

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)

669.18

C568

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИИ СТАЛИ

**Материалы
XVII Международной конференции**

Часть первая

Под редакцией В.Е. Рощина

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2017

УДК 669.187(063)

C568

Одобрено

советом факультета материаловедения и металлургических технологий

C568 **Современные проблемы электрометаллургии стали:** материалы XVII Международной конференции: в 2 ч. / под ред. В.Е. Рощина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – Ч. 1. – 252 с.

ISBN

ISBN

В сборник материалов конференции вошли тексты докладов, представленных авторами для обсуждения на заседаниях секций. Они дают представление о научных, технологических и проектно-конструкторских разработках в области теории и технологии производства стали, ферросплавов, а также конструкции агрегатов и цехов.

Отпечатано с авторских оригиналов.

УДК 669.187(063)

ISBN

ISBN

© Издательский центр ЮУрГУ, 2017

СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ КОМПЛЕКСА ШЛАКОПЕРЕРАБОТКИ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

С.Н. Кузнецов, Е.В. Протопопов, С.В. Фейлер, М.В. Темлянец, Е.П. Чумов

(СибГИУ, г. Новокузнецк, Россия)

feylersv@gmail.com

В декабре 2014 г. на АО «ЕВРАЗ ЗСМК» введен в эксплуатацию комплекс по переработке шлаков сталеплавильного производства. Производительность комплекса – 1400000 т. шлака в год. Комплекс позволяет ежегодно из отходов сталеплавильного производства выделять до 250 тыс. т. металлосодержащих концентратов, которые вторично используются в агломерационном, доменном и сталеплавильном производствах. Однако, в настоящее время, вторичное использование железосодержащих концентратов, полученных из шлаков, ограничивается в связи с отсутствием достоверной информации о содержании в них железа и возникающими сложностями при определении технологически оптимального расхода концентрата на различных стадиях металлургического передела.

Для проведения исследования с различных участков комплекса шлакопереработки были отобраны пробы железосодержащего материала. В лабораторных условиях проведено истирание концентратов, их классификация и сепарация, определены температуры плавления шлаковой составляющей и расплавление железосодержащих концентратов в печи сопротивления.

В результате проведенных исследований получена информация о содержании железа в концентратах комплекса шлакопереработки АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Полученные данные можно использовать при расчете материальных балансов основных металлургических процессов для повышения эффективности использования техногенных материалов при производстве металлопродукции.

Ключевые слова: рециклинг, железосодержащие концентраты, шлак, сепарация, классификация.

Введение

Как известно, сталеплавильные шлаки составляют значительную часть металлургических отходов, их выход в среднем составляет 150...200 кг/т стали [1]. При существующих объемах производства стали в Российской Федерации ежегодно образуется около 9 млн. т шлаков сталеплавильного производства. В их состав входит до 10 % чистого металла, а также 15...40 % в виде оксидов железа. При этом общее количество железа достигает 20...30 % от количества образующейся массы шлака [2-4].

Для переработки сталеплавильных шлаков в АО «ЕВРАЗ ЗСМК» в 2014 г. введен в эксплуатацию комплекс шлакопереработки (КШП), который представляет собой технологическую линию, позволяющую поэтапно выделять из конвертерного шлака железосодержащие включения за счет использования методов магнитной сепарации. Производительность комплекса составляет до 1400000 т шлака в год, а выход металлосодержащих концентратов – до 250 тыс.

т. в год. Образующийся железосодержащий концентрат представляет собой материал фракций: 0...10 мм (У4), 10...80 мм (29АДУЖ) и 80...250 мм (29ШСК).

В настоящее время концентрат У4 направляется в агломерационное производство, 29АДУЖ – в доменное и 29ШСК – в сталеплавильное. При этом использование железосодержащих концентратов комплекса шлакопереработки при выплавке стали позволяет значительно улучшить технико-экономические показатели производства металлопродукции за счет снижения расхода дорогостоящего металлического лома.

Цель исследования

Определение содержания железа в концентратах комплекса шлакопереработки АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Методика исследования

Для проведения исследования с различных участков комплекса шлакопереработки были отобраны пробы железосодержащего материала массой 1 кг, в частности, концентраты У4 (фракция 0...10 мм) и 29АДУЖ (фракция 10...80 мм). Для удаления влаги концентраты подвергались нагреву в электропечи сопротивления СНОЛ-4. Образцы концентратов прокаливались в течении 3 часов при температуре 100...120 °С.

