

О. В. Беспалов, К. Д. Соколов /к. т. н./

ООО «Побужский ферроникелевый комбинат»,
пгт Побугское, Кировоградская обл., Украина
e-mail: ferronickel@yml.com

П. И. Лобода /д. т. н./

Национальный технический университет
«Киевская политехника», г. Киев, Украина
Национальная металлургическая академия
Украины, г. Днепро, Украина

А. Н. Овчарук /д. т. н./, О. В. Замковой,
М. И. Гасик /д. т. н./

e-mail: tehnosplavy@ua.fm

Рентгеноспектральный микроанализ распределения никеля в шлаках электротермического производства ферроникеля

О. V. Bespalov, K. D. Sokolov /Cand. Sci. (Tech.)/ Pobuzhsky Ferronickel Combine Ltd, village Pobugskoe, Kirovograd region, Ukraine
e-mail: ferronickel@yml.com

P. I. Loboda /Dr. Sci. (Tech.)/

National Technical University «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

A. N. Ovcharuk /Dr. Sci. (Tech.)/, O. V. Zamkovej,
M. I. Gasik /Dr. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine,
Dnipro, Ukraine
e-mail: tehnosplavy@ua.fm

X-ray diffraction micro distribution of nickel in the slag of electrothermal production of ferronickel

Цель. Разработать и исследовать электрометаллургическую технологию выплавки ферроникеля с применением никелевых руд отечественных и зарубежных месторождений, обеспечивающую производство ферроникеля высокого качества при меньших энергетических затратах и снижении потерь никеля с печным и рафинировочным шлаками на основе комплексного исследования фаз минеральных образований методом рентгеноспектрального анализа.

Метод исследования. Научно-исследовательская работа в рамках названия статьи выполнена с применением комплексных методов определения химического и минерального составов исходных никелевых руд различного месторождения, анализа процессов подготовки руды к восстановительной электроплавке, методов анализа электрических режимов плавки огарка, определения химсостава чернового и рафинированного ферроникеля. Для изучения механизма потерь никеля с печными и рафинирующими шлаками применен метод рентгеноспектрального микроанализа фазо-минеральных образований в многокомпонентных, различающихся химическим и минеральным составами фазах. Обработка данных выполнена с применением конкретных программ.

Результаты. Проведены опытно-промышленные исследования выплавки ферроникеля с применением окисленных никелевых руд месторождений разных стран: Украина (Капитановское), Новая Каледония, Индонезия, Гватемала. Получены конкретные данные о составах ферроникеля, печного и рафинировочного шлаков, удельных расходов сырьевых материалов и электроэнергии. Изучена микроструктура шлаков и выявлена природа никельсодержащих фаз в структуре шлаков.

Научная новизна. Исходя из ресурсно-инновационной концепции развития электрометаллургических производств на основе совершенствования электропечного оборудования, новых теоретических и экспериментальных исследований, в работе впервые выполнено комплексное аналитическое исследование современного состояния научных подходов к совершенствованию сквозной технологии производства ферроникеля в условиях ООО ПФК. Впервые применено РСМА для изучения составов фазолегированных образований в структуре печного и рафинировочных шлаков как предпосылка для создания технологии магнитной сепарации шлаков с целью извлечения никельсодержащих включений.

Практическое значение. В условиях дефицита отечественной никелевой руды и ее относительно низкого качества по содержанию никеля в качестве научно-исследовательской работы были приведены данные промышленных многосерийных экспериментов, обоснованные экономическим и экологическим факторами, определяющими дальнейшее развитие ООО ПФК с использованием богатых никелевых руд при совершенствовании технологических режимов выплавки и рафинирования ферроникеля.

Анализируя практическое значение полученных результатов, приходим к выводу о том, что заслуживают быть отмеченными исследования и результаты определения фазоминерального состава печных и рафинировочных шлаков как предпосылки для развития магнитной сепарации шлаков с целью снижения потерь никеля в шлаке при производстве чернового ферроникеля. (Ил. 3. Табл. 7. Библиогр.: 8 назв.)

