

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОНИКЕЛЯ ИЗ ОКСИДНЫХ РУД КАЗАХСТАНА

**Колесников А.С., Капсалимов Б.А., Акынбеков Е.К., Калменов М. У., Капсалимов С.А.,  
Махаметов У.Д., Кураев Р.М., Нурдаулет А.Н.**

РГП на ПХВ «Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова»,  
(160012, Казахстан, г.Шымкент, пр-т Тауке хана 5), e-mail: [kas164@yandex.ru](mailto:kas164@yandex.ru)

ТОО «Производственное объединение литейных заводов» 100018, Караганда, Октябрьский район, Октябрьская промышленная зона.

К настоящему времени в Республике Казахстан обнаружено около 40 месторождений силикатных и оксидных никелевых руд, представляющих промышленный интерес. Руды содержат в среднем 1,4 % никеля, а в отдельных участках – до 1,5-3,0 %. Добываемые на казахстанских месторождениях руды в настоящее время перерабатываются в Российской Федерации. Организация собственного промышленного производства никеля из имеющегося в Казахстане в значительном количестве никелевого сырья бесспорно является актуальной задачей.

Таким образом, исследования термодинамического моделирования распределения элементов в системе NiO-CoO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C с помощью программного комплекса «Астра 4» являются новыми и представляют научную новизну по получению товарного ферроникеля путем электротермической переработки оксидных никелевых руд и представляют практическую значимость для экономики и металлургической промышленности Казахстана в целом.

**Ключевые слова:** термодинамический анализ, ферросплав, электротермическая переработка, ферроникель, степень перехода, оксидные никелевые руды.

## STUDY OF RECEIPT OF FERRONICKEL FROM OXIDE ORES OF KAZAKHSTAN

**Kolesnikov A.S., Kapsalyamov B.A., Akynbekov E.K., Kalmenov M.U., Kapsalyamov S.A.,  
Makhmetov U.D., Kuraev R.M., Nurdaulet A.N.**

RSE on the RB "South-Kazakhstan State University named after M.Auezova" (160012, Kazakhstan, Shymkent, pr Tauke Khan, 5), e-mail: [kas164@yandex.ru](mailto:kas164@yandex.ru)

LLC «Production Association foundries» 100018, Karaganda, Oktyabrsky district, October industrial area.

To the present time in the Republic of Kazakhstan revealed about 40 deposits of silicate and oxide Nickel ores, representing industrial interest. Ores contain an average of 1.4 % of Nickel, and in some areas up to 1,5-3,0 %. From the Kazakhstani fields, ore is now processed in the Russian Federation. Organization of own industrial

production of Nickel from existing in Kazakhstan significant amount of Nickel ore is undoubtedly an urgent task.

Thus, the study of thermodynamic modeling of the distribution of elements in the system NiO-CoO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C using software complex «Astra 4» are new and represent the scientific novelty to obtain commercial ferronickel by electro-thermic processing of oxidized Nickel ores and represent the practical significance for the economy and metallurgical industry in Kazakhstan as a whole.

**Keywords:** thermodynamic analysis, ferroalloy, electro-thermic processing, ferronickel, the degree of transition, oxide Nickel ores.

С целью исследования возможности получения ферроникеля из системы NiO-CoO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C нами первоначально с помощью программного комплекса «HSC Chemistry 5», разработанного финской компанией Оутокумпу [1, 4] был произведен расчет энергии Гиббса ( $\Delta G$ ) реакции взятой за базовую NiO+CoO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+5C=2Fe+Ni+Co+5CO, результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1- Расчет энергии Гиббса ( $\Delta G$ ) реакции NiO+CoO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+5C=2Fe+Ni+Co+5CO

