

Сборник докладов

девятого международного конгресса

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И МИНЕРАЛЫ

Председатели Оргкомитета Конгресса:
чл.-корр. РАН, проф., д.т.н. Г.Л. Пашков
проф., д.х.н. П.В. Поляков
проф., д.т.-м.н. В.А. Макаров



Krasnoyarsk
Russia

2017

Book of papers

of the ninth international congress

NON-FERROUS METALS & MINERALS

Congress Organizing Committee Chairmen:
Gennadiy L. Pashkov
Peter V. Polyakov
Vladimir A. Makarov

Данные с e-library

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И МИНЕРАЛЫ - 2017

Сборник докладов Девятого международного конгресса

Тип: сборник трудов конференции Язык: русский ISBN: 978-5-906314-69-7

Год издания: 2017 Число страниц: 1398

Издательство: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-инновационный центр" (Красноярск)

УДК: 669.2.8

КОНФЕРЕНЦИЯ:

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И МИНЕРАЛЫ - 2017

Красноярск, 11-15 сентября 2017 г.

АННОТАЦИЯ:

В сборнике опубликованы материалы международного конгресса «Цветные металлы и минералы - 2017». В нем приводится информация о новейших технических решениях и последних научных достижениях в мировой металлургической промышленности. Сборник предназначен для инженеров, магистров, менеджеров и технологов металлургической промышленности, специалистов в области охраны природы, профессорско-преподавательского состава вузов, аспирантов и студентов старших курсов.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛА ДАВЛЕНИЕМ

- РАССЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО
ЛИТЬЯ-ПРЕССОВАНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ719
А.Г. Иванов, Ю.В. Горохов, Е.Н. Пузин, П.А. Удод
- ПРАКТИЧЕСКАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЗАГОТОВКИ С ИНСТРУМЕНТОМ В ПРОЦЕССАХ ХОЛОДНОГО
ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ727
А.Н. Абрамов, Э.И. Фахретдинова, Г.И. Рааб
- ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ПЛАКИРУЮЩЕГО СЛОЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
ДЕФОРМАЦИИ ПО СЕЧЕНИЮ СЛИТКА735
В.В. Яшин, Э.Д. Беглов, Е.В. Арышевский, И.А. Латушкин
- ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ
ШТАМПОВКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА745
И.О. Астрашабов, И.Л. Константинов, И.Ю. Губанов

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПОРОШКОВ
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ751
И.Ю. Михайлов, В.А. Королев, А.Г. Евгенов
- ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТСЕВОВ ПРОИЗВОДСТВА
АДДИТИВНЫХ ПОРОШКОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ГАЗООБРАЗОВАТЕЛЕЙ
И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ756
*А.В. Гаршев, В.И. Путляев, И.В. Колесник, П.В. Евдокимов, А.К. Петров,
А.В. Четвертухин, С.В. Заботнов, Л.А. Головань, А.А. Грунин, А.А. Федянин*

РАЗДЕЛ VI. ЭЛЕКТРОТЕРМИЯ КРЕМНИЯ, ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

- ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРАКТИКА ВЕДЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ
ПЛАВКИ КРЕМНИЯ762
К.С. Ёлкин
- ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ БРИКЕТОВ ИЗ ПОЛУКОКСА БУРОГО УГЛЯ
В ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ769
Д.К. Ёлкин, М.К. Тимофеев, Д.В. Дресвянский, А.А. Молякко, К.С. Ёлкин
- ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ774
О.И. Нохрина, И.Д. Рожихина, И.Е. Ходосов
- ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ КВАРЦА И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА
ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАВКИ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ779
Н.Н. Зобнин
- О ТЕХНОЛОГИЯХ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА АЛЮМИНИЕВО-КРЕМНИЕВЫХ СПЛАВОВ787
Д.К. Ёлкин, С.В. Кошкин, А.А. Молякко, М.К. Тимофеев, К.С. Ёлкин
- ИСПЫТАНИЯ УГОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ
ИЗ АНТРАЦИТОВ ВИТРИНОВОГО ТИПА790
Д.К. Ёлкин, Д.В. Дресвянский, А.А. Молякко, К.С. Ёлкин
- ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШЛАКОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ РАФИНИРОВАНИИ
ТЕХНИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ794
*Д.К. Ёлкин, И.Д. Рожихина, И.Е. Ходосов, А.Е. Бусько, А.А. Молякко,
М.К. Тимофеев, К.С. Ёлкин*
- АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗ В ШЛАКЕ, ОБРАЗУЮЩЕМСЯ
ПРИ РАФИНИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ797
А.Е. Бусько, Т.Т. Ферреферова