Ключевые слова: ферроникель, руда, месторождения, обжиг руды, рудотермические печи, технология выплавки, шлак, никельсодержащие включения в шлаке, рентгеноспектральный микроанализ, повышение извлечения никеля.

Постановка проблемы. Развитие мирового промышленного производства направленно на решение вопросов комплексного рационального использования минерально-сырьевых ресурсов, утилизации вторичных материальных и энергетических ресурсов, охраны окружающей среды.

Производство ферроникеля из окисленных никелевых руд базируется на применении сырья, содержание никеля в котором практически не превышает 2,5 %, поэтому процесс характеризуется большим объемом шлака, кратность которого составляет 6–19 единиц и является наиболее высокой в электротермии ферросплавов.

Проведены исследования образцов электропечных и рафинировочных шлаков производства ферроникеля с использованием окисленной никелевой руды, месторождения Гватемалы, методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) на установке Selmi РЭМ-106И. Определено, что основное количество никеля сосредоточено в корольках металлической фазы различной формы в соединениях с железом и серой, концентрация которого в некоторых случаях достигает свыше 70 %.

1. Технологическая схема производства ферроникеля

Производство ферроникеля электротермическим способом из окисленных никельсодержащих руд является наиболее распространенным и, при всей сложности и энергоемкости, одновременно самым эффективным технологическим процессом [1; 2]. Под современной технологией выплавки ферроникеля понимается комплекс технических приемов и средств их реализации, обеспечивающий выплавку сплава заданного состава, эффективное управление процессами при рациональном использовании сырья и максимальной утилизации техногенных отходов. Такая технология должна обеспечивать стабильную работу, долгосрочную эксплуатацию, надежность работы оборудования и футеровки электропечей при максимальной эффективности производства для данных условий и экологических ограничений.

Повышение требований к качеству сплава, ужесточение экономических и экологических требований диктуют необходимость дальнейшего повышения эффективности технологического процесса плавки.

Побужский ферроникелевый комбинат введен в эксплуатацию в декабре 1972 г. В 2000 г. преоб-

разован в ООО «Побужский ферроникелевый комбинат» (ООО «ПФК») – единственное в постсоветском пространстве горно-металлургическое предприятие с технологией прямой переработки (без обогащения и окускования) до 1,5 млн т окисленной никелевой руды в год и получения до 100–120 тыс. тонн ферроникеля (сплава железа с никелем).

Действующая в настоящее время на ООО «ПФК» технологическая схема производства ферроникеля (рис. 1) претерпела значительные изменения и усовершенствования.

На комбинате внедрена технология предварительной сушки никельсодержащей руды, которая поступает от поставщика с влажностью более 35 % и снижается в процессе сушки до 20 %.

Большое внимание уделяется качеству, фракционному составу и установлению оптимального соотношения компонентов восстановительной смеси [3; 4], обеспечивающего получение ферроникеля с минимальным расходом электроэнергии на 1 т огарка и состава, позволяющего наиболее рационально вести режим дальнейшего рафинирования по схеме – ковшевая десульфурация кальцинированной содой или плавом соды и конвертерное рафинирование от Si, C, Mn, Cr, P и S.

Побужский ферроникелевый комбинат изначально ориентировался на переработку отечественных окисленных никелевых руд Капитановского месторождения. Поскольку местное месторождение бедной окисленной никелевой руды в настоящее время практически выработано, комбинат перешел на импортную руду. Вначале поставлялась руда из Новой Каледонии, затем – из Индонезии. В связи с тем, что Индонезия с начала 2014 г. прекратила экспорт руды, ПФК перешел на гватемальскую руду. Химический состав руд различных месторождений и показатели производства ферроникеля с их использованием приведены в табл. 1–4.

