

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЯ ИЗ ОТХОДА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

**Колесников А.С., Капсалиямов Б.А., Акынбеков Е.К., Туребекова А.М., Отарбаев Н.Ш.,
Капсалиямов С.А., Гонтаренко К.И., Стрюковский И.А., 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

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

Важное значение в повышении качества конструкционных сталей имеют ферросплавы. Развитие теории и технологии производства ферросплавов является актуальным направлением в металлургии специальных сталей. Эффективность этой подотрасли черной металлургии во многом определяется стоимостью сырья и восстановителя.

Исследования термодинамического моделирования распределения элементов в конденсированную и газовую фазы в системе $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{C-C}$ с помощью программного комплекса «Астра 4» являются новыми и представляют научную новизну.

Таким образом, исследования по получению товарного ферросилиция путем электротермической переработки отвала клинкера вельцевания представляют практическую значимость в виду того, что одновременно решается ряд проблем Кентауского региона, таких как наличие новых рабочих мест и снижение экологической нагрузки региона.

Ключевые слова: термодинамический анализ, ферросплав, электротермическая переработка, ферросилиций, степень перехода.

STUDY OF RECEIPT OF FERROSILICON OF WASTE OF METALLURGICAL PRODUCTION

**Kolesnikov A.S., Kapsalyamov B.A., Akynbekov E.K., Turebekova A.M., Otarbayev N.Sh.,
Kapsalyamov S.A., Gontarenko K.I., Stryukovskiy I.A., 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

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

Are Important in improving the quality of structural steel have ferroalloys. Development of theory and technology of production of ferroalloys is a topical issue in metallurgy of special steels. The effectiveness of this sub-sector of ferrous metallurgy is largely determined by the cost of feedstock and reductant.

Study of thermodynamic modeling of the distribution of elements in конденсированную and the gas phase in the $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{C-C}$ with the help of the software complex «Astra 4» are new and represent scientific novelty.

Thus, research to obtain commercial ferrosilicon by electro-thermic processing blade clinker вельцевания are of practical importance in view of the fact that simultaneously solves a number of problems of Kentaу in the region, such as the availability of new jobs and reduction of environmental load of the region.

Keywords: thermodynamic analysis, ferroalloy, electro-thermic processing, ferrosilicon, the degree of transition.

В настоящей дипломной работе рассматривается возможность образования силицидов железа из клинкера вельцевания на основе теоретических исследований термодинамического моделирования в интервале температур 1700-2100К и давлении $P=0,1\text{МПа}$. Для количественного термодинамического моделирования процессов образования силицидов железа (Fe_mSi_n) был использован программный комплекс «Астра-4», основанный на принципе максимума энтропии, разработанный в МВТУ им. Баумана [3,4].

В работе [1] отмечено, что в клинкере вельцевания железо находится в виде цементита- Fe_3C . Наличие карбидов железа в клинкере вельцевания Ачисайской цинковой руды подтверждается рентгенограммой, приведенной в работе [2] учеными ЮКГУ им. М. Ауезова.

В результате проведенного термодинамического анализа системы $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{C-C}$ нами теоретически исследована возможность образования силицидов железа на основе термодинамического моделирования в интервале температур 1700-2500К и давлении $P=0,1\text{МПа}$.

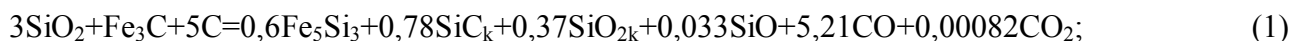
В системе $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{C-C}$ рассмотрено взаимодействие SiO_2 с карбидом железа (Fe_3C) и углеродом.

Влияние температуры на распределение железа (Fe), кремния (Si), углерода (C) и кислорода (O) в системе $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{C-C}$ характеризуется образованием 6 элементами и различными соединениями: Fe, FeO, FeSi, Fe_5Si_3 , Fe_3Si , Si, Si_2 , Si_3 , CO и CO_2 . Из таблицы 1 следует, что степень перехода Fe в Fe_mSi_n в системе $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{C-C}$ при соотношении $\text{SiO}_2/\text{Fe}_3\text{C/C}$, равном 3/1/5, соответственно составляет для соединения Fe_5Si_3 до 100% (при $T=1800\text{ K}$), для соединения FeSi до 82,24% (при $T=1900\text{ K}$) и для соединения Fe_3Si до 71,9% (при $T=2500\text{ K}$).

Степень перехода Si в Fe_mSi_n в системе $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{C-C}$ при вышеназванном соотношении приведена в таблице 1. Из которой следует, что степень перехода Si в ферросплав составляет для соединения Fe_5Si_3 до 60,2% (при $T=1800\text{ K}$), для соединения FeSi до 82,55% (при $T=1900\text{ K}$) и для соединения Fe_3Si до 24,0% (при $T=2500\text{ K}$).

