

Резюме

В статье рассмотрена принципиальная возможность извлечения золота из упорной руды и хвостов флотации одного из казахстанских месторождений (содержание золота – 5,6 и 2,6 г/т). В исследованиях был использован метод биовыщелачивания как наиболее эффективный для переработки упорных сульфидных руд и отходов производств. Этот метод обладает существенными преимуществами и характеризуется простотой технологической схемы за счет отказа от высоких температур и давлений благодаря более полному вскрытию руд биореагентами. Для проведения экспериментов в качестве растворителей золота использовался неорганический растворитель (H_2SO_4) и органическая добавка (древесные грибы рода *Phellinus*). Эксперименты показали, что при выщелачивании раствором серной кислоты с органической добавкой (древесные грибы) из пробы хвостов извлекается в раствор 75,0 % Au при 20°C, а из пробы упорной сульфидной руды акбайского золоторудного месторождения в этих же условиях извлекается 70,0 % Au. Таким образом, представленные результаты исследований показали, что введение органических добавок в раствор серной кислоты интенсифицирует процесс выщелачивания золота без использования высоких температур и давлений.

Ключевые слова: хвосты флотации, серная кислота, древесные грибы рода *Phellinus*, упорная сульфидная руда, золотоносная руда, выщелачивание, органические добавки

Түйіндеме

Статьяда казахстан жерінің (алтынның құрамы-5,6 г/т, 2,6 г/т) өңделуі қиын және флотация қалдықтарынан алтын алудың тікелей мүмкіндіктері қарастырылған. Тәжірибеде алтынды ерітуге бейорганикалық еріткіш ретінде (H_2SO_4), органикалық қоспа (*Phellinus* ағаш жаңқасы) қолданды. Тәжірибе нәтижесінде қалдықтардан күкірт қышқылы мен органикалық қоспамен (*Phellinus* ағаш жаңқасы) шаймалауда ерітінді бойынша алтын алу -75%, акбай өңделуі қиын алтынды сульфидті кенінен 20 °C- та 70 % алтын алынды. Сонымен, тәжірибе қорытындысы жоғарғы температура мен қысымсыз, күкірт қышқылы мен органикалық қоспамен шаймалауда алтын алу мөлшері жоғарылайды.

Түйін сөздер: қалдықтар, күкірт қышқылы, *Phellinus* ағаш жаңқасы, өңделуі қиын сульфидті кен, құрамында алтыны бар кен

Поступила 05. 02. 2013

УДК 621.36:552,53

**Комплексное использование
минерального сырья. № 1. 2013.**

А.С. КОЛЕСНИКОВ

РГП «Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова», г. Шымкент
kas164@rambler.ru

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ СИ- ЛИЦИДОВ ЖЕЛЕЗА (Fe_mSi_n) В СИСТЕМЕ SiO_2 - Fe_3C -C

Исследования в данной статье направлены на разработку ресурсо- и энергосберегающей технологии производства ферросилиция с сокращением до минимума расходов дефицитных составляющих сырья - кокса и железной стружки, а также на решение экологической проблемы - на утилизацию отходов цинковой промышленности. Приведены термодинамические исследования процесса образования различных модификаций ферросплава ($FeSi$, Fe_5Si_3 , Fe_3Si) в системе SiO_2 - Fe_3C -C. Показана принципиальная возможность образования ферросилиция при взаимодействии Fe_3C и SiO_2 в присутствии углерода в условиях электротермической плавки.

Исследовано влияния температуры на распределение железа (Fe), кремния (Si) в температурном интервале 1700-2500К и давлении 0,1МПа. Найдены оптимальные температурные интервалы распределения железа и кремния в ферросилиции. Получены химические уравнения взаимодействия в системе, в которых показаны все образуемые элементы и соединения при различных температурных интервалах.