Производство ферроникеля характеризуется высокой кратностью шлака, которая в зависимости от качества никельсодержащего сырья колеблется от 6 до 19, что обуславливает необходимость оперативной эвакуации высокотемпературных (1400–1600 °С) оксидных продуктов из печных агрегатов. В цехе внедрена система припечной грануляции шлаков, что позволило значительно сократить количество разливочной

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОНИКЕЛЯ НА ООО «ПФК»

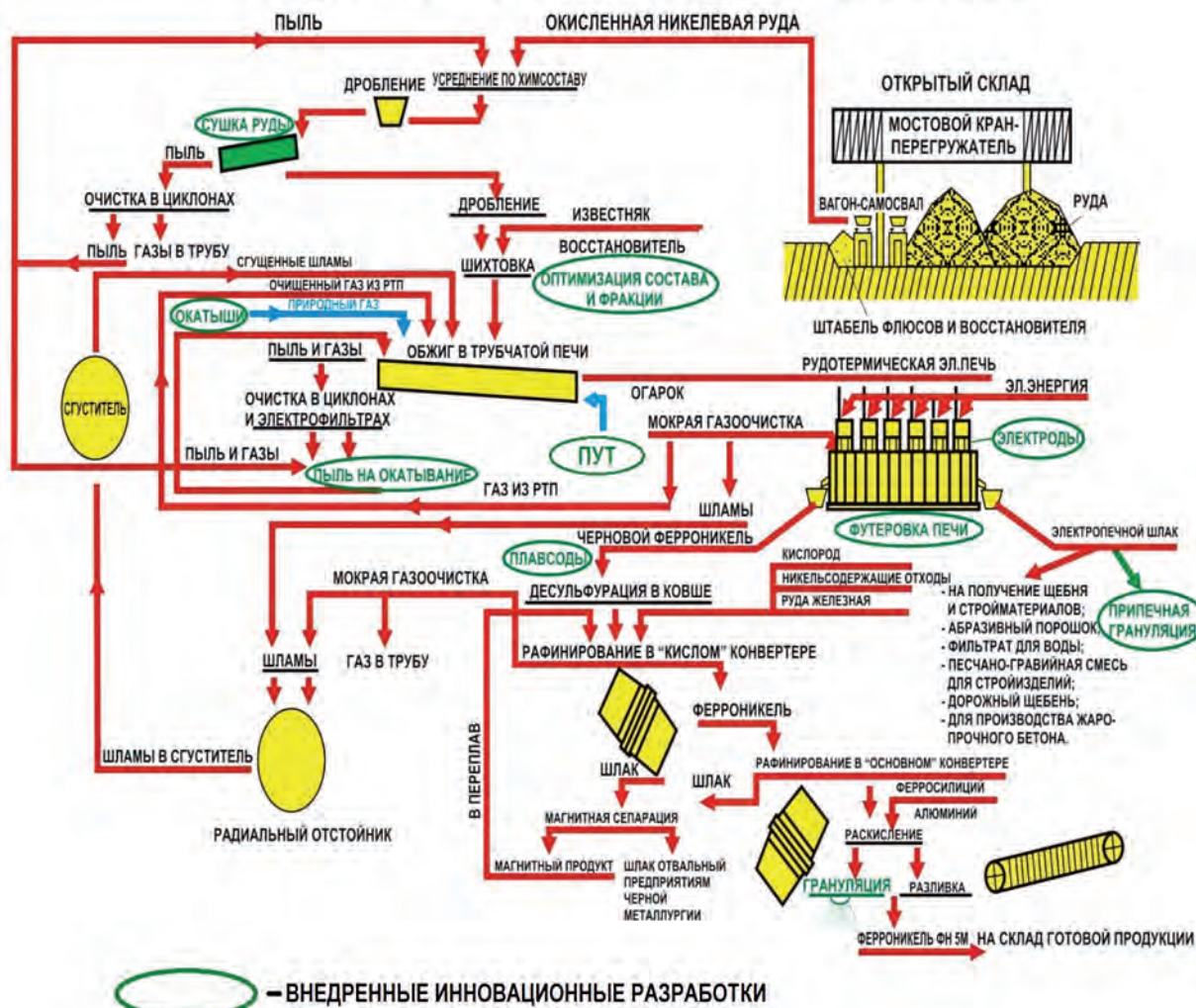


Рис. 1. Технологическая схема производства ферроникеля на ООО «ПФК»