T, C	delta H, kcal	delta S, cal/K	delta G, kcal	K	Log(K)
300	176,548	209,302	56,587	2,64E-22	-21,579
400	175,362	207,395	35,754	2,46E-12	-11,609
500	174,044	205,578	15,102	5,38E-05	-4,269
600	172,552	203,763	-5,364	2,20E+01	1,343
700	171,089	202,173	-25,656	5,78E+05	5,762
800	170,608	201,702	-45,848	2,18E+09	9,338
900	169,804	200,987	-65,984	1,97E+12	12,293
1000	169,096	200,421	-86,07	5,97E+14	14,776
1100	167,999	199,59	-106,069	7,64E+16	16,883
1200	166,757	198,719	-125,986	4,92E+18	18,692
1300	165,387	197,819	-145,813	1,81E+20	20,259
1400	164,408	197,201	-165,54	4,22E+21	21,625
1500	171,207	201,083	-185,342	7,02E+22	22,846
Formula	FM	Conc.	Amount,	Amount,	Volume
	g/mol	wt-%	mol	g	l or ml
NiO	74,699	20,223	1	74,699	11,116
CoO	74,933	20,286	1	74,933	11,617
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	159,692	43,233	1	159,692	30,476
C	12,011	16,258	5	60,055	22,922
	g/mol	wt-%	mol	g	l or ml
Fe	55,847	30,238	2	111,694	14,21
Ni	58,7	15,892	1	58,7	6,596
Co	58,933	15,955	1	58,933	6,652
CO(g)	28,01	37,916	5	140,052	112,068

Как видно из таблицы 1 начало протекания реакции наблюдается уже при температуре 600°C, где  $\Delta G$  реакции составляет -5,364 и при последующем увеличении температуры энергия Гиббса реакции становится все более отрицательной, достигая -185,342 при температуре 1500°C.

Таким образом, на основании полученных значений энергии Гиббса по исследуемой реакции  $\text{NiO} + \text{CoO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + 5\text{C} = 2\text{Fe} + \text{Ni} + \text{Co} + 5\text{CO}$  нами было произведено термодинамическое моделирование с помощью программного комплекса «Астра 4» [1-3] возможности получения ферроникеля из системы NiO-CoO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C при давлении 0,1МПа в температурном интервале 600-1800К.

Из таблицы 2, следует, что степень перехода Fe в системе NiO-CoO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C в основном переходит в Fe<sub>к</sub> и составляет от 28,9% при T=1200К до 99,05% при 1800К, для соединения Fe<sub>3</sub>C<sub>к</sub> при T=1200К до 71,02% а с увеличением температуры до 1800К уменьшается до 0,94%.

Степень перехода никеля, в системе NiO-CoO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C показана в таблице 2. Из которой следует, что степень перехода никеля (Ni) в Ni<sub>к</sub> составляет 100% в температурном интервале 600-1400 и с увеличением температуры до 1800К снижается до 99,99% начиная переходить в газовую фазу.

Степень перехода кобальта (Co) в системе NiO-CoO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C показана в таблице 2. Из которой следует, что степень перехода кобальта аналогично никелю, распределяется в Co<sub>к</sub> и составляет 100% в температурном интервале 600-1300 и с увеличением температуры до 1800К снижается до 99,99% начиная переходить в газовую фазу.

Информация о степени распределения углерода (C) и кислорода (O<sub>2</sub>), приведена в таблице 2. Из которой видно, что углерод переходит в газовую фазу в виде CO от 0,01% при 600К до 99,7% при 1800К, в CO<sub>2</sub> до 23,32% при 600К с уменьшением до 0,125% при 1800К и в Fe<sub>3</sub>C<sub>к</sub> до 13,3% при 600К. Кислород в системе распределяется в Fe<sub>3</sub>O<sub>4к</sub> в температурном интервале 600-800К, в CO<sub>2</sub> до 46,65% при 600К с уменьшением до 0,25% при 1800К, и в CO от 0,013 до 99,74% при T=600-1800К (таблица 2).

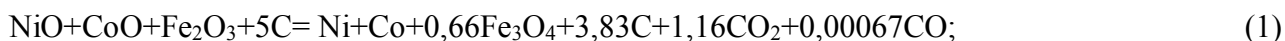
Таблица 2- Степень распределения Fe, Ni, Co, C, и кислорода в системе NiO-CoO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C в температурном интервале 600-1800К при давлении 0,1МПа

Элементы, соединения	Температура, К						
	600	800	100	1200	1400	1600	1800
<i>Распределение никеля</i>							
k*Ni	100	100	100	100	100	99,99985	99,99487
Ni				0	1,36E-06	0,000145	0,005122
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<i>Распределение кобальта</i>							