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ

О.И. Нохрина, И.Д. Рожихина, И.Е. Ходосов

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Введение

Наряду с рудной составляющей основным компонентом при производстве ферросплавов является углеродистый восстановитель. Анализ современного состояния сырьевой базы углеродистых восстановителей для производства ферросплавов выявил проблему, которая является актуальной на сегодняшний день и отражается в ощутимом дефиците металлургического кокса [1, 2]. Потенциально возможное наращивание объемов производства усугубляет нехватку кокса, что неизбежно приводит к росту сырьевых проблем. Для решения этих проблем постоянно ведется поиск новых углеродистых восстановителей – заменителей кокса. Одними из таких альтернативных коксу восстановителей могут быть энергетические угли, используемые без предварительной термической обработки в электротермическом производстве.

На кафедре металлургии черных металлов СибГИУ были проведены исследования влияния физико-химических свойств углей разных марок на процессы восстановления марганца, кремния и железа из оксидов, входящих в состав марганцевой руды, кварцита и железной руды.

Материалы

В экспериментах использовали коксовую мелочь и угли Кузбасса: уголь бурый марки Б2; уголь длиннопламенный марки Д; уголь тощий марки Т. Выбранные марки углей отличаются своими физико-химическими характеристиками и условиями метаморфизма [3, 4]. Результаты технического анализа восстановителей приведены в таблице 1, состав золы восстановителей – в таблице 2.

Таблица 1.

Технический анализ восстановителей

Восстановитель	Характеристика			
	C_{fix}	A^d	V^{daf}	W^r
Уголь марки Б2	49,1	7,83	42,1	24,7
Уголь марки Д	55,6	5,64	36,2	10,4
Уголь марки Т	76,3	8,34	9,34	5,1
Коксовая мелочь	84,4	12,3	2,1	1,2

Таблица 2.

Химический состав золы восстановителей

Восстановитель	Химический состав, %						
	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	SiO_2	P_2O_5	S
Уголь марки Б2	10,30	5,40	45,30	5,90	26,90	0,20	0,68
Уголь марки Д	8,17	25,60	9,70	3,70	50,00	1,80	0,61
Уголь марки Т	16,40	25,00	5,38	1,66	47,90	0,75	0,16
Коксовая мелочь	13,12	23,72	5,15	1,76	47,81	0,69	0,02

Эффективность использования энергетических углей в качестве углеродистых восстановителей связана с процессами их термического разложения. При этом на основе технических характеристик и химического состава невозможно предугадать характер процесса термического разложения. В связи с этим были проведены лабораторные исследования процессов термического разложения исследуемых марок углей. Исследования показали, что процесс протекает в две основные стадии: стадия I – удаление гигроскопической и коллоидносвязанной влаги; стадия II – резкое изменение массы угля, вызванное выделением продуктов газификации угля (рисунок 1).