Таблица 1

Химический состав руд различных месторождений

Месторождение	Химический состав, % по массе						
	Ni	Fe	SiO ₂	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Новая Каледония (2006 г.)	2,22	14,89	38,77	1,11	20,60	1,66	1,74
Индонезия (2006–2014 гг.)	2,08	12,62	42,95	1,05	21,45	1,18	1,91
Гватемала (2014–2017 гг.)	1,88	15,66	34,8	1,23	22,0	0,98	2,7
Капитановское (Украина) (1972–2006 гг.)	0,7–0,9	15–18	36–45	16–20	4–6	2,5–4,1	2,9

Таблица 2

Удельные расходы «огарка», углеродистого восстановителя, электроэнергии при выплавке ферроникеля в условиях ООО «ПФК» с использованием никелевой руды различных месторождений

Месторождение никелевой руды	Удельные расходы материалов, электроэнергии			
	огарка на 1 т ферроникеля	углеродистого восстановителя на 1 т	Электроэнергии на 1 т «огарка» кВт·ч/т	Электроэнергии на 1 т Ni кВт·ч/т
Капитановское (Украина)	9,4 т (6 % Ni в FeNi)	99,4 кг (антрацит)	780	128 (0,7 % Ni в руде)
Новая Каледония	9,7 т (Ni в FeNi)	50,86 кг (антрацит)	680	32 (2,3 % Ni в руде)
Индонезия	10,3 т (Ni в FeNi)	48 кг (антрацит)	625	31,1 (2,14 % Ni в руде)
Гватемала	12 т (Ni в FeNi)	22 кг (РТП-1) 52 кг (РТП-2)	580 (РТП-1) 600 (РТП-2)	33,8 (1,84 % Ni в руде)

Сравнительные данные химических составов ферроникеля выплавляемого с использованием никелевой руды различных месторождений

Месторождение никелевой руды		Содержание элемента, % масса					$\frac{[\%P]}{[\%Ni]}$	$\frac{[\%S]}{[\%Ni]}$	
		Ni	Si	Cr	C	S	P		
Капитановское (Украина)		4,6	5	0,8	2,5	0,25	0,18	0,036	0,05
Новая Каледония		18,98	3,89	1,49	2,45	0,267	0,024	0,001	0,014
Индонезия		17,54	5,14	1,76	2,24	0,29	0,028	0,002	0,016
Гватемала	РТП-1	42,4	0,01	0,026	0,03	0,52	0,08	0,002	0,012
	РТП-2	11,43	3,72	1,87	2,93	0,143	0,06	0,005	0,012

Таблица 4

Химический состав шлаков выплавки ферроникеля с применением никелевой руды различных месторождений

Месторождение никелевой руды		Содержание компонентов, % массы					
		Ni	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃
Капитановское (Украина)		0,06	7,5	53	10	22	2,5
Новая Каледония		0,09	6,6	55,8	27,4	2,2	2,3
Индонезия		0,09	6,8	55,1	29,6	3,1	2,0
Гватемала	РТП-1	0,18	15,3	44,3	0,8	24,9	3,6
	РТП-2	0,07	5,1	52,3	1,4	31,3	3,9

посуды, расширить возможность утилизации шлака и наметить пути извлечения микрокорольков черного ферроникеля высокоинтенсивным магнитным полем.

Кислые электропечные шлаки производства черного ферроникеля $\left(B = \frac{CaO + MgO}{SiO_2} = 0,65 \right)$ оказывают агрессивное воздействие на футеровку, особенно в зоне шлакового пояса и на границе перехода «шлак – металл».

Многочисленные исследования и разработки как отечественных, так и зарубежных специалистов [5–7], направленные на повышение стойкости футеровки, продление срока ее службы и увеличение периода межкапитального ремонта, пока не привели к существенным результатам и не приблизились к показателям, достигнутым электротермистами при производстве марганцевых ферросплавов в аналогичных электропечах типа РПЗ-63, которые повысили срок службы печей до 20–25 лет [8].

В сентябре 2011 г. на комбинате для производства черного ферроникеля канадской фирмой Hatch была введена в эксплуатацию печь РТП-1, конструкция которой обеспечивает возможность работы на демпфирующей футеровке [5]. Эксплуатация печи в течение длительного периода покажет перспективность ее использования при многошлаковых процессах производства ферроникеля.

