

3. Шайхутдинов, Д.В. Измерение магнитных характеристик элементов мехатронных систем в режиме последовательного резонанса / Д.В. Шайхутдинов, М.В. Ланкин, В.В. Боровой // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2009. – Спец. выпуск: Мехатроника. Современное состояние и тенденции развития. – С.177-179.

4. Коген-Далин, В.В. Расчет и испытание систем с постоянными магнитами / В.В. Коген-Далин, Е.В. Комаров. – М.: Энергия, 1977. – 248 с.

5. Широков К.М. Устройство магнитного контроллера для подсистемы управления производством электротехнических изделий / Широков К.М., Шайхутдинов Д.В., Дубров В.И., Январев С.Г., Ахмедов Ш.В., Шайхутдинова М.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: www.science-education.ru/113-11665 (дата обращения: 16.05.2014).

**«Новые технологии, инновации, изобретения»
Турция (Анталья), 20-27 августа 2014 г.**

Технические науки

**АГЛОМЕРАЦИЯ МАРГАНЦЕВЫХ
РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

Тлеуов А.С., Тлеуова С.Т., Алтыбаев Ж.М.

*РГП на ПХВ «Южно-Казахстанский
государственный университет им. М. Ауэзова
Министерства образования и науки Республики
Казахстан», Шымкент, e-mail: tлеuov@mail.ru*

В развитии металлургии особое место занимают первичные и вторичные материальные ресурсы, являющиеся равноценными компонентами сырьевой базы отрасли, которые являются важнейшими факторами развития экономики. Сбалансированность возрастающих объемов и масштабов производства с материально-техническим обеспечением должна достигаться путем увеличения в ресурсопотреблении доли сырья и материалов и высвобождения за счет этого первичных ресурсов [1].

Образование значительных масс отходов характерно для большинства отраслей промышленности. Безотходные и малоотходные технологии только начинают внедряться и не оказывают пока определяющего влияния на снижение уровня отходов производства. По данным учета отходов производства и потребления на всех предприятиях СНГ, в различных отраслях народного хозяйства накопилось около 5 млрд. т. твердых отходов. Причем, значительная их часть приходится на долю Казахстана, которые, в основном, не перерабатываются и складироваться в отвалах, на свалках, хвостохранилищах и т. д. [2].

В Казахстане марганец является одним из наиболее широко применяемых легирующих элементов стали, повышающий ее прокаливаемость, твердость, предел прочности и текучести. Марганец в составе ферромарганца и силикомарганца является как раскислитель и легирующая добавка к стали и сплавам. В Казахстане годовая добыча марганцевых руд достигает 0,5 млн. тонн. Около половины добываемой в Казахстане руды перерабатывается на Жездинской обогатительной фабрике, выпускающей концентрат с содержанием 33-39% марганца [3, 4]. При этом руда с низким содержанием железа (не более 5% железа) перерабатывается для получения марганцевого концентрата, из которого производят металлический марганец, чистый низкоуглеродистый ферро-

марганец. Руда с более высоким содержанием железа используется для производства силикомарганца. Потребителями продукции предприятия являются Ермаковский ферросилициевый завод (г. Ермак, Павлодарская область) и металлургические заводы России [5].

Задачей для Юга Казахстана является уменьшение количества накопленных отходов угледобычи, что возможно за счет сокращения их образования и увеличения степени их использования. Уровень использования отходов углеобогащения крайне низок. Сложившаяся ситуация в сфере обращения с отходами на юге Казахстана, в настоящее время неблагоприятна в экологическом плане. Перспективным направлением является использование в качестве углеродсодержащего компонента отходов обогащения, окисленных углей, а также некондиционной мелочи энергетических углей. Использование углеотходов в металлургической промышленности является весьма эффективным в плане замены флюсового компонента и сокращения расхода на дорогостоящий кокс [6,7].