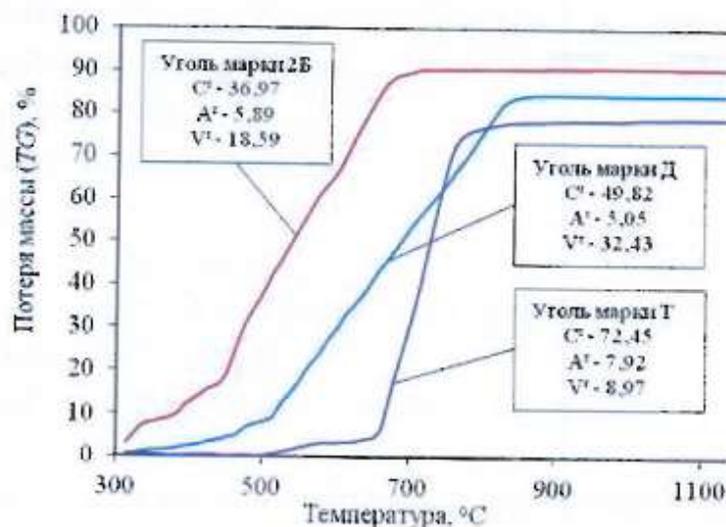


Рис. 1. Изменение массы углей от температуры при нагреве в печи термоанализатора

Из полученных данных следует, что II-я стадия для бурого угля начинается при температуре 443 К, то есть на 60 градусов ниже, чем термическое разложение длиннопламенного угля, и на 210 градусов ниже чем тощего. Количество газообразных продуктов, выделяющихся при термическом разложении бурого угля, существенно больше, чем при разложении длиннопламенного и тощего. Потеря массы бурого угля составила 90,6 %; длиннопламенного – 84,5 %; тощего – 78,3 %. Процесс термического разложения длиннопламенного угля протекает менее интенсивно в сравнении с остальными рассматриваемыми марками углей. Анализ газов, выделяющихся при термическом разложении углей (таблица 3) показал, что газовая фаза углей преимущественно состоит из H₂. Наибольшее количество H₂ содержится в газовой фазе бурого угля, а наибольшее количество CO содержится в газовой фазе коксовой мелочи и длиннопламенного угля.

Таблица 3.

Состав газа при нагреве восстановителя до 1173 К

Восстановитель	Состав газа, %					
	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	O ₂	N ₂
Уголь марки Б2	11,47	6,09	75,59	6,63	0,22	–
Уголь марки Д	10,73	16,03	66,01	4,86	2,36	–
Уголь марки Г	2,21	13,55	72,67	3,85	0,82	6,89
Коксовая мелочь	29,52	53,38	11,59	3,96	1,55	–

Лабораторные исследования

Изучение процессов твердофазного восстановления железа из оксидов гематит-магнетитовой руды (состав, %: $Fe_{общ}$ – 52,3; SiO_2 – 19,15; Al_2O_3 – 3,13; P_2O_5 – 0,072; S – 0,42) проводили с использованием в качестве восстановителей углей указанных марок. По результатам установлено, что при восстановительном обжиге рудоугольных композиций при температурах 1273–1473 К и времени 60 мин. возможно получение металлизированных материалов с содержанием $Fe_{мет}$ 82–85 %, SiO_2 10–12 %, Al_2O_3 3,2–3,9 %, S 0,75–0,125 % [5]. При этом количество угля в рудоугольной смеси должно соответствовать недостатку относительно стехиометрически необходимого по реакции: $Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO$, равному 0,8. При металлизации также важно обеспечивать высокий восстановительный потенциал газовой фазы в печи, для достижения чего необходимо осуществлять подачу горячих продуктов термического разложения углей. Уголь подвергается безкислородному нагреву при температурах 873–1073 К в результате чего образуются газообразные продукты его термического разложения. Для нагрева угля возможно использование перегретого пара полученного при рекуперации тепла отходящих газов, образующихся при восстановительном обжиге.