В современных условиях рецессии и снижения объема производства металлопродукции усилия ученых и металлургов направлены на повышение

качества продукции, снижение энергетических, материальных затрат и себестоимости продукции, внедрение природоохранных мероприятий, обеспечивающих полную утилизацию вторичных ресурсов и охрану среды обитания.

Колошниковые газы рудотермических печей полностью используются в качестве частичной замены энергетических углей, используемых как пылеугольное топливо при получении огарка, сухая пыль газоочисток, содержащая Ni – 2,8 %; Fe – 23,5 %; SiO₂ – 34,3 %; CaO – 2,4 %; MgO – 15,6 %; Al₂O₃ – 3,4 %, применяется для снижения влажности исходной никельсодержащей руды перед подачей ее на сушильные барабаны.

Высокомагнезиальные электропечные шлаки используются для рекультивации отработанных карьеров, производства строительного щебня, абразивных материалов, оптимизации шлакового режима при производстве марганцевых сплавов и в других направлениях. Образование шлаков ферроникелевого производства составляет 80–105 тыс. т /мес. В том числе до 35 000 гранулированного шлака. До июля 2017 г. весь шлак транспортировался автосамосвалами на рекультивацию. На сегодняшний день на территории комбината ввели в эксплуатации участок по переработке шлаков, что позволяет получать щебень различной фракции от 0 до 300 мм. Полученный щебень реализуют в автодорожном и промышленном строительстве.

Высокоосновные рафинировочные шлаки (B = 2,2–2,4), содержащие свыше 40 % железа, находят применение при выплавке чугуна в

Химический состав образцов шлака

№ образца	Химический анализ в процентном выражении					
	Ni	Fe	MgO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃
1	0,28	13,02	34,69	47,24	0,297	2,248
2	0,26	12,45	31,48	43,80	0,285	2,056
3	10,95	17,60	7,29	16,30	42,66	6,590
4	9,90	17,75	7,26	16,32	42,68	6,62
5	9,33	17,14	7,34	16,42	42,65	6,61

доменной печи и производстве офлюсованных материалов.

При всей многочисленности агрегатов в сложной технологической схеме цепи аппаратов, извлечение никеля в товарную продукцию довольно высокое и составляет 92–95 %. Тем не менее, учитывая высокую стоимость никеля (в 2008 г. 1 кг Ni оценивался в 50–54 дол. США) и его востребованность на мировом рынке, проблема повышения извлечения никеля является актуальной, особенно если он находится в металлической фазе.

Выполненные исследования межфазного распределения никеля в электропечных и рафинирующих шлаках направлены на разработку оптимальных технологических схем извлечения никеля из шлаков.

Для исследования было предоставлено 5 проб шлаков производства ферроникеля с использованием никельсодержащей руды месторождения Гватемала, первые две из которых – гранулированный электропечной шлак и три пробы – рафинировочные шлаки различных периодов рафинирования черного ферроникеля от примесных элементов (табл. 5).

Исследования проводились на установке РСМА (SELMИ РЭМ-106И), электронном микро-

скопе SELMI ПЭМ-100-01 Национального технического университета им. Игоря Сикорского («Киевская политехника») г. Киев.

На основании результатов исследований всех 5 образцов шлаков на установке SELMI РЭМ-106И методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) установлено, что никель, как в электропечных (рис. 2), так и в рафинировочных (рис. 3) шлаках, находится в соединениях с железом в металлической фазе, в оксидной фазе никель не обнаружен. Результаты химического анализа образцов представлены в табл. 6 и 7.

Сера в электропечных шлаках сосредоточена в корольках металла в соединениях с никелем и железом, а в рафинировочных шлаках – в соединении с CaO.

