

*Проценко М.Ю,
к.т.н. Куберский С.В.,
к.т.н. Эссельбах С.Б.
(ДонГТУ, Алчевск, Украина)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ ШЛАКА ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКОМАРГАНЦА МЕТОДОМ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ

Запропоновано метод збагачення шлаку виробництва сілікомарганцю за допомогою магнітної сепарації з метою подальшого його використання для виробництва феросплавів.

Ключові слова: збагачення, шлак, магнітна сепарація, рідкий азот, марганець, точка Кюрі.

Предложен метод обогащения шлака производства силикомарганца с помощью магнитной сепарации с целью дальнейшего его использования для производства ферросплавов.

Ключевые слова: обогащение, шлак, магнитная сепарация, жидкий азот, марганец, точка Кюри.

Черная металлургия является одной из основных отраслей промышленности Украины. На всех этапах производства конечного продукта в черной металлургии образуется большое количество шлака. В результате чего образовались огромные шлаковые отвалы, занимающие большие площади и оказывающие негативное влияние на экологическую обстановку. Эта актуальная и глобальная проблема отходов черной металлургии заставляет обратить на себя внимание.

Шлаки ферросплавного производства обладают специфическими свойствами, содержат значительное количество включений сплавов и других ценных компонентов и имеют большую ценность для многих отраслей промышленности, в первую очередь для металлургии. Поэтому экономически нерациональным является накопление их в отвалах или использование в качестве наполнителей и материала для строительной отрасли.

При извлечении из шлаков ферросплавного производства определенных элементов возникает возможность повторного использования их в металлургии.

Значительный интерес для металлургии представляют шлаки от производства марганцевых электроферросплавов. Они содержат 13 – 18% *Mn* и 0,003 – 0,020% *P*. Отношение фосфора к марганцу в шлаках в несколько раз меньше, чем в исходных марганцевых рудах. Однако основная масса марганца находится в шлаках в виде оксидов и соединений, что затрудняет его извлечение традиционными способами.

Реальный путь снижения потерь марганца со шлаками – использование их в производстве ферросплавов и других металлургических переделах в качестве марганецсодержащего сырья.

Положительное влияние марганца при введении его в сталь заключается в том, что он позволяет получить более мелкозернистую структуру, а также имеет высокое сродство к кислороду и сере. Анализ показывает, что марганец обеспечивает нормальное кипение стали при производстве кипящего слитка, а также снижает вредное влияние серы, переводя ее из сульфидов железа в сульфиды марганца.

Примерный химический состав шлака производства силикомарганца показан в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Химический состав отвального шлака производства силикомарганца, %

Mn	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Прочие
14-19	43,5-46,8	15,5-16,5	4-5	6,9-9,0	16,1-3,7

Главным недостатком существующей технологии переработки шлаков силикомарганца на щебень и песок является отсутствие оборудования для извлечения включений сплава. Разделение шлака на марганецсодержащие соединения и соединения не имеющие в своем составе марганца с помощью магнитной сепарации при стандартных условиях невозможно.

В данной работе было исследовано влияние низких температур на эффективность использования магнитной сепарации для обогащения шлака силикомарганцевого производства. Для этого были проанализированы химический и фракционный состав шлака, его насыпная и истинная плотности, влияние температуры на степень извлечения его магнитных составляющих.

Марганцевые ферросплавы не обладают магнитными свойствами. В результате со шлаками от производства марганцевых ферросплавов ежегодно теряется свыше 100 тыс. тонн металла.

Все вещества в природе можно считать магнетиками, так как они обладают определенными магнитными свойствами и соответствующим образом взаимодействуют с внешним магнитным полем. В зависимости

от величины магнитной восприимчивости и характера ее зависимости от напряженности магнитного поля и температуры выделяют следующие основные типы магнетиков: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики и ферримагнетики.