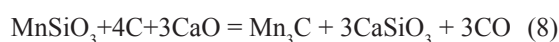
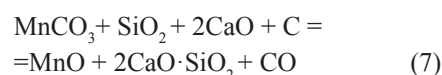
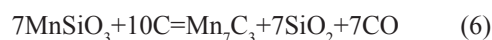
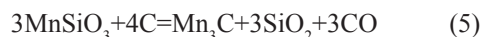
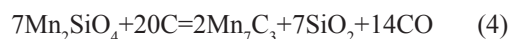
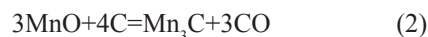
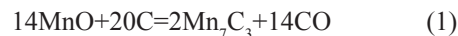
Исследование физико-химических закономерностей агломерации металлургического марганецсодержащего сырья с использованием нетрадиционных видов топлива, для получения марганца, а также его сплавов является актуальной. Проведенные исследования позволяют обосновать теоретические основы технологии агломерации марганецсодержащего сырья в присутствии углеродсодержащих отходов.

С целью исследования характера дегидратации и декарбонизации мелочи марганецсодержащего сырья и смесей проб руды с коксом при различных соотношениях с углеотходами был использован метод дифференциально-термического анализа. Дериватограммы смеси марганцевой рудой с коксом при соотношении кокса к отходам угледобычи равной 1:1, 1:2 характеризуется двухступенчатым экзоэффектом в области 280-320 и 480-520К, свидетельствующий об удалении кристаллогидратной влаги. Эндоэффект характерен для декарбонизации карбоната марганца находится в области 810-1015К. Причем, при соотношении кокса к углеотходам равной 1:2 эндоэффект перемещается в высокотемпературную область.

Микроструктурный точечный анализ пробы марганцевой руды Жайремского месторождения показал о наличии марганца – 41 %, а также

кальция – 13,9%, алюминия – 9,69% и магния – 7,46%. Интенсивный импульсный пик свидетельствует о наличии в пробе кремния до 22%. Микроанализ шихты, состоящей из марганцевой руды, кокса и углеотходов, представлен на рисунке 1. Исследованные пробы точечного анализа в различных спектрах характеризуются наличием углерода до 94,89%, кремния до 20,98%, кальция до 13,72%, железа до 52,45%, магния до 3,31%, натрия до 7,29%, а также содержанием фосфора 4,82%, серы 2,98%, калия до 2,05%, меди 3,09% и хлора 2,09%. Содержание этих элементов по интенсивности пиков полной шкалы содержания свидетельствует о наличии этих элементов в виде оксидных соединений, с включениями сульфидов железа, меди, кальция, с незначительными примесями хлоридов натрия и калия.

Для термодинамических исследований разложения силикатов марганца в присутствии соединений диоксида кремния, оксида кальция и углерода, характерных для отходов угледобычи при агломерационном обжиге использованы следующие реакции:



Изменение энергии Гиббса и Log K рассчитывали с учетом фазовых превращений компонентов и в условиях, характерных для избытка кислорода (разряжение) агломерационного обжига в интервале 273 – 1800 К.