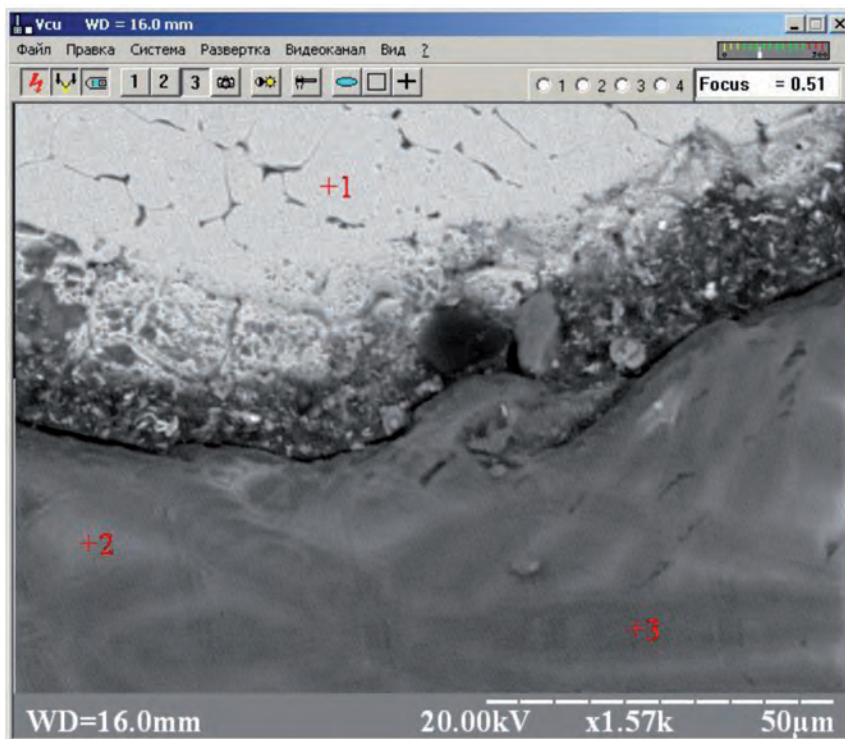


Рис. 2. Результаты РСМА электропечного шлака

Таблица 6

Химический анализ в точках на рис. 2

Химический состав	Ni	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Fe	Cu	Zn
в точке 1	31,46	0,00	0,00	0,23	0,00	0,15	0,06	67,21	0,58	0,26
в точке 2	1,08	5,01	1,00	36,53	0,00	0,92	2,77	51,68	0,21	0,00
в точке 3	2,34	10,92	0,50	43,07	0,00	0,34	0,79	42,04	0,00	0,00