По результатам исследования установлено, что угли с более низкой степенью метаморфизма и высоким содержанием летучих (бурый, длиннопламенный) обладают более высокими восстановительными свойствами при твердофазном восстановлении железа из оксидов, при этом для бурого угля характерно высокое содержание минеральной части, в состав которой входят оксиды кальция. Зольный остаток бурого угля участвует в образовании первичных шлаковых фаз, в результате чего при температуре более 1523 К происходит замедление восстановительных процессов и слипание окатышей с образованием спеков. Изучение процессов образования шлаковых фаз при твердофазном восстановлении железа из оксидов, позволило установить некоторую закономерности данных процессов. Определено, что активное образование первичных шлаковых фаз происходит при повышении температуры металлизированного материала, в котором соотношение между оксидами кремния и оксидами недовосстановленного железа находится в диапазоне 0,3–0,4 [6].

В рамках исследований для оценки влияния газовой фазы углеродсодержащих материалов была проведена серия экспериментов по бесконтактному восстановлению марганцевой руды Селезенского месторождения (состав, %: $Mn_{общ}$ – 37; $Fe_{общ}$ – 11; Al_2O_3 – 1,25; SiO_2 – 15,5; CaO – 2,03; P_2O_5 – 0,11). В графитовый тигель, на дне которого находился восстановитель фракции 5 мм, помещали образец предварительно отшлифованной марганцевой руды на молибденовую решетку, расположенную на расстоянии 1 см от восстановителя. Тигель устанавливали в предварительно разогретую печь сопротивления с угольным трубчатым нагревателем и выдерживали в течение 10 мин при 1073 К. Для полученных образцов проводили структурный и рентгенофазовый анализы.

Результаты анализов показали, что использование энергетических углей без их предварительной термической обработки положительно влияет на восстановление элементов из оксидов исследуемой марганцевой руды. Продукты термического разложения углей смещают процесс восстановления высших оксидов марганца в зону более низких температур [7].

Механизм восстановления кремния из диоксида кремния кварцита существенно отличается от механизма восстановления марганца. При изучении факторов, влияющих на степень восстановления компонентов из оксидов кварцита, было установлено, что при частичной замене кокса длиннопламенными или бурыми углями увеличивается извлечение кремния из диоксида кремния кварцита. Для определения влияния природных восстановителей на степень восстановления кремния из диоксида кремния кварцитов провели эксперименты по бесконтактному взаимодействию восстановителей с кварцитом. В тигель из карбонитрида бора помещали навеску, состоящую из кварцита и восстановителя (графит), затем сверху на расстоянии 10 мм от навески на молибденовой решетке помещали кокс и угли (длиннопламенный и бурый, фракция 20 мм.). Тигель устанавливали в предварительно нагретую печь сопротивления. После изотермической выдержки при температуре 1973 К и продолжительности 60 мин образцы кокса и углей оценивали визуально, а также проводили химический и рентгенофазовый

анализы. Результаты анализов показали, что при бесконтактном восстановлении кремния из диоксида кремния кварцита продукты термического разложения энергетических углей и образующийся углеродистый остаток способствуют более полному улавливанию монооксида кремния, что приводит к увеличению степени восстановления кремния [8].