При рассмотрении взаимодействия в системе $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{C-C}$ была принята реакция $3\text{SiO}_2+\text{Fe}_3\text{C}+5\text{C}=3\text{FeSi}+6\text{CO}$. Для системы $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{C-C}$ химические уравнения взаимодействия в температурном интервале 1800-2500 К (1800, 1900, 2000 и 2500 К) соответственно имеют вид:

- 1800 К



- 1900 К



- 2000 К



- 2500 К

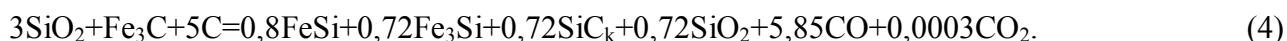


Таблица 1- Степень распределения Fe и Si в системе $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{C-C}$ в температурном интервале 1800-2500К при давлении 0,1МПа

Элемент, соединение	Температура, К							
	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500
Распределение Si, %								
Si	1,6E-05	0,0001	0,0008	0,0039	0,0159	0,05651	0,19533	0,62145
Si ₂	0	9,1E-07	9,2E-06	7,5E-05	0,00050	0,00284	0,01626	0,08324
Si ₃			0	9E-07	9,203E-	7,658E-	0,00067	0,00519
SiO	1,12687	3,2597	4,68838	6,50624	8,74651	11,4320	16,7857	24,1809
k*SiO ₂	12,4285	0						
SiO ₂	2,8E-06	8E-06	8,9E-06	0,00099	1,0E-05	1,1E-05	1,5E-05	2E-05
k*SiC	26,2114	3,48495	4,90905	6,72369	8,95961	11,6303	16,9273	24,1186
SiC				0	5,5E-07	3,6E-06	2,0E-05	9,8E-05
SiC ₂	4E-07	3,6E-06	3E-05	0,0002	0,00109	0,00525	0,02036	0,06999
Si ₂ C	4,3E-07	7,1E-06	6,2E-05	0,00044	0,00258	0,01303	0,06208	0,26481
Si ₂ C ₂			0	4,8E-07	4,1E-06	2,9E-05	0,00017	0,00090

Si ₃ C			0	1,7E-06	5,7E-06	0,00014	0,00116	0,00816
k*FeSi	0	82,5592	75,4465	66,4125	55,3318	42,1392	49,1965	26,5721
k*Fe ₅ Si ₃	60,2332	10,696	14,9551	20,3519	26,9419	34,7204	0	
k*Fe ₃ Si					0	5,1E-06	16,7942	24,0751
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100
Распределение Fe, %								
Fe	0,0015	0,00569	0,01926	0,05768	0,15554	0,38314	0,80860	1,58716
FeO					0	2,7E-07	5,9E-07	1,2E-06
k*FeSi	0	82,2447	75,1526	66,1543	55,1162	41,9750	49,0049	26,4686
k*Fe ₅ Si ₃	99,9985	17,7496	24,8281	33,788	44,7282	57,6418	0	
k*Fe ₃ Si					0	1,5E-05	50,1864	71,9441
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100

Таким образом, как видно из таблицы 5 и химических уравнений, при взаимодействии в системе SiO₂-Fe₃C-C возможны образования группы силицидов кремния с содержанием кремния от 14 до 33%. Это соответствует маркам ферросилиция ФС20 и ФС25 согласно ГОСТ 1415-93(ИСО 5445-80). Межгосударственный стандарт. Ферросилиций. Технические требования. При этом степень извлечения в сплав кремния α_{Si} от 24 до 82,5%, железа α_{Fe} от 71,9 до 100% с оптимумом в температурном интервале 1800-2000 К.

Список литературы

1. Абдеев М.А., Колесников А.В., Ушаков Н.Н. Вельцевание цинксвинцовсодержащих материалов. – М.: «Металлургия», 1985. –120 с.
2. Колесников А.С., Капсалямов Б.А., Колесникова О.Г., Кураев Р.М., Стрюковский И.А. Технология переработки отхода цинковой промышленности с получением ферросплава и возгонов цветных металлов. //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallургия. Челябинск, 2013г. Т.13, №1, С.34-39.
3. Синярев Г.Б., Ватолин Н.А. и др. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов, Москва, 1982, 263с.
4. Трусов Б.Г. Термодинамический метод анализа высокотемпературных состояний и процессов и его практическая реализация, Москва, МГУ. Дис. докт. техн. наук, 1984, 292с.