выплавке марганца металлического с использованием электронагрева [2, 3].

В результате опытных плавов был получен шлак состава, масс. %:

MnO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaCl ₂	FeO	P	S
6,1-8,15	36,0-38,1	51,2-56,8	0,6-1,3	3,2-6,4	0,1-0,4	следы	0,02-0,03

Этот шлак практически не содержит вредных примесей, оксидов железа и кремния и может быть использован в качестве синтетического шлака для обработки стали в ковше, а также этот шлак может быть использован в строительной индустрии для получения цементов.

Полезное использование алюминия составляет 94 – 96 %.

Таким образом, полученные результаты лабораторных алюминотермических плавов марганца металлического согласуются с прогнозными данными технологических параметров алюминотермической плавки марганца металлического.

Библиографический список

1. Алюминотермия / Под ред. Н.П. Лякишева, Ю.Л. Плинера, Г.Ф. Игнатенко, С.И. Лаппо – М.: Металлургия, 1978. – 424 с.
2. Елютин В.П. Производство ферросплавов / В.П. Елютин, Ю.А. Левин, Б.Е. Павлов и др. – М.: Металлургиздат, 1957. – 256 с.
3. Пат. 223347 РФ МПК C22C33/04. Способ производства металлического марганца / Коршунов Е.А., Тарасов А.Г., Шариков В.Н. и др. - № 2002124665/02, заявл. 16.09.2002, опубл. 27.07.2004. БИ.
4. А.с. № 1225871 СССР, МКИ C22B47/00 Способ выплавки металлического марганца. Н.В. Толстогузов, И.А. Селиванов. – № 3784537/22-02; заявл. 25.08.84; опубл. 23.04.86, Бюл. № 15.
5. А.с. № 1235962 СССР, МКИ C22B47/00 Способ выплавки металлического марганца. Н.В. Толстогузов, И.А. Селиванов. – № 3812806/22-02; заявл. 17.08.84; опубл. 07.06.86, Бюл. № 21.
6. Сафонов А.В. Равновесие «металл-шлак» алюминотермических процессов получения сплавов с титаном и марганцем / А.В. Сафонов [и др.] // Тр. междунар. науч.-практ. конф. / Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк: 2006. – Т. 1. – С. 39-43.
7. Рожихина И.Д. Исследование процесса синтеза кальциймарганецсодержащих материалов / И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, Г.М. Тираков, Г.Л. Борщевская – Известия вузов. Черная металлургия – 2008. - № 10 – С. 27-31.
8. Рожихина И.Д. Получение металлического марганца из высококачественного марганцевого концентрата / И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина – Сталь – 2008.-№ 7 – С.58-60.

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2017»

Труды XX Международной научно-практической конференции

Часть 2

Под общей редакцией профессора Е.В. Протопопова

Технический редактор	В.Е. Хомичева
Компьютерная верстка	Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 23.10.2017 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 27,6 Уч.-изд. л. 30,0 Тираж 300 экз. Заказ № 521

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