Ключевые слова: ферросплав, силициды железа, цементит, клинкер вельцевания, электроплавка, термодинамическое моделирование

Введение. Получение высококачественной стали невозможно без развития и совершенствования производства ферросплавов. В металлургии стали основным наиболее распространенным раскислителем является ферросилиций. Все возрастающая стоимость шихтовочных материалов (колоши) для производства ферросилиция снижает рентабельность и повышает себестоимость выплавки ферросилиция, поэтому, как показал проведенный анализ источников информации, научные работники и производственники предпринимают попытки совершенствовать производство ферросплавов путем изменения технологического режима электроплавки, а также использованием в качестве сырья дешевых и недефицитных материалов. Стоимость составляющей колоши для выплавки ферросилиция, железной стружки ежегодно растет в связи с ростом цены на лом черных металлов. Стоимость другой составляющей ферросилициевой колоши, доменного кокса, с каждым годом возрастает из-за уменьшения запасов и повышения себестоимости добычи коксующихся углей, а также в связи с увеличением мировых цен на энергоносители.

В настоящее время из-за отсутствия экономически оправданной технологии переработки в отвалах накопилось около 5-6 миллионов тонн клинкера вельцевания окисленной, карбонатной цинковой руды и шлаков шахтной свинцовой плавки, которые, по сравнению с клинкером вельцевания цинковых кеков, не содержат благородных металлов. Данное количество клинкера содержит около 100 тысяч т цинка, 10 тысяч т свинца, 20 тысяч т меди, более 1 млн т железа, 1,2 млн т кремнезема, около 0,7- 1,0 млн т углерода и т.д. Несмотря на это ачисайский клинкер рассматривается сейчас только как сырье для извлечения углерода и получения железосодержащего магнитного концентрата с извлечением в него до 80% железа.

Исследования в данной статье направлены на разработку ресурсо- и энергосберегающей технологии производства ферросилиция с сокращением до минимума расхода дефицитных составляющих ферросилициевой шихты - кокса и железной стружки, а также на решение экологической проблемы – утилизацию отвального клинкера вельцевания окисленной цинковой руды.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов. Предлагаемая технология переработки клинкера вельцевания окисленной цинковой руды с получением ферросилиция позволяет получать товарный (ГОСТированный) ферросилиций.

В соответствии с [1-6] в клинкерах вельцевания различных материалов железо находится в восстановленном состоянии в форме Fe, FeO, Fe₃O₄. В работе [3] отмечено, что в клинкере вельцевания железо находится в виде цементита- Fe₃C. Наличие карбидов железа в клинкере вельцевания Ачисайской цинковой руды подтверждается рентгенограммой, приведенной в работе [4].

В статье рассматривается возможность образования силицидов железа на основе термодинамического моделирования в интервале температур 1700-2500К и давлении $p=0,1$ МПа. Для количественного термодинамического моделирования процессов образования силицидов железа (Fe_mSi_n) был использован программный комплекс «Астра-4», разработанный в МВТУ им. Баумана, основанный на принципе максимума энтропии - фактора, связанного со степенью упорядоченности энергетического состояния микрочастиц, из которых состоит рабочее тело [7].

В системе SiO_2-Fe_3C-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 SiO_2-Fe_3C-C характеризуется образованием 4 элементами и различными соединениями: Fe, FeO, FeSi, Fe_5Si_3 , Fe_3Si , Si, Si_2 , Si_3 , CO и CO_2 . Из рисунка 1 следует, что степень перехода Fe в Fe_mSi_n в системе SiO_2-Fe_3C-C при соотношении $SiO_2/Fe_3C/C$, равном 3/1/5, соответственно составляет для соединения Fe_5Si_3 до 100% (при $T=1800$ K), для соединения FeSi до 82,24% (при $T=1900$ K) и для соединения Fe_3Si до 71,9% (при $T=2500$ K).

Степень перехода Si в Fe_mSi_n в системе SiO_2-Fe_3C-C при вышеназванном соотношении показана на рисунке 2. Из которого следует, что степень перехода Si в ферросплав составляет для соединения Fe_5Si_3 до 60,2% (при $T=1800$ K), для соединения FeSi до 82,55% (при $T=1900$ K) и для соединения Fe_3Si до 24,0% (при $T=2500$ K).