Диамагнетики – вещества, намагничивающиеся навстречу направлению действующего на них внешнего магнитного поля. В отсутствие внешнего магнитного поля диамагнетики не имеют магнитного момента. Парамагнетики — вещества, которые намагничиваются во внешнем магнитном поле в направлении внешнего магнитного поля. Парамагнетики относятся к слабомагнитным веществам. В отсутствие внешнего магнитного поля парамагнетик не магнитен. Ферромагнетики — вещества, в которых ниже определённой критической температуры (точки Кюри) устанавливается дальний ферромагнитный порядок магнитных моментов атомов или ионов. Антиферромагнетики – кристаллические вещества, в которых магнитные моменты атомов образуют две или несколько пространственных подсистем с антипараллельной или более сложной ориентацией магнитных моментов, обуславливающей отсутствие спонтанной намагниченности у вещества в целом. Во внешнем магнитном поле антиферромагнетики приобретают небольшую намагниченность. Ферримагнетики – вещества, в которых ниже определённой температуры (Кюри точки) магнитные моменты соседних атомов, образующих две или несколько магнитных подрешеток, антипараллельны, но не скомпенсированы, в результате чего эти вещества обладают самопроизвольной намагниченностью [2].

На магнитные свойства элементов и соединений можно повлиять температурой, даже если этих свойств не наблюдалось при стандартных условиях. Такое изменение магнитных свойств вещества описывает точка Кюри (температура Кюри), вблизи которой происходит качественное изменение физических свойств некоторых кристаллических тел (фазовый переход 2-го рода).

У некоторых веществ (хром, марганец) собственные магнитные моменты электронов ориентированы антипараллельно (навстречу) друг другу. Такая ориентация охватывает соседние атомы и их магнитные моменты компенсируют друг друга. В результате антиферромагнетики обладают крайне малой магнитной восприимчивостью и ведут себя как очень слабые парамагнетики.

Для антиферромагнетиков также существует температура, при которой антипараллельная ориентация спинов исчезает. Эта температура называется антиферромагнитной точкой Кюри или точкой Нееля.

У некоторых ферромагнетиков (эрбий, диоброзин, сплавов марганца и меди) таких температур две (верхняя и нижняя точка Нееля), причем антиферромагнитные свойства наблюдаются только при проме-

жучочных температурах. Выше верхней точки вещество ведет себя как парамагнетик, а при температурах меньших нижней точки Нееля, становится ферромагнетиком.

Марганец относится к парамагнетикам, магнитная восприимчивость которых в слабых полях не зависит от напряженности поля и существенно зависит от температуры. Парамагнетики обладают свойствами насыщения, т.е. в очень сильных полях или очень низких температурах их намагниченность стремится к определенному пределу. Парамагнетики являются слабо магнитными веществами. α – марганец и MnO являются антиферромагнетиками, которые обладают малой магнитной восприимчивостью, величина которой зависит от температуры [2, 3].

В лабораторных условиях было проведено предварительное исследование магнитных свойств шлака производства силикомарганца. Ферросплавный шлак подвергали фракционному рассеву (–0,1; 0,1 ÷ 0,63; 0,64 ÷ 2,5; +2,5 мм), а также определили насыпную и истинную плотности, результаты которых представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значение плотности для различных фракций

Параметр	Шлак исходный	Распределение шлака по фракциям			
		+ 2,5 мм	от 2,5 до 0,64 мм	от 0,63 до 0,1 мм	– 0,1 мм
$\rho_{\text{насыпная}}, \text{ г/см}^3$	1,424	1,317	1,311	1,333	1,212
$\rho_{\text{истинная}}, \text{ г/см}^3$	3,024	3,010	2,896	2,857	2,667
Общая масса навески, г	699	427	132	105	35
Доля навески, %	100	61,09	18,88	15,02	5,01

Перед проведением опыта по обогащению шлака силикомарганца с помощью магнитной сепарации, шлак был подроблен и произведен рассев на такие же фракции какие указаны выше. Для проведения опыта был выбран шлак фракцией 0,63 ÷ 0,1 мм. Навеска опытной пробы шлака составляла 300 г. Шлак был помещен в алюминиевую емкость, где в него была заглублена термопара для контроля температурного режима. В качестве магнитного сепаратора применяли постоянные магниты прямоугольной формы, магнитная индукция которых предварительно была измерена и составляла 570 Гс (гаусс) или 0,057 Тл (тесла). Перед проведением магнитной сепарации шлак силикомарганцевого производства охлаждали жидким азотом, температура которого составляла –

196⁰С. Контроль температуры внутри слоя шлака производился с помощью заглубленной термопары и милливольтметра. При достижении температуры -196⁰С внутри слоя шлака начинали производить магнитную сепарацию. В емкость со шлаком опускали постоянный магнит и производили круговые движения при соприкосновении со слоем шлака. Затем поднимали магнит и удаляли извлеченную порцию шлака. Магнитную сепарацию осуществляли в трех температурных интервалах (-196 ÷ -150⁰С, -150 ÷ -100⁰С, -100 ÷ -50⁰С). Химический состав отобранных проб по трем температурным интервалам представлен в таблице 3.