Следующим этапом проведения исследований было измельчение концентратов на лабораторном вибрационном истирателе. Проба железосодержащего материала подвергалась истиранию в несколько этапов (рис. 1). Каждый этап истирания длился 5 мин., после чего полученный материал подвергался просеиванию через сито с размером ячейки 0,5 мм. Надрешетный продукт подвергался дополнительному истиранию. Измельчение железосодержащих концентратов осуществлялось в 5 этапов.



Рис. 1. Технологические этапы измельчения железосодержащих концентратов

После пятикратного истирания надрешетным продуктом являлись металлические частицы.

Для определения температуры плавления шлаковой составляющей в работе использован оптический метод, который имеет достаточно высокую точность. Наблюдение за процессом плавления частиц материала, помещенных на "горячий" спай, производили при 30-тикратном увеличении (рис. 2). Исследуемую пробу материала в количестве нескольких крупинок помещали на "горячий" спай термопары, вваренную в платиновую пластину. Регулирование скорости нагрева производили в определенной последовательности.

Сначала до температуры 900...1000 °С скорость составляла 100...150 град/с, в дальнейшем до температуры 1000...1300 °С – 20...30 град/с и, наконец, 3...5 град/с.



Рис. 2. Лабораторный комплекс для определения температуры плавления шлаков

Результаты исследования

Масса подрешетного продукта, полученного в процессе последовательного истирания и классификации железосодержащих концентратов У4 и 29АДУЖ представлена в табл. 1. Выполненный химический анализ подрешетного продукта (табл. 2) показал, что в среднем в минеральной части У4 и 29АДУЖ содержится 40,7 и 27,0 % $Fe_{общ}$, соответственно. Таким

образом, общее содержание железа в исследуемых концентратах составляет 47 и 76 %, соответственно. При этом, в виде оксидов FeO и Fe_2O_3 среднее содержание железа составляет в концентрате У4 – 25,6 и 11,06 %, соответственно, а в концентрате 29АДУЖ – 25,8 и 9,98 %.

Результаты определения температуры плавления шлаковой составляющей железосодержащих концентратов У4 и 29АДУЖ приведены в табл. 3.

Таблица 1

Масса подрешетного продукта при последовательном истирании и просеивании железосодержащих концентратов, г

Стадия истирания	Вид концентрата	
	У4	29АДУЖ
1	693,14	145,97
2	130,49	121,86
3	32,93	22,45
4	21,29	28,37
5	15,25	14,57
Остаток (металлическая часть)	106,90 (10,69 %)	666,77 (66,68 %)

Таблица 2

Химический состав подрешетного продукта

	№ пробы	Содержание элементов, % масс.														
		$Fe_{общ}$	S	CaO	SiO_2	FeO	MgO	MnO	P_2O_5	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	ZnO	$Fe_{мет}$	Fe_2O_3
У4	1	21,8	0,095	31,5	15,0	14,7	9,55	3,96	0,37	3,0	0,13	0,099	1,28	0,031	-	14,9
	2	29,5	0,085	28,9	12,7	31,5	9,16	3,94	0,39	1,42	0,12	0,070	1,28	0,023	-	7,22
	3	37,9	0,080	25,1	11,2	41,7	8,25	3,58	0,37	0,94	0,12	0,066	1,18	0,022	5,58	-
	4	55,8	0,055	16,9	7,22	21,6	6,41	2,49	0,31	0,93	0,12	0,078	0,75	0,019	41,1	-
	5	58,5	0,103	16,3	7,54	18,7	4,86	2,22	0,31	2,20	0,13	0,14	0,64	0,023	44,7	-
	Среднее	40,7	0,084	23,7	10,73	25,6	7,65	3,24	0,35	1,70	0,12	0,091	1,03	0,024	30,46	11,06
29АДУЖ	1	26,0	0,065	34,1	13,4	23,5	8,47	2,8	0,34	3,96	0,090	0,055	0,63	0,019	-	11,1
	2	28,0	0,081	32,4	12,9	26,2	8,06	2,94	0,33	3,26	0,070	0,054	0,59	0,017	-	11,0
	3	27,2	0,092	33,8	13,2	28,0	8,81	2,79	0,35	2,77	0,070	0,051	0,62	0,022	-	7,82
	4	27,8	0,094	31,5	13,8	26,2	9,04	3,27	0,31	2,90	0,080	0,057	0,61	0,026	-	10,7
	5	25,9	0,076	31,4	14,2	25,0	9,03	3,52	0,32	3,22	0,080	0,061	0,63	0,021	-	9,29
	Среднее	27,0	0,082	32,6	13,5	25,8	8,68	3,06	0,33	3,22	0,080	0,056	0,62	0,021	-	9,98