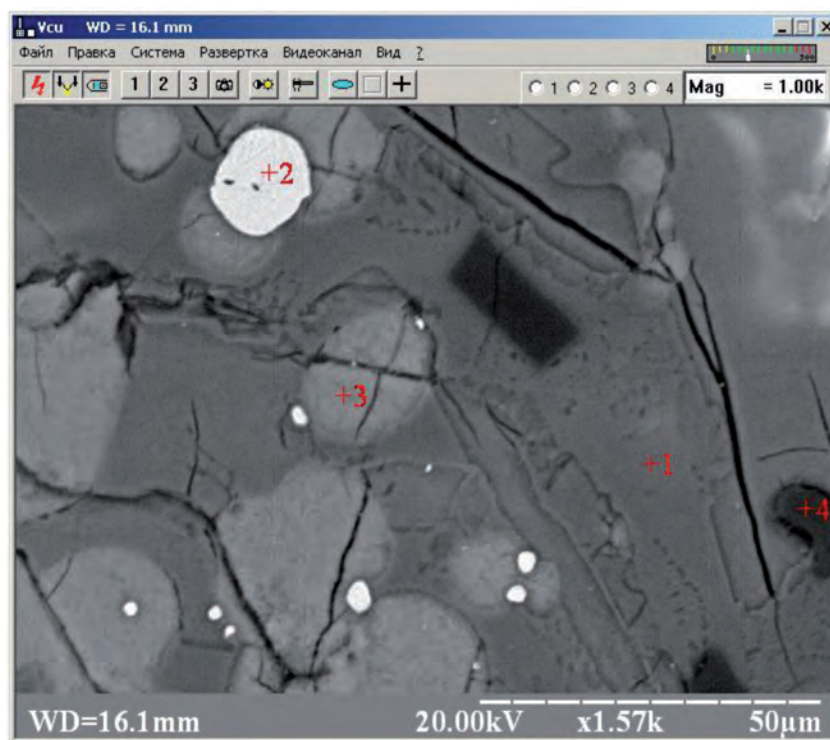


Рис. 3. Результаты РСМА рафинировочного шлака

Таблица 7

Химический анализ в точках на рис. 3

Химический состав	Ni	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe
в точке 1	0,00	0,00	5,63	1,49	0,00	88,61	0,00
в точке 2	42,61	0,00	0,00	0,00	0,11	0,49	56,80
в точке 3	0,00	0,00	0,10	0,08	34,39	65,29	0,13
в точке 4	0,00	88,48	0,00	2,07	0,96	5,07	3,42

Корольки металла в основном имеют шаровидную форму или представлены сростками различной формы и размеров. На некоторых участках образцов наблюдается их значительное количество – до 47 %, а содержание никеля в некоторых корольках достигает ~72 %.

Выводы. Результаты выполненных исследований показали, что использование никельсодержащего сырья зарубежных месторождений, с концентрацией никеля в 1,5–2,5 раза выше, чем в отечественном, позволило значительно улучшить технико-экономические показатели и уменьшить энергетические затраты при получении «огарка» на 90–120 кВт·ч в сравнении с отечественной рудой.

На основании результатов исследования методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) образцов электропечных и рафинировочных шлаков производства ферроникеля из окисленной руды месторождения Гватемалы установлено, что никель в шлаках находится в металлической фазе и концентрируется в корольках или сростках различной формы в соединениях с железом и серой. Содержание никеля в некоторых корольках достигает 72 %. В оксидной фазе, как электропечных, так и рафинировочных

шлаках, никель не обнаружен, и, по всей видимости, находится в микрокорольках, установить и определить размеры которых используемое для исследований оборудование не позволяет.

В дальнейшем предусматриваются исследования и разработка технологических схем обогащения электропечных и рафинировочных шлаков в высокоинтенсивном магнитном поле с использованием современных модернизированных сепараторов.

Библиографический список / References

1. Гасик М. И. Физикохимия и технология электроферросплавов: Учебник для вузов / М. И. Гасик, Н. П. Лякишев. – Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2005 – 448 с.
Gasik M. I., Lyakishev N. P. *Fizikokhimiya i tekhnologiya elektroferrosplovov: Uchebnik dlya vuzov*. Dnepropetrovsk, Sistemnye tekhnologii Publ., 2005, 448 p.
2. Грань Н. И. Электроплавка окисленных никелевых руд / Н. И. Грань, Б. П. Онищин, Е. И. Майзель. – М.: Металлургия, 1971. – 248 с.
Gran' N. I., Onishchin B. P., Maizel' E. I. *Elektroplavka okislennykh nikel'evykh rud* [Electric

smelting of oxidized nickel ores]. Moscow, Metallurgiya, 1971, 248 p.

3. Способ выплавки черного ферроникеля с оптимальным содержанием кремния. Патент № 62847 от 12.09.2011 г. Бюл. № 17, авт. Гасик М. И., Новиков Н. В., Соколов К. Д. и др.

Gasik M. I., Novikov N. V., Sokolov K. D. *Sposob vyplavki chernovogo ferronikelya s optimal'nyim sodержaniem kremniya*. Patent № 62847, 12.09.2011. Byul. № 17.

4. Восстановительная смесь для электротермического производства ферроникеля. Патент Украины № 109001 от 10.08.2016 г. Бюл. № 15, авт. Беспалов О. Л., Приходько С. В., Данов О. В. и др.

Bespalov O. L., Prikhod'ko S. V., Danov O. V. *Vosstanovitel'naya smes' dlya elektrotermicheskogo proizvodstva ferronikelya*. Patent Ukrainy № 109001, 10.08.2016. Byul. № 15.

5. Совместная реконструкция печи № 1 на Побужском ферроникелевом комбинате. М. Джастребески, Т. Кохпер, К. Воллас, Н. В. Новиков и др.

Dzhastrebeski M., Kokhper T., Vallas K., Novikov N. V. *Sovmestnaya rekonstruktsiya pechi № 1 na Pobuzhskom ferroni-kelevom kombinatе*.