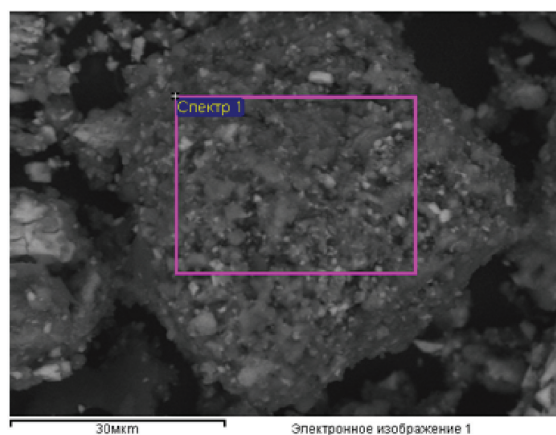
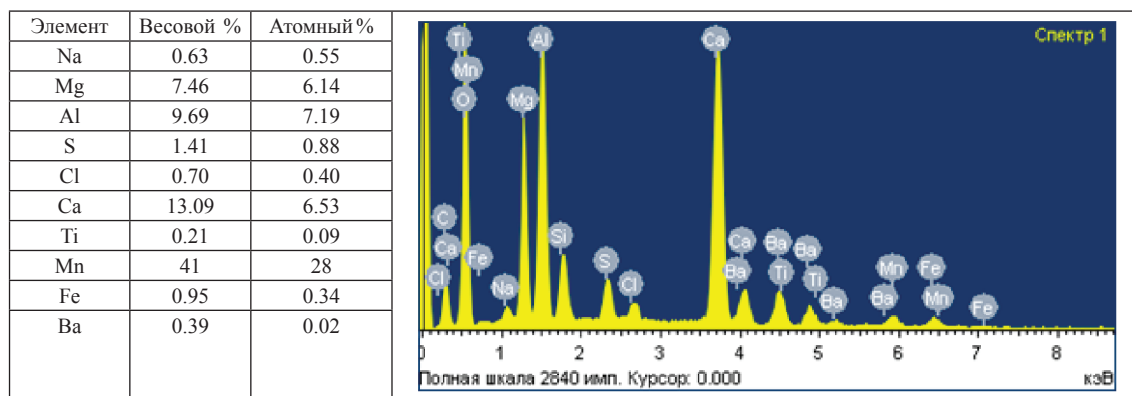


Рис. 1. Проба марганцевой руды Жайремского месторождения

Анализ полученных результатов расчета изменений энергии Гиббса, исследуемых реакций, свидетельствует о термодинамической вероятности протекания реакций в интервале 1000 – 1500К. Реакции разложения карбона-

та марганца в присутствии диоксида кремния, оксида кальция, железа и углерода в низкотемпературной области имеет высокую термодинамическую вероятность протекания. Об этом свидетельствует максимальные отрицательные

значения энергии Гиббса. При повышении температуры выше 1700 К энергия

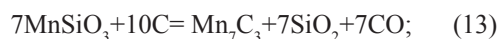
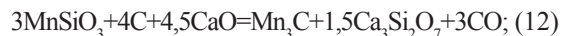
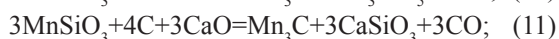
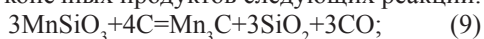
Гиббса незначительно перемещается в положительную область, но термодинамическая вероятность протекания остается.

Анализ расчета энергий Гиббса реакций 1-8 свидетельствует о термодинамической возможности протекания этих типов, связанных с образованием высших оксидов марганца, а также карбидов марганца возможно только в высокотемпературной области. В низкотемпературной области термодинамическая вероятность протекания реакций по значениям энергии Гиббса невозможна.

Для улучшения технико-экономических показателей выплавки марганцевых сплавов в руднотермических печах из руд, и изучения возможности процессов разложения марганцевых руд, необходима предварительная агломерация сырья.

Марганцевые сплавы, как известно, маркируют по содержанию углерода. При электроплавке марганецсодержащего сырья в присутствии восстановителя в интервале 500-1800 К возможно протекание процессов перехода высших оксидов марганца в низшие, а также образование как восстановленного марганца, так и карбидов.

В этой связи нами проведены термодинамические исследования возможности разложения силикатов марганца в присутствии углерода и оксида кальция. Расчет энергии Гиббса в интервале 273-2273 К выполняли на ЭВМ с учетом фазовых превращений компонентов реакций и конечных продуктов следующих реакций:



Анализ полученных зависимостей изменения энергии Гиббса показал, что общей закономерностью является увеличение их термодинамической вероятности протекания при возрастании температуры. Причем термодинамическая вероятность в присутствии оксида кальция увеличивается и возможность самопроизвольного протекания переходит в области более низких температур с образованием силикатов кальция.