Температура плавления шлаковой части
железосодержащих концентратов У4 и 29АДУЖ

№ опыта	У4	29АДУЖ
1	1350	1360
2	1340	1365
3	1375	1350
среднее	1355	1358

Заключение

Получена информация о содержании железа в концентратах У4 и 29АДУЖ комплекса шлакопереработки АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Полученные данные можно использовать при расчете материальных балансов основных металлургических процессов для повышения эффективности использования техногенных материалов при производстве металлопродукции.

Библиографический список

1. Юсфин Ю.С. *Промышленность и окружающая среда* / Ю.С. Юсфин, Л.И. Леонтьев, П.И. Черноусов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 469 с.
2. Буторина И.В. *Основы устойчивого развития металлургического производства*. – Донецк: Каштан, 2005. – 332 с.
3. B. Das, S. Prakash, P.S.R. Reddy, V.N. Misra: “An overview of utilization of slag and sludge from steel industries”, *Resources, Conservation and Recycling*, 2007, Vol. 50 pp. 40–57.
4. L. Mihok, P. Demeter, D. Baricová, K. Seilerová: “Utilization of ironmaking and steelmaking slags”, *METALURGIJA*. 2006 Vol. 45, 3, pp. 163-168.

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF IRON-ORE CONCENTRATES OF THE SLAG PROCESSING COMPLEX OF JSC "EVRAZ ZSMK"

S.N. Kuznetsov, E.V. Protopopov, S.V. Feyler, M.V. Temlyantsev, E.P. Chumov
(SibGIU, Novokuznetsk, Russia)
feylersv@gmail.com

In December 2014, JSC "EVRAZ ZSMK" put into operation a complex for the processing of slag of steelmaking. The capacity of the complex is 1400,000 tons of slag per year. The complex allows to extract up to 250 thousand tons of metal-bearing concentrates from the steelmaking industry waste annually, which are used again in sintering, blast-furnace and steelmaking plants. However, at present, the secondary use of iron-containing concentrates obtained from slags is limited due to the lack of reliable information on the iron content in them and the difficulties encountered in determining the technologically optimal consumption of the concentrate at various stages of the metallurgical processing.

To carry out the investigation, samples of iron-containing material were taken from various sections of the slag processing complex. In laboratory conditions, concentrates

were abraded, classified and separated, the melting points of the slag component were determined and the iron concentrates in the resistance furnace melted.

As a result of the research, information was received on the iron content in the concentrates of the slag processing complex of JSC "EVRAZ ZSMK". The obtained data can be used in the calculation of material balances of the main metallurgical processes for increasing the efficiency of using man-made materials in the production of metal products.

Keywords: recycling, iron-containing concentrates, slag, separation, classification.

References

1. Yusfin Yu.S. *Industry and the environment* / Yu.S. Yusfin, L.I. Leontiev, P.I. Chernousov. - M.: ICC "Academic Book", 2002. - 469 p.
2. Butorina I.V. *Fundamentals of sustainable development of metallurgical production*. – Donetsk: Chestnut, 2005. – 332 p.
3. B. Das, S. Prakash, P.S.R. Reddy, V.N. Misra: "An overview of utilization of slag and sludge from steel industries", *Resources, Conservation and Recycling*, 2007, Vol. 50 pp. 40–57.
4. L. Mihok, P. Demeter, D. Baricová, K. Seilerová: "Utilization of ironmaking and steelmaking slags", *METALURGIJA*. 2006 Vol. 45, 3, pp. 163–168.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ НИКЕЛЯ И ЖЕЛЕЗА ИЗ ОТВАЛЬНЫХ НИКЕЛЕВЫХ ШЛАКОВ ХЛОРСОДЕРЖАЩИМИ РЕАГЕНТАМИ