Заключение

В результате проведенных исследований установлено участие газовой фазы, образующейся при термическом разложении энергетических углей в процессах твердофазного восстановления железа, а также восстановления марганца из оксидов марганцевой руды. Выявлено, что продукты термического разложения углей и образующийся углеродистый остаток приводят к увеличению извлечения кремния из диоксида кремния, входящего в состав кварцита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев В.П. Углеродистые восстановители ферросплавного производства. Альтернативные решения / В.П. Воробьев, А.Д. Голунов, А.В. Игнатьев // *Сталь*. - 2008. - № 8. С. 67.
2. Страхов В.М. Альтернативные углеродистые восстановители для ферросплавных производств // *Кокс и химия*. - 2009. - № 1. С. 20 – 25.
3. Мизин В.Г., Серов Г.В. Углеродистые восстановители для ферросплавов. – М.: *Металлургия*, 1976. – 272 с.
4. Штумпф Г.Г. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна: Справочник / Г.Г. Штумпф, Ю.А. Рыжков, В.А. Шаламанов, А.И. Петров. – М: *Недра*, 1994. – 447 с.
5. Nokhrina O.I., Rozhihina I.D., Hodosov I.E. / The use of coal in a solid phase reduction of iron oxide // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 6. Сер. "6th International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering" 2015. С. 012045.
6. Nokhrina O.I., Rozhihina I.D., Hodosov I.E. / A study on the production processes of granulated iron // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science And Engineering 19, Technologies, Innovation, Quality. Сер. "XIX International Scientific Conference on Metallurgy: Technologies, Innovation, Quality, Metallurgy 2015" 2016. С. 012003.
7. Лазаревский П.П. Исследование влияния физико-химических свойств углей на восстановление марганца и кремния из оксидов / П.П. Лазаревский, Ю.Е. Романенко, И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина // *Сталь*. – 2015. - № 5. С. 45 – 48.
8. Рожихина И.Д. Альтернативные углеродосодержащие материалы в восстановительных процессах получения марганцевых, хромистых сплавов и металлизированного железа / И.Д. Рожихина, Ю.Е. Романенко, П.П. Лазаревский, И.Е. Ходосов // *Металлургия: технологии, управление, инновации, качество. Труды XVIII Всероссийской научно-практической конференции*. под ред. Е.В. Протопопова. Новокузнецк, 2014. – С. 128 – 136.

THE USE OF STEAM COALS IN RECOVERY PROCESSES

O.I. Nockrina, I.D. Rozikhina, I.E. Khodosov

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

The main component by production of ferroalloys is the carbonaceous reducer. There is an urgent problem in notable deficiency of metallurgical coke. For the solution of these problems search of new carbonaceous reducers – coke substitutes is constantly conducted.

The coke trifle and coals of Kuzbass were used: coal brown brands – B2; coal long-flame brands – D; coal lean brands – T. The chosen brands of coals differ in the physical and chemical characteristics and conditions of a metamorphism. Laboratory researches of processes of thermal decomposition of coals were conducted. Process proceeds in two main stages: a stage of I – removal of hygroscopic and moisture; a stage of II – sharp change of mass of coal (allocation of products of gasification of coal). The analysis of gases showed that the gas phase of coals mainly consists of H₂. The greatest number of H₂ contains in a gas phase of brown coal, and the greatest number of CO contains in a gas phase of a coke trifle and long-flame coal.

Probes included experiments on restoration of iron in a solid phase from iron ore, manganese contactless reduction from oxides of ore and a silicon from quartzite. Experiments were made by means of the laboratory furnace with the graphite heater (resistance furnace), crucibles, lattice molybdenum. As a result established that coals with lower degree of a metamorphism and high content flying have higher recovery properties at solid-phase restoration of iron, at the same time the high content of a mineral part which part calcium oxides are is characteristic of brown coal. It is defined that active formation of primary slag phases happens at temperature increase of metal-material in which the ratio between oxides of silicon and oxides of FeO is in range of 0,3-0,4. Experiments on contactless restoration of manganese ore are made. It is defined that use of steam coals without their preliminary heat treatment positively influences restoration of elements from oxides of the studied manganese ore. It is defined that at partial replacement of coke with long-flame or brown coals extraction of silicon from quartzite silicon dioxide increases. It is established that at contactless restoration of silicon from quartzite silicon dioxide products of thermal decomposition of steam coals and the formed carbonaceous rest promote fuller catching of monoxide of silicon that leads to increase in extent of restoration of silicon.

As a result of the conducted researches participation of the gas phase which is formed at thermal decomposition of steam coals in processes of solid-phase restoration of iron, and also restoration of manganese of oxides of manganese ore is established. It is revealed that products of thermal decomposition of coals and the formed carbonaceous rest lead to increase in extraction of silicon from dioxide of the silicon which is a part of quartzite.