Продолжение таблицы 2							
k*Co	100	100	100	100	100	99,99987	99,99554
Co				0	1,25E-06	0,000123	0,004454
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<i>Распределение железа</i>							
Fe				0	2E-06	0,000170	0,005117
k*Fe3C		0	100	71,02595	9,50848	2,215779	0,942797
k*Fe			0	28,97405	90,49152	97,78405	99,05208
k*Fe3O4	100	100	0				
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<i>Распределение углерода</i>							
CO	0,013456	1,487946	44,70088	81,05912	97,4645	99,40921	99,74867
CO2	23,32613	22,58921	27,64956	9,470441	1,267711	0,295346	0,125620
k*Fe3C		0	13,33314	9,470441	1,267785	0,295442	0,125709
k*C	76,66041	75,92285	14,31643	0			
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<i>Распределение кислорода</i>							
CO	0,013457	1,487957	44,70088	81,05912	97,46458	99,40930	99,74875
CO2	46,65329	45,17875	55,29912	18,94088	2,535424	0,590693	0,251240
k*Fe3O4	53,33325	53,33329	0				
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

На основании проведенного термодинамического исследования системы NiO-CoO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C получены химические уравнения при температурах 573К, 1173К и 1773К:

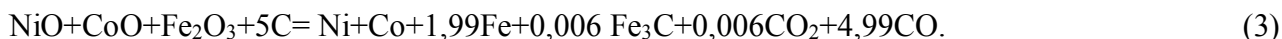
600К



1200К



1800К



Таким образом, по результатам исследования термодинамическим моделированием системы NiO-CoO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C следуют следующие выводы:

- степень перехода Fe в системе NiO-CoO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-C в основном переходит в Fe<sub>k</sub> и составляет от 28,9% при T=1200К до 99,05% при 1800К, для соединения Fe<sub>3</sub>C<sub>k</sub> при T=1200К до 71,02% а с увеличением температуры до 1800К уменьшается до 0,94%;

- степень перехода никеля (Ni) в Ni<sub>k</sub> составляет 100% в температурном интервале 600-1300 и с увеличением температуры до 1800К снижается до 99,99% начиная переходить в газовую фазу;

- степень перехода кобальта аналогично никелю, распределяется в  $Co_k$  и составляет 100% в температурном интервале 600-1300 и с увеличением температуры до 1800К снижается до 99,99% начиная переходить в газовую фазу;

- углерод переходит в газовую фазу в виде CO от 0,01% при 600К до 99,7% при 1800К, в  $CO_2$  до 23,32% при 600К с уменьшением до 0,125% при 1800К и в  $Fe_3C_k$  до 13,3% при 600К;

- кислород в системе распределяется в  $Fe_3O_{4k}$  в температурном интервале 600-800К, в  $CO_2$  до 46,65% при 600К с уменьшением до 0,25% при 1800К, и в CO от 0,013 до 99,74% при  $T=600-1800K$ .

Таким образом, на основе теоретических расчетов системы NiO-CoO- $Fe_2O_3$ -C согласно ТУ 48-3-59-84 «Ферроникель» возможно получение ферроникеля марки ФН-1 с содержанием суммы массовой доли Ni+Co не менее 25% и массовой долей примесей Co - 0,25%, Si - 0,10%, C - 0,10%, Cr - 0,50%, Cu - 0,50%, S - 0,20%, P - 0,02%, Al - 0,05%, Mn - 0,05%, W+Mo - 0,5%. По согласованию изготовителя с потребителем, в ферроникеле допускаются изменения массовой доли элементов, полезных для выплавки отдельных марок сталей и чугунов: Co, Si, Cr, Cu, W, Mo.

#### Список литературы

1. Синярев Г.Б., Ватолин Н.А. и др. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов, Москва, 1982, 263с.
2. Трусов Б.Г. Термодинамический метод анализа высокотемпературных состояний и процессов и его практическая реализация, Москва, МГУ. Дис. докт. техн. наук, 1984, 292с.
3. Колесников А.С. Разработка комплексной электротермической технологии извлечения цветных металлов и железа из клинкера вельцевания оксидных руд: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук– Алматы.: ЦНЗМО, 2008. –132с
4. Roine A. Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium software with Extensive Thermochemical Database. Pori: Outokumpu Research OY, 2002