А.А. Веселовский, С.А. Лайхан, В.Е. Рошин

(Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия)

roshchinve@susu.ru

Рассматривается современное состояние проблемы переработки отвальных шлаков на примере Южно-Уральского никелевого комбината. Приводятся данные усредненного анализа химического состава отвального шлака. Определили фазы, содержащие в себе железо, кобальт, никель и хром. Приведены карты распределения этих элементов в шлаке. Термодинамически обоснованы реакции разложения фаз с образованием галогенных соединений цветных металлов.

Шихта для восстановительных процессов включала в себя шлак, кокс и хлористый аммоний. Шлак измельчали до фракции – 0,16 на истирающей машине и проводили химико-термическую обработку в запатентованной лабораторной установке. Исследованы структура и морфология королек ферроникеля в шлаке, проведён химический анализ структурных составляющих шлака после прокалики магнитного концентрата и хвостов магнитной сепарации, определены выход годного магнитного концентрата и рациональное время химико-термической обработки. Исследован химический состав и рассчитан выход годного ферроникеля, полученного от переплава магнитного концентрата в печи Таммана с применением в качестве восстановителя кокса (1% масс.), приведены данные о степени извлечения никеля и железа из шлака в магнитный концентрат, а также химический состав шлака, полученного после переплава магнитного концентрата.

Ключевые слова: отвальный шлак, никель, кобальт, концентрат, железо, производство ферроникеля, отходы

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

<i>Рощин В.Е., Чернобровин В.П.</i> 65 лет кафедре пиromеталлургических процессов ЮУрГУ.....	3
<i>Рощин В.Е., Рощин А.В.</i> Общая электронная теория восстановления и окисления металлов.....	13
<i>Соловьев С.П., Перескокова Т.А., Бурмасов С.П.</i> Кадровый потенциал отечественной металлургии.....	24

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ И СПЛАВОВ, ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ РУД

<i>Бурцев В.Т., Анучкин С.Н.</i> Исследование активности кислорода методом ЭДС в расплавах никеля при 1560°C.....	32
<i>Александров А.А., Дашевский В.Я.</i> Влияние алюминия на растворимость кислорода в расплавах Ni-Co.....	37
<i>Дашевский В.Я., Александров А.А., Леонтьев Л.И.</i> Комплексное раскисление сплавов на основе никеля алюминием и титаном.....	43
<i>Кузнецов Ю.С., Михайлов Г.Г., Качурина О.И.</i> Сравнение восстановительных способностей водорода и оксида углерода по отношению к оксидам железа.....	48
<i>Некрасов И.В., Шешуков О.Ю., Цымбалист М.М., Бонарь С.Н., Егизарьян Д.К., Сивцов А.В.</i> Активность оксида титана и структура шлаковых расплавов.....	55
<i>Гамов П.А., Дрозин А.Д.</i> Математическая модель восстановления металлов в комплексных оксидах полиметаллических руд применительно к электронному механизму.....	60
<i>Захаров Н.И., Троянский А.А., Бирюков А.Б., Тупилко И.В.</i> Компьютерное моделирование процессов тепломассопереноса при внепечной дегазации жидкого металла от растворенного азота в электростатическом поле докритических напряженностей.....	67
<i>Комолова О.А., Григорович К.В.</i> Математическое моделирование процессов внепечной обработки.....	73
<i>Прокудина Л.А.</i> Высокотемпературные режимы течения тонкого жидкого слоя.....	77
<i>Уполовникова А.Г., Бабенко А.А., Сметанников А.Н.</i> Межфазное распределение бора в системе борсодержащий шлак – низкоуглеродистый металл.....	83