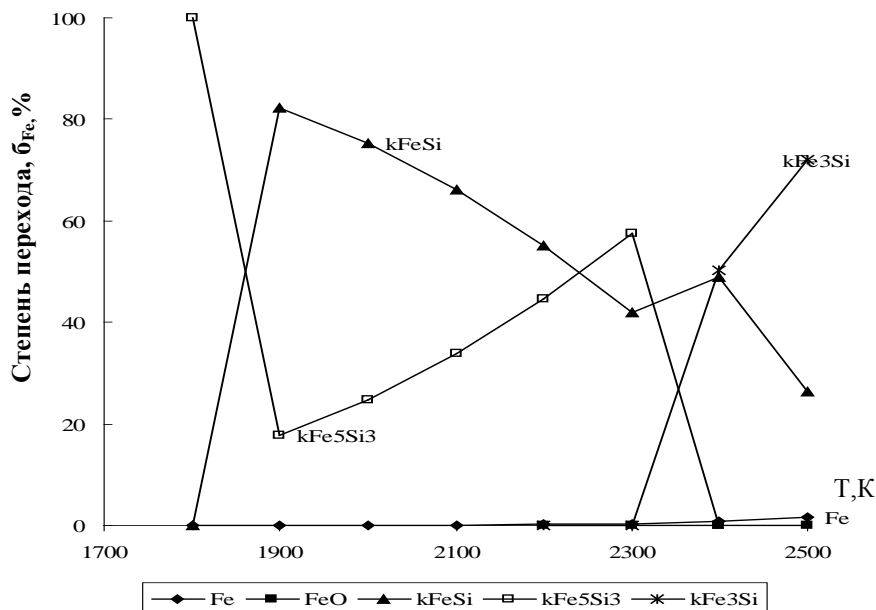


Рисунок 1- Влияние температуры (Т) на степень распределения (б) Fe в системе SiO_2-Fe_3C-C

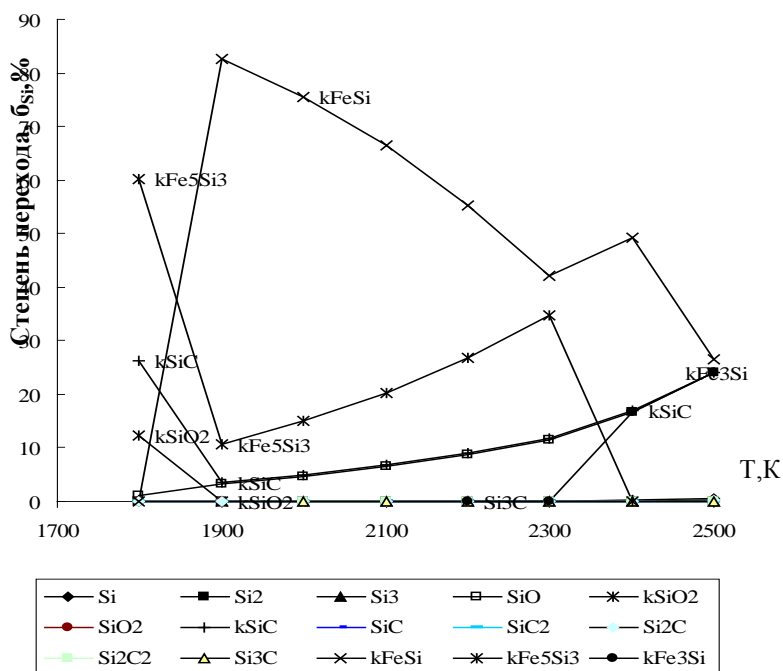


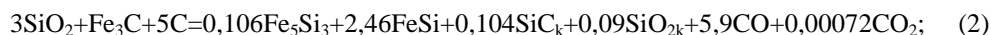
Рисунок 2- Влияние температуры (Т) на степень распределения (б) Si в системе SiO₂-Fe₃C-C

При рассмотрении взаимодействия в системе SiO₂-Fe₃C-C была принята реакция $3\text{SiO}_2 + \text{Fe}_3\text{C} + 5\text{C} = 3\text{FeSi} + 6\text{CO}$. Для системы SiO₂-Fe₃C-C химические уравнения взаимодействия в температурном интервале 1800-2500 К (1800, 1900, 2000 и 2500 К) соответственно имеют вид:

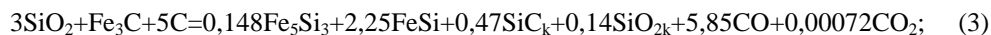
- 1800 К



- 1900 К



- 2000 К



- 2500 К



Выводы. Как видно из рисунков 1 и 2 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, ФС25. Степень извлечения в сплав кремния б_{Si} от 24 до 82,5%, железа б_{Fe} от 71,9 до 100% с оптимумом в температурном интервале 1800-2000 К.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Абдеев М.А., Юсупова А.И., Пискунов В.М., Колесников А.В. Извлечение ценных компонентов из отвальных продуктов производства тяжелых цветных металлов. – М.:Цветмет-информация, 1980. – 48 с.
- 2 Абдеев М.А., Колесников А.В., Ушаков Н.Н. Вельцевание цинк-,свинецсодержащих материалов. – М.: Металлургия, 1985. – 120 с.
- 3 Лоскутов Ф.М. Металлургия цинка: учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1945. – 432 с.
- 4 Колесников А.С. Разработка комплексной электротермической технологии извлечения цветных металлов и железа из клинкера вельцевания оксидных руд: автореф. ... канд. техн. наук: 05.16.02., - Алматы: ЦНЗМО, 2008. –23 с.
- 5 Шевко В.М., Капсаямов Б.А., Бишимбаев В.К., Колесников А.С., Картбаев С.К. Комплексная электротермическая переработка клинкеров вельцевания оксидных ачисайских цинксодежащих руд (монография). - Шымкент, 2009. - 153 с.
- 6 Шевко В.М., Капсаямов Б.А., Колесников А.С. Термодинамическое моделирование образования карбида железа (Fe_3C) в системах nFeO-mC и fFeO-ICO // Научные труды ЮКТУ им. М. Ауезова, Шымкент, 2005. –№ 8. –С.33–36.
- 7 Синярев Г.В., Ватолин Н.А., Моисеев Г.К. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов. –М.:Наука, 1962. –263 с.

Түйіндеме

Мақалада $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{C-C}$ жүйесінде (FeSi , Fe_5Si_3 , Fe_3Si) силицид топтарының түзілуінің термодинамикалық зерттеуі келтірілген. Электротермиялық балкыту шартында көміртектің қатысуымен Fe_3C және SiO_2 өзара әрекеттесуінде феррокорытпаның принципіалды түзілу мүмкіндігі көрсетілген. Кремнийдің (Si), темірдің (Fe) 1700-2500K температура аралығында таралуына температураның әсер етуі зерттелген. Темір силицидінде темір мен кремнийдің таралуының ықтималды температура аралығы табылған. Әртүрлі температура кезінде көрсетілген барлық түзілген элементтер мен қосылыстардың, өзара әсерлесу жүйесінің химиялық теңдеулері алынған.

Түйін сөздер: феррокұйма, темір силицидтері, цементит, вельцтеу клинкер, электрбалкыту

Summary

In given article studies are directed on development of resource and energy saving technologies for production of ferrosilicon with reduction down to minimum consumption of deficit components of raw materials such as - coke and iron shaving, as well as, on decision of the ecological problem - on recycling of zinc industry waste. Thermodynamic researches of ferrosilicon's different modifications (FeSi , Fe_5Si_3 , Fe_3Si) formation in $\text{SiO}_2\text{-Fe}_3\text{C-C}$ system are presented. Principle possibility of ferrosilicium formation at Fe_3C and SiO_2 interaction in the presence of carbon at electrothermal smelting is shown. Influence of the temperature on distribution of iron (Fe) and silicon (Si) in temperature interval 1700-2500K at pressure 0,1 MPa was investigated. The optimum temperature intervals for iron and silicon distribution in ferrosilicon are found. Chemical equations of the interactions in the system are found, in which all formed under different temperature intervals elements and compounds are shown.

Keywords: ferroalloy, ferrosilicon, iron silicide, iron carbide, forge-rolling clinker, electrosmelting, thermodynamic modelling

Поступила 28. 01. 2013.