Графическая зависимость изменения температуры начала восстановления марганца с образованием силикатов Ca и карбидов Mn от отношения CaO/SiO_2 приведена на рисунках 2 и 3, из которых следует, что температура начала восстановления силикатов Mn снижается при увеличении отношения CaO/SiO_2 . При этом минимальная температура начала образования Mn_3C составляет 740 К и 679,87 при образовании Mn_7C_3 отмечается при отношении $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 3$. Причем, уравнения $T_i = f(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ имеют следующий вид:

$$T_H(\text{Mn}_3\text{C}) = 1583,9 \cdot \exp[-0,2757 \cdot \text{CaO}/\text{SiO}_2],$$

$$T_H(\text{Mn}_7\text{C}_3) = 1516,7 \cdot \exp[-0,2891 \cdot \text{CaO}/\text{SiO}_2]$$

Исходя из полученных результатов следует, что образование Mn_7C_3 более вероятно чем Mn_3C . Найдено, что температура начала восстановления силикатов Mn с образованием карбидов подчиняется обобщенному уравнению:

$$T_H = 1282,098 + 0,666(\text{Mn}/\text{C}) \cdot \exp\{[-0,3159 + 0,0134(\text{Mn}/\text{C})] \cdot [\text{CaO}/\text{SiO}_2]\}$$

где CaO/SiO_2 , Mn/C – отношения CaO к SiO_2 в полученном силикате и отношение Mn/C в полученном карбиде марганца.

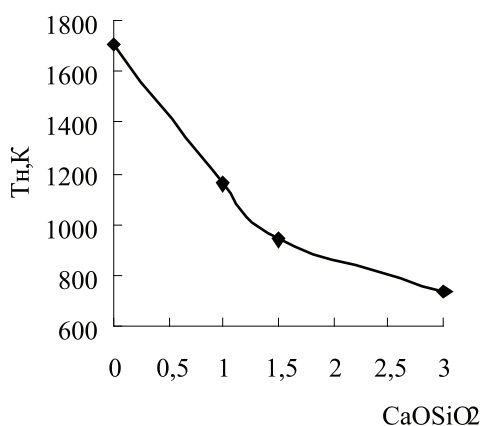


Рис. 2. Влияние отношения CaO/SiO_2 в получаемом силикате кальция на температуру начала (T_H) реакций 9-12 образования Mn_3C

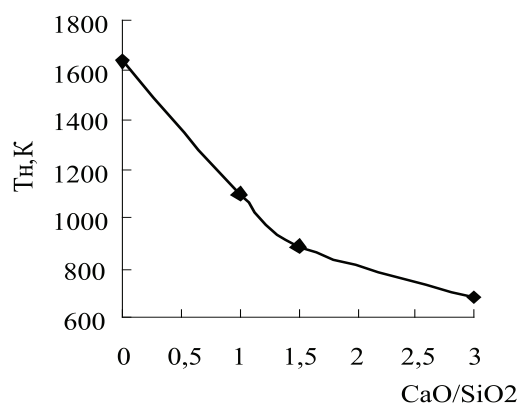


Рис. 3. Влияние отношения CaO/SiO_2 в получаемом силикате кальция на температуру начала (T_H) реакций 13-16 образования Mn_7C_3

С целью улучшения условий горения топлива и теплообмена в слое спекаемых шихт, нами проведена серия исследований, сущность которых состоит в том, что в шихту перед окомкованием вводится только 30-40% твердого топлива от его общего количества. Остальная часть вводится в шихту в конце ее окомкования, при этом она накатывается на поверхность образовавшихся гранул. Причем, для окомкования марганцевой мелочи использовали смесь коксовой мелочи с углеотходами при соотношении $1:0,2 \div 0,3$.

Благодаря высокому содержанию в отходах угледобычи элементарного углерода, общий расход топлива в результате такого метода подготовки шихты к спеканию снижается на 20-25% по сравнению со схемой с применением только коксовой мелочи.

При агломерации марганцевой мелочи крупностью 10-0 мм в качестве топлива, подаваемого в шихту перед смешиванием, использовали коксовую мелочь крупностью 3-0 мм в смеси с углеотходами. Причем, углеотходы используются одновременно в качестве топлива и связующей добавки. Повышенное содержание в них SiO_2 позволяет повысить модуль кислотности шихты. Для накатывания на поверхность гранул использовалась оставшая часть смеси коксовой мелочи с углеотходами в пределах 50-60% от общего количества топливной смеси. Исследования показали, что выведение части коксовой мелочи из шихты и частичная замена ее отхо-

дами угледобычи, накатанными в смеси с коксовой мелочью на поверхность гранул, способствует улучшению окомкования шихты.

Полученные в результате сравнительных испытаний основные показатели процесса спекания (таблица) свидетельствуют о существенных преимуществах агломерации марганцевых шихт с накатыванием части топливной смеси (кокс + отходы угледобычи) на поверхность гранул перед обычным способом и накатыванием только коксовой мелочи.

Из данных таблицы следует, что агломерат, полученный из шихт, с накатанным на поверхность гранул топливной смеси, имеет более высокие технологические характеристики по сравнению с обычным способом и с накатыванием только коксовой мелочи. Улучшение качества окомкования при накатывании части топливной смеси, состоящей из коксовой мелочи и отходами угледобычи, на гранулы создает благоприятные условия для сохранения их прочности и зернистой структуры слоя при переувлажнении, сушке и высокотемпературном нагреве, что обуславливает более высокую газопроницаемость спекаемого слоя в течение всего процесса спекания.

Горение топлива, накатанного на поверхность гранул, способствует более равномерному их оплавлению. Образующаяся размягченная оболочка предохраняет гранулы от разрушения в зоне высоких температур и снижает газодинамическое сопротивление высокотемпературных зон спекаемого слоя.

Таблица 1

Показатели процесса спекания в зависимости от способа подготовки шихты

Шихта	Доля топлива, подаваемого в шихту, %	Доля топлива на накатывание, %	Вертикальная скорость спекания, мм/мин	Удельная производительность, т/(м ² ×ч)	Выход мелочи 5-0 мм, %
1. Обычная	100	–	11,2	0,54	36,0
2. С накатыванием только коксовой мелочи	50,0	50,0	13,6	0,62	36,0
3. С накатыванием части топливной смеси (кокс + углеотходы) на поверхность гранулы	60,0	40,0	14,9	0,71	30,0

Таким образом, проведенные термодинамические и технологические исследования показали, что замена дорогостоящего кокса в агломерации марганецсодержащего сырья отходами угледобычи практически целесообразно. Использование углеотходов в качестве агломерационного топлива с накатыванием топливной смеси на поверхность гранул способствует улучшению газодинамики спекаемого слоя и интенсификации процесса агломерации.

Список литературы

1. Состояние марганцеворудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем // Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. Сборник докладов КНИИ-ГИГИЛС, Красноярск. – 2001. – 228 с.

2. Агломерация рудных материалов. Научное издание / Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежний Г.Н. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2002 – 400 с.

4. Саятов Б.А., Толымбеков М.Ж., Байсанов С.О. Становление и развитие марганцевой отрасли Казахстана. – Алматы: «Искандер», 2004. – 416 с.

3. Байсанов С.О., Толымбеков М.Ж., Габдуллин С.Г. и др. Перспективы развития марганцевой отрасли Казахстана // Сб. науч. трудов: Современные проблемы металлургии. Г.Днепропетровск, 2011, т. 2. С. 55-58.

5. Ким В., Акбердин А., Ли А. и др. Разработка и создание технологии производства марганцевого агломерата в Казахстане // Сб. трудов Комплексная переработка минерального сырья. – Алматы, 2008. С. 363-370.

6. Инновационный патент РК №27498 на изобретение «Шихта для производства марганцевого агломерата». Тлеуов А.С., Шевко В.М., Тлеуова С.Т., Репях Н.А., Родина Н.А. Опубл. 24.09.2013. Бюлл. №9.

7. Тлеуов А.С., Шевко В.М., Тлеуова С.Т., Лавров Б.А. Определение оптимального состава агломерационной шихты на основе фосфоритов, марганцевых руд и отходов угледобычи. Известия С-Пб государственного института. №16(45) 2013. С. 85-87.