<i>Салина В.А., Сычев А.В., Жучков В.И., Бабенко А.А.</i> Изучение особенностей процесса десульфурации металла высокоосновными сталеплавильными шлаками, содержащими B_2O_3 , методом термодинамического моделирования	90
<i>Рябов А.В., Прокаева Т.В.</i> Легкообрабатываемая VN-содержащая сталь.....	96
<i>Щукина Л.Е., Шаланова А.С., Сёмин А.Е.</i> Кинетические особенности взаимодействия азота при плазменно-дуговом переплаве в стали марки 10X18HMBФБ (C–8Cr–Ni–Mo–W–Nb).....	103
<i>Турсунов Н.К., Сёмин А.Е., Кадиров Ш.Т.</i> Кинетические особенности процесса десульфурации металла при выплавке стали 20ГЛ в индукционной тигельной печи.....	110
<i>Турсунов Н.К., Сёмин А.Е., Кадиров Ш.Т.</i> Рафинирование и модифицирование стали 20ГЛ с использованием редкоземельных металлов.....	117
<i>Бабенко А.А., Жучков В.И., Смирнов Л.А., Уполовникова А.Г., Сельменских Н.И., Сычев А.В.</i> Освоение технологии десульфурации металла и прямого микролегирования низкоуглеродистой стали бором на УКП под борсодержащими шлаками	123
<i>Голодова М.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Рыбенко И.А.</i> Восстановление элементов конвертерного ванадиевого шлака при внепечной обработке.....	133
<i>Степанов А.И., Гудов А.Г., Бурмасов С.П., Мурзин А.В., Дресвянкина Л.Е., Мелинг В.В.</i> Влияние комплексного совершенствования технологии производства стали 20КТ с использованием вакуумной обработки на состав неметаллических включений.....	139
<i>Ушаков М.В., Бабенко А.А., Мурзин А.В., Кузякин В.Г.</i> Технологические решения снижения энерго- и материалоёмкости процесса выплавки сталеного полупродукта в современных ДСП.....	147
<i>Kapelyushin Yu.</i> Current state of iron and steel production in the early 21st century.....	154
<i>Акбердин А.А., Ким А.С., Заякин О.В., Жучков В.И.</i> Исследование взаимодействия шлаков высокоуглеродистого феррохрома с магниезиальными огнеупорами	161
<i>Ахметов К.Т., Роцин В.Е.</i> Процессы восстановления металлов и образования карбидов при металлизации богатых хромовых руд.....	165
<i>Сулеймен Б.Т., Косдаулетов Н.Ы., Роцин В.Е.</i> Твёрдофазное восстановление металлов и образование карбидов из хромовых концентратов аганозерского месторождения.....	177
<i>Акуов А.М., Жумагалиев Е.У., Келаманов Б.С., Самуратов Е.К.</i> Предпосылки по реализации выплавки альтернативного углеродистого феррохрома....	184

<i>Досекенов М.С., Роцин А.В., Алмагамбетов М.С.</i> Коррекция фазового состава шлаков рафинированного феррохрома внепечной обработкой кремнеземсодержащими материалами.....	189
<i>Тимофеева А.С., Никитченко Т.В., Пивикова М.С.</i> Влияние бентонита на производство окатышей.....	196
<i>Шотанов А.Е., Роцин А.В.</i> Оценка возможных способов предварительного восстановления хромового сырья	201
<i>Мухамбетгалиев Е.К., Роцин В.Е., Байсанов С.О.</i> Теоретические и технологические основы получения алюмосиликомарганца из высококремнистой марганцевой руды и высокозольных углей	210
<i>Целых Г.В., Дудчук И.А., Бигеев В.А., Потапова М.В., Колесников Ю.А.</i> Использование комплексного магнезиального флюса-окислителя при выплавке стали в современных ДСП.....	218
<i>Салихов С.П., Роцин А.В.</i> Основы бездоменной пирометаллургической переработки сидероплезитовой руды.....	222
<i>Кузнецов С.Н., Протопопов Е.В., Фейлер С.В., Темлянцев М.В., Чумов Е.П.</i> Свойства железорудных концентратов комплекса шлакопереработки АО «ЕВРАЗ ЗСМК».....	230
<i>Веселовский А.А., Лайхан С.А., Роцин В.Е.</i> Извлечение никеля и железа из отвалных никелевых шлаков хлорсодержащими реагентами.....	235
<i>Бильгенов А.С., Гамов П.А.</i> Статистический анализ выделения металлических частиц при твёрдофазном восстановлении в оксидах с малым содержанием железа.....	244