6. Исследование работы футеровки рудотермических печей при выплавке ферроникеля / К. Д. Соколов, И. И. Капран, В. Ф. Лихачев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2002. – № 6. – С. 32–35.

Sokolov K. D., Kapran I. I., Likhachev V. F. *Issledovanie raboty futerovki rudotermicheskikh pechey pri vyplavke ferronikelya*. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2002, no. 6, pp. 32–35.

7. Анализ условий и причин износа огнеупоров при выплавке ферроникеля / К. Д. Соколов, А. Н. Овчарук, Н. В. Новиков, И. И. Капран // *Сучасні проблеми металургії*. – 2003. – 198 с.

Sokolov K. D., Ovcharuk A. N., Novikov N. V., Kapran I. I. *Analiz usloviy i prichin iznosa ogneuporov pri vyplavke ferronikelya*. Suchasni problemy metalurgii. 2003, 198 p.

8. Рудовосстановительные электропечи повышенной мощности – новый этап в развитии электротермии на стыке двух тысячелетий // *Сучасні проблеми металургії*. Т. 19, вип. 1. Наукові вісті. – Дніпро: НМетАУ, 2016. – С. 254–260.

Rudovosstanovitel'nye elektropechi povyshennoy moshchnosti – novyy etap v razvitii elektrotermii na styke dvukh tysyacheletiy. Suchasni problemy metalurgii. Vol. 19, issue 1. Naukovi visti. Dnipro, NMetAU, 2016, pp. 254–260.

Purpose. To develop and investigate the electrometallurgical technology of smelting ferronickel using nickel ores of domestic and foreign deposits, which

ensures the production of higher quality ferronickel at lower energy costs and the reduction of nickel losses from furnace and refining slag on the basis of a complex study of the phases of mineral formations by X-ray spectroscopy.

Methodology. Research work within the title of the article was carried out using complex methods for determining the chemical and mineral compositions of the initial nickel ores of various deposits, analysis of the ore preparation processes for reducing electrofusion, methods for analyzing the electric melting temperature of the cinder, the chemical composition of the rough and refining ferronickel is determined. The study of the mechanism of nickel losses with furnace and refining slags has been applied by X-ray spectral microanalysis of phase-mineral formations in multicomponent chemical and mineral phases. Data processing is performed using specific programs.

Findings. Experimental and industrial studies of ferronickel smelting with the use of oxidized nickel ores of deposits of different countries have been carried out: Ukraine (Captain's), New Caledonia, Indonesia, Guatemala. Specific data on the compositions of ferronickel, furnace and refining slags, specific consumption of raw materials and electric power have been obtained. The microstructure of the slags has been studied and the nature of the nickel-containing phases in the slag structure has been revealed.

Originality. Proceeding from the resource-innovative concept of development of electrometallurgical productions on the basis of perfection of the electric furnace equipment, new theoretical and experimental studies, a comprehensive analytical study of the current state of scientific approaches to the perfection of the end-to-end technology for the production of ferronickel in the conditions of PFK LLC was carried out for the first time. For the first time, RSMA was used to study the compositions of phase-segregated formations in the structure of furnace and refined slags as a prerequisite for the development of a technology for magnetic separation of slurries in order to extract nickel-containing inclusions.

Practicality value. In the conditions of a shortage of domestic nickel ore and its relatively low quality in terms of nickel content, the data of industrial multiseriales experiments, justified by an economical and environmental factor that determines the further development of LLC PFC with the use of rich nickel ores while improving the technological modes of smelting and refining ferronickel.

Analyzing the practical significance of the results obtained, it deserves to be noted studies and results of determining the phase-mineral composition of furnace and refining slags as prerequisites for the development of magnetic separation of slags in order to reduce nickel losses in slag during the production of ferronickel.

Key words: ferronickel, ore, deposits, ore roasting, ore-thermal furnaces, smelting technology, slag, nickel-containing inclusions in slag, X-ray microanalysis, increase of nickel extraction.

Рекомендована к публикации
д. т. н. М. И. Гасиком

Поступила 9.10.2017