

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**Институт металлургии
и материаловедения
им. А.А. Байкова РАН**

80 лет

Москва

ИМЕТ РАН

2018 г.

УДК 669.1; 546.1; 546.3

Институт металлургии материаловедения им. А.А. Байкова РАН – 80 лет.
Сборник научных трудов.
М.: Интерконтакт Наука, 2018, 644 с.

ISBN 978-5-902063-58-2

Сборник подготовлен в связи с 80-летием создания Института Металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук. В статьях содержатся материалы по основным направлениям научной деятельности в области металлургии черных, цветных и редкоземельных металлов, материаловедения металлических, керамических, нанокристаллических, композиционных материалов, развития методов исследования состава, структуры и свойств материалов.

Материалы сборника могут представлять интерес для ученых и сотрудников научно-исследовательских и учебных институтов и университетов, промышленных предприятий, работающих в области металлургии черных, цветных и редких металлов, материаловедения неорганических материалов и методов исследования.

Редакционная коллегия

Академик К.А. Солнцев (ответственный редактор), академик О.А. Банных (зам. Ответственного редактора), академик В.М. Бузник, академик В.М. Иевлев, академик Ю.В. Цветков, чл.-корр. РАН М.И. Алымов, чл.-корр. РАН С.М. Баринов, чл.-корр. РАН Г.С. Бурханов, чл.-корр. РАН Григорович К.В., чл.-корр. РАН А.Г. Колмаков, чл.-корр. РАН В.С. Комлев, д.ф.-м.н. С.В. Симаков, к.т.н. О.Н. Фомина (ответственный секретарь)

ISBN 978-5-902063-58-2

© ИМЕТ РАН, 2018

Марганцевые ферросплавы из отечественных руд

*В.Я. Дашевский, А.А. Александров, Л.И. Леонтьев,
Г.А. Овчинникова*

DOI: 10.30791/978-5-902063-58-2-313-326

Основной потребитель марганца – черная металлургия. Более 90% марганца используют при производстве стали в качестве раскислителя и легирующего элемента. С ростом выплавки стали растет и выплавка марганцевых ферросплавов. Объем производства марганцевых ферросплавов в мире составляет ~1% от объема производства стали. На 1 т стали расходуется в среднем 7 – 9 кг марганца.

Основной базой марганцеворудной промышленности в СССР являлись Никопольское (Украина), Чиатурское (Грузия) и Дзездинское (Казахстан) месторождения. На этих месторождениях добывали более 20 млн т сырой руды при среднем содержании марганца в руде 20%. После распада Советского Союза Россия оказалась без марганцеворудной базы.

Балансовые запасы марганцевых руд в России составляют около 290 млн т (~2% мировых), прогнозные ресурсы – более 1 млрд. т [1]. Государственным балансом запасов полезных ископаемых в России учтено 21 месторождение марганцевых руд, в том числе четыре месторождения железомарганцевых конкреций на шельфе Финского залива Балтийского моря (рис. 1).



Рис.1. Основные месторождения марганцевых руд на территории России.

Распределение запасов и прогнозных ресурсов категории P_1 (млн т) по субъектам РФ

На территории России марганцевые руды представлены преимущественно тремя типами: карбонатными, окисными и окисленными. Около 90% запасов представлены труднообогатимыми карбонатными рудами со средним содержанием марганца 20% и повышенным содержанием фосфора (0,2–0,3% и более), запасы окисдных руд, содержащих 23–26% Mn, составляют 6% [1]. Добыча марганцевых руд на территории России не ведется [2].

Потребность в марганцевых ферросплавах в Российской Федерации в настоящее время составляет порядка 600–650 тыс. т в год [3]. Высокоуглеродистый ферромарганец в России в настоящее время выплавляют в доменных печах Косогорского металлургического и Саткинского чугуноплавильного заводов из импортных марганцевых руд, объем производства составляет порядка 100–120 тыс. т/год. Ферросиликомарганец периодически производят на Челябинском электрометаллургическом комбинате (в основном из казахстанской марганцевой руды), объем производства составляет порядка 120–140 тыс. т/год.

Несмотря на то, что марганец относится к группе полезных ископаемых, имеющих важное стратегическое значение, до настоящего времени Россия вынуждена импортировать товарную марганцевую руду (концентраты), марганецсодержащие ферросплавы, металлический марганец, диоксид марганца. Потребность России в крупнотоннажных сплавах марганца (высокоуглеродистом ферромарганце и ферросиликомарганце) на ~60% закрывается за счет импорта, а в средне- и низкоуглеродистом ферромарганце и металлическом марганце – на 100%, главным образом, из Украины; электролитический марганец импортируют из Китая.

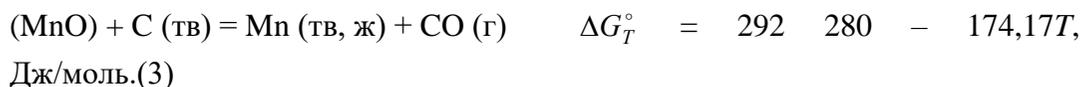
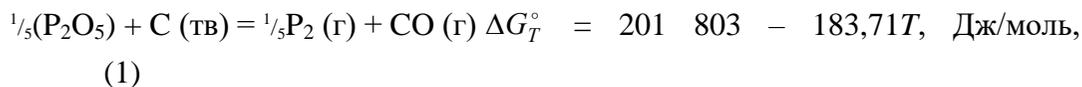
Проблема ускорения создания отечественной марганцеворудной базы с позиции экономической безопасности представляется весьма важной. Необходимо не только увеличивать объем выплавки высокоуглеродистого ферромарганца и ферросиликомарганца, в том числе и за счет вовлечения в производство отечественных марганцевых руд, но и организовать в России производство рафинированных марганцевых ферросплавов – металлического марганца, средне- и низкоуглеродистого ферромарганца.

Из разведанных отечественных марганцевых месторождений Усинское месторождение может рассматриваться как наиболее перспективное. Усинское месторождение марганца, одно из крупнейших в России по запасам, открыто в 1939 г. Оно находится в юго-восточной части Кемеровской области в 70 км северо-восточнее Междуреченска в горно-

таежной местности. Балансовые запасы месторождения составляют 98,5 млн т, прогнозные ресурсы – 150,4 млн т [2]. Ведутся научные и практические исследования с целью вовлечения в производство марганцевых руд Усинского месторождения и выплавки из них ферросплавов [4–6].

Поскольку отечественные марганцевые руды характеризуются низким содержанием марганца, они должны подвергаться обогащению. Обогащение приводит к измельчению исходной руды, наиболее рационально компактировать получаемый концентрат методом экструзии [7]. В процессе обогащения марганцевых руд и последующей выплавки ферросплавов значительная часть марганца теряется с отвальными продуктами – шламами, хвостами и шлаками. Сквозное извлечение от руды до товарных ферросплавов составляет 50–55% [8]. Вовлечение в промышленное производство техногенных продуктов позволит существенно повысить сквозное извлечение марганца [9].

Отечественные марганцевые руды, как отмечено выше, и в частности руды Усинского месторождения характеризуются повышенным содержанием вредной примеси – фосфора (0,2–0,3%). Одним из наиболее важных показателей, характеризующих качество марганцевых руд и концентратов, является модуль фосфора (P/Mn) – отношение содержания фосфора к содержанию марганца в сырье. Для получения стандартных по фосфору марганцевых ферросплавов это отношение должно быть $\leq 0,003$. Для выплавки стандартных марганцевых ферросплавов с требуемым содержанием фосфора из марганцевых концентратов или других марганецсодержащих продуктов, характеризующихся повышенным содержанием фосфора, их необходимо подвергать дефосфорации. Существует достаточно большое количество способов дефосфорации марганецсодержащих продуктов: гидрометаллургических, химических и пирометаллургических. Однако промышленно освоен единственный способ, сущность которого состоит в селективном восстановлении из расплавов марганцевых руд и концентратов фосфора и железа твердым углеродом с переводом их в попутный металл [10]. Для этого в электропечи плавят марганцевые руды или концентраты в смеси с ограниченным количеством восстановителя – кокса, из расчета восстановления фосфора и железа. Однако, несмотря на ограниченное количество углерода в шихте, частично восстанавливается и марганец, хотя он и обладает большим сродством к кислороду, чем фосфор и железо, что видно из приведенных ниже данных [11]:



В образующийся попутный металл переходит до 15–20% марганца, содержащегося в шихте. Продуктами процесса электрометаллургической дефосфорации по описанному выше способу являются передельный малофосфористый марганцевый шлак (40–45% Mn; 0,02–0,05% P; 28–30% SiO₂; 4–8% CaO; 1–3% Al₂O₃; 2–4% MgO) и отвальный попутный металл – высокофосфористый углеродистый ферромарганец (45–55% Mn; 30–45% Fe; 1,5–3% P; 0,1–0,3% Si; 3,5–5% C). Исходные марганцевые концентраты содержат 10–15% SiO₂, однако малофосфористый марганцевый шлак содержит до 30% SiO₂ за счет добавок в шихту кварцита с целью снижения восстановления марганца путем связывания оксида марганца в силикат марганца. Добавки кварцита в шихту приводят к снижению содержания марганца в шихте и повышению кратности шлака. Потери до 15–20% марганца, содержащегося в исходной шихте, с попутным металлом и повышенное содержание SiO₂ в передельном шлаке являются существенным недостатком описанного способа.

В Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН разработан не имеющий аналогов пирометаллургический способ дефосфорации марганецсодержащих продуктов, в котором восстановителем является **газообразный монооксид углерода** [12]. Этот способ от описанного выше отличается тем, что, с целью дефосфорации расплавов марганцевых руд и концентратов и устранения потерь марганца с попутным металлом фосфор восстанавливают из оксидного расплава не твердым углеродом, а газообразным монооксидом углерода (CO), который продувают через оксидный марганецсодержащий расплав. Восстановленный газообразный фосфор (P₂) улетает с отходящими газами.

При взаимодействии расплава марганцевых руд и концентратов с газообразным монооксидом углерода может протекать реакция [11]



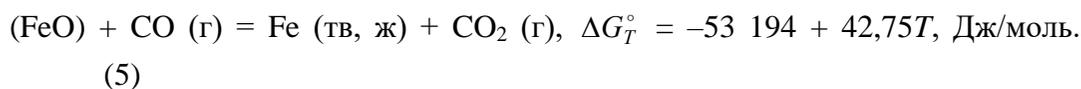
Температура плавления марганцевых руд или концентратов, как правило, выше 1473–1573 К. Энергия Гиббса реакции (4), характеризующая

возможность протекания процесса, при этих и более высоких температурах приведена ниже:

T, K	1473	1573	1673	1773
	1873			
$\Delta G_T^\circ, \text{Дж/моль}$	17 505	16 367	15 229	14 091
			12 953	

Как видно из приведенных данных, в равновесных условиях в температурном интервале 1473–1873 К реакция (4) не получает развития, поскольку $\Delta G_T^\circ > 0$. Однако реакция между оксидом фосфора (P_2O_5), растворенным в марганецсодержащем оксидном расплаве, и монооксидом углерода получает развитие, потому что оба продукта реакции газообразные, они покидают зону реакции, тем самым сдвигая ее вправо. Процесс протекает на стенках пузырьков CO, поднимающихся в оксидном расплаве, при барботаже расплава газообразным монооксидом углерода. Возможности протекания этой реакции способствует тот факт, что полости пузырьков CO являются химическим вакуумом для продукта реакции – газообразного фосфора, поскольку парциальное давление P_2 в пузырьках изначально равно нулю. Это обстоятельство способствует протеканию реакции (4) в сторону образования газообразного фосфора, который удаляется с отходящими газами. Для предотвращения попадания газообразного фосфора в атмосферу отходящие газы пропускают через водяной затвор, в котором фосфор конденсируется и оседает.

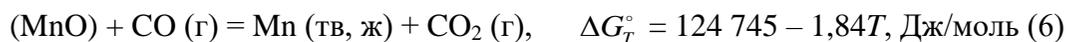
Железо характеризуется меньшим сродством к кислороду, чем фосфор, однако реакция взаимодействия монооксида углерода с оксидом железа [11]



не получает развития, поскольку энергия Гиббса реакции (5) в температурном интервале 1473–1873 К больше нуля ($\Delta G_T^\circ > 0$):

T, K	1473	1573	1673	1773	1873
$\Delta G_T^\circ, \text{Дж/моль}$	9 777	14 052	18 327	22 602	26 877

Протекание реакции взаимодействия оксида марганца с монооксидом углерода [11]



в температурном интервале проведения металлургических процессов (1473–1873 К) термодинамически невозможно, как это видно из приведенных ниже данных – энергия Гиббса реакции значительно больше нуля ($\Delta G_T^\circ \gg 0$):

ИМЕТ РАН

80 лет

T, K	1473	1573	1673	1773	1873
$\Delta G_T^\circ, Дж/моль$	122 034	121 851	121 667	121 483	121 299

Следовательно, оксид марганца, содержащийся в расплаве, в процессе дефосфорации полностью останется в передельном малофосфористом продукте, т.е. не будет потерь марганца, поскольку в этом процессе не образуются никакие попутные продукты. Отпадет также необходимость добавлять в шихту кремнезем, как это делают в случае способа дефосфорации, когда восстановителем является твердый углерод, поскольку добавки кремнезема приводят к снижению содержания марганца в передельном продукте.

Большую часть марганцевых руд и концентратов используют для выплавки в рудно-термических печах высокоуглеродистого ферромарганца и ферросиликомарганца карботермическим способом. При выплавке этих ферросплавов в закрытых или герметичных рудно-термических печах отходящие газы содержат до 85% и более монооксида углерода, остальное азот, диоксид углерода. Эти отходящие газы с успехом можно использовать для дефосфорации марганцевых руд и концентратов. Следовательно, нет необходимости в установке газогенераторов для получения монооксида углерода, необходимое количество его для процесса дефосфорации обеспечивают работающие рудно-термические печи.

В результате продувки марганецсодержащего оксидного расплава монооксидом углерода получают обесфосфоренный продукт. В случае дефосфорации марганцевых руд и концентратов, содержащих в исходном состоянии 0,2–0,3% P, получают продукт, содержание фосфора в котором составляет 0,01–0,03% [13]. Величина модуля фосфора (P/Mn) по сравнению с исходным продуктом снижается в 5–10 раз. Степень дефосфорации составляет от 80 до 90%. Способ дефосфорации марганецсодержащих продуктов монооксидом углерода по сравнению со способом дефосфорации твердым углеродом не только устраняет потери марганца с попутным отвальным металлом, как показано выше, но и позволяет существенно оптимизировать процессы выплавки марганцевых ферросплавов.

Высокоуглеродистый ферромарганец и ферросиликомарганец по действующей технологии выплавляют карботермическим методом [14]. В основе процессов выплавки высокоуглеродистого ферромарганца и ферросиликомарганца лежат реакции восстановления высших оксидов марганца MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 в верхних горизонтах печи с участием CO,

тогда как оксид MnO восстанавливается только твердым углеродом. При выплавке ферросиликомарганца реакция восстановления кремнезема получает заметное развитие в зоне высоких температур.

Высокоуглеродистый ферромарганец в электропечах выплавляют флюсовым и бесфлюсовым методами. В случае богатых марганцем ($>45\%$ Mn) низкофосфористых ($\leq 0,1\%P\%$) руд и концентратов для выплавки высокоуглеродистого ферромарганца в электропечах используют экономичный бесфлюсовый процесс. Процесс ведут из расчета восстановления в металл $\sim 60\%$ марганца шихты с использованием марганцевых концентратов и восстановителя – кокса. Получают стандартный металл и высокомарганцевый ($38-40\%$ Mn) малофосфористый передельный шлак, который используют в качестве исходного компонента шихты для выплавки ферросиликомарганца с пониженным содержанием фосфора, рафинированного ферромарганца или металлического марганца, что повышает извлечение марганца и снижает расход шихтовых материалов. Степень извлечения марганца в металл определяется количеством восстановителя (углерода) в шихте. Шлак бесфлюсовой плавки кислый, основностью $(CaO/SiO_2) = 0,3-0,6$.

При низком содержании марганца в руде или концентрате и повышенном содержании фосфора (как это имеет место в отечественных марганцевых рудах), когда невозможно получить одновременно металл стандартного состава и передельный шлак с содержанием марганца $>35\%$, высокоуглеродистый ферромарганец выплавляют флюсовым методом. При флюсовом способе высокоуглеродистый ферромарганец выплавляют с использованием марганцевых концентратов, кокса и известняка. Для достижения более низкого содержания фосфора в шихту вводят расчетное количество передельного малофосфористого шлака, полученного в результате электрометаллургической дефосфорации марганцевых концентратов. Процесс ведут на возможно полное восстановление марганца. С целью предотвращения образования силикатов марганца в шлаке в шихту вводят флюс – известняк в количестве, обеспечивающем основность шлака $(CaO/SiO_2) = 1,2-1,3$. Шлак этого процесса отвальный, содержит $10-12\%$ Mn . Флюсовый способ значительно менее экономичный в сравнении с бесфлюсовым.

С целью снижения содержания фосфора в высокоуглеродистом ферромарганце и ферросиликомарганце при выплавке этих сплавов из марганцевых концентратов, характеризующихся повышенным содержанием фосфора, в шихту добавляют малофосфористый передельный марганцевый

шлак (МФШ), полученный в результате электрометаллургической дефосфорации марганцевых концентратов твердым углеродом. Использование при выплавке высокоуглеродистого ферромарганца и ферросиликомарганца МФШ, полученного в результате электророметаллургической дефосфорации марганцевых концентратов, приводит к значительному снижению технико-экономических показателей этих процессов. Эта проблема может получить положительное решение в результате использования при выплавке данных сплавов описанного выше способа дефосфорации марганецсодержащих расплавов монооксидом углерода [12].

Средне- и низкоуглеродистый ферромарганец по действующей технологии выплавляют силикотермическим методом в периодическом режиме [14]. Когда марганцевые концентраты характеризуются повышенным содержанием фосфора, процесс ведут двухстадийным методом (рис. 2).

На первой стадии селективно восстанавливают фосфор с переводом его в попутный металл. Для этого марганцевые руды или концентраты подвергают дефосфорации описанным выше способом, восстановителем в котором является твердый углерод. Полученный МФШ является исходным продуктом для выплавки средне- и низкоуглеродистого ферромарганца. На второй стадии в дуговой электропечи ведут процесс восстановления марганца из МФШ кремнием передельного ферросиликомарганца, который может быть представлен реакцией



Недостатками описанного способа выплавки средне- и низкоуглеродистого ферромарганца являются потери марганца с попутным металлом, образующимся на первой стадии, и повышенный суммарный расход электроэнергии на выплавку сплавов по двухстадийной технологии. Эти недостатки могут быть устранены в результате использования при выплавке данных сплавов разработанного способа дефосфорации марганецсодержащих расплавов монооксидом углерода [12].

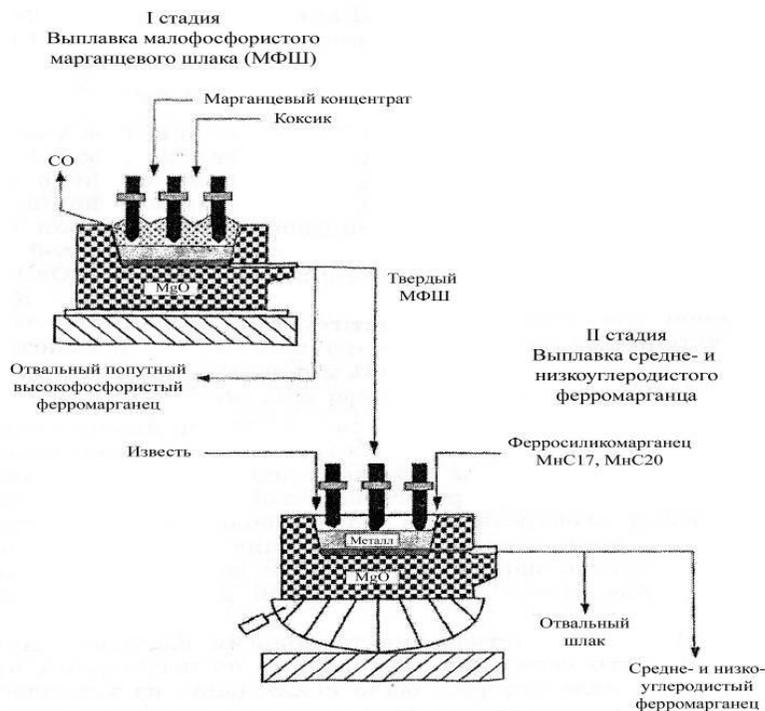


Рис.2. Технологическая схема получения средне- и низкоуглеродистого ферромарганца

При выплавке средне- и низкоуглеродистого ферромарганца извлечение марганца в металл составляет не более 65–70%, поскольку значительное количество марганца безвозвратно теряется с отвальным шлаком. Кратность шлака в этом процессе составляет 2–2,5, основность шлака (CaO/SiO_2) = 1,3–1,4. Отвальный шлак содержит 13–16% Mn и 0,003–0,005% P. Повышенное содержание марганца в шлаке и весьма низкое содержание фосфора позволяют рассматривать его как перспективный марганецсодержащий продукт. Отвальный шлак процессов выплавки среднеуглеродистого и низкоуглеродистого ферромарганца может быть использован в качестве марганецсодержащего низкофосфористого компонента шихты при выплавке высокоуглеродистого ферромарганца флюсовым методом [15].

Одним из возможных путей повышения полезного использования марганца может быть извлечение марганца из шлака выплавки средне- и низкоуглеродистого ферромарганца – восстановление марганца при взаимодействии шлака с металлическим расплавом, содержащим элементы, обладающие высоким сродством к кислороду. В качестве металлического расплава, наиболее подходящего для проведения такого процесса, можно

рассматривать чугун, содержащий углерод, имеющий большее сродство к кислороду, чем марганец. Разработан способ легирования чугуна марганцем, содержащимся в шлаке