Химический анализ проб показывает, что наиболее предпочтительным с точки зрения обогащения является температурный интервал от -150 до -100⁰С, так как в нем наблюдается наибольшее содержание марганца.

Таблица 3 – Химический анализ отобранных проб шлака, %

Элемент	Шлак исходный	-196 ÷ -150 ⁰ С	-150 ÷ -100 ⁰ С	-100 ÷ -50 ⁰ С
Mn*	13,00	17,20	21,92	20,30
MnO	17,00	22,20	28,30	26,20
SiO ₂	47,50	40,10	40,50	41,10
CaO	12,50	10,70	9,71	11,00
Прочие	23,00	27,00	21,49	21,70
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00
Степень обогащения по марганцу		30,59	66,47	54,12

* - содержание марганца пересчитанного из MnO.

Анализ результатов экспериментов показывает, что предложенный метод позволяет произвести обогащение шлака силикомарганцевого производства по содержанию марганца на 30,5÷66,47%. Максимальное обогащение характеризует температурный интервал -150 ÷ -100⁰С при этом содержание марганца возрастает с 17% до 28,3%, т. е. на 66,47%.

Из выше сказанного и опытных результатов можно выдвинуть гипотезу, что марганец в шлаке содержится в виде соединений с другими элементами, которые приобретают магнитные свойства в определенном температурном интервале. Можно предположить, что именно в температурном интервале -150 ÷ -100⁰С MnO и возможные соединения с ним приобретают магнитные свойства. Поэтому в данной пробе максимальное содержание марганца.

Шихта для производства товарного силикомарганца состоит из марганцевой руды, кварцита, стружки и коксика. Наряду с марганцевой рудой применяют концентраты из бедных окисных и карбонатных руд. Для производства силикомарганца используют передельный шлак с содержанием марганца 38–40% [4].

Выплавка ферромарганца и силикомарганца также производится из окисленных и карбонатных руд. Окисленные руды подвергаются обогащению, в результате которого получают концентраты с различным содержанием марганца (обычно в пределах 26 – 50%). Марганец в окисленных рудах находится в виде различных окислов: MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 . Карбонатные руды кусковые, более бедные по содержанию марганца; марганец в этих рудах находится в виде углекислого марганца $MnCO_3$ [5].

На основе выше изложенного можно утверждать, что обогащение в лабораторных условиях шлак не в полной мере удовлетворяет минимальным требованиям по содержанию марганца в ферросплавном сырье. Однако степень обогащения достаточно высокая, что подтверждает возможность использования данной технологии при внесении соответствующих изменений в нее в ходе последующих исследований. Кроме того, была исследована лишь одна фракция, что затрудняет окончательную оценку эффективности данного способа.

Основные направления последующих исследований данной проблемы могут быть следующие:

- исследование влияние фракционного состава на степень обогащения;
- исследование влияние силы магнитной индукции на степень обогащения;
- исследование возможности электромагнитной сепарации.

Библиографический список

1. *Производство стали и ферросплавов в электропечах.* Каблуковский А.Ф.: Учебник для техникумов. – М.: Металлургия, 1991. 335 с.

2. *Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферримагнетиков.* С.В. Вонсовский: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука». – М., 1971. 1032 с.

3. *Физические свойства металлов и сплавов.* Лившиц Б.Г.: Учебник для ВУЗов – Л.: Машгиз, 1956. 352 с.

4. *Электрометаллургия стали и ферросплавов.* Еднерал Ф.П. М., «Металлургия», 1977. 488 с.

5. *Электрометаллургия стали и ферросплавов.* Крамаров А.Д., Соколов А.Н. М., «Металлургия», 1976. 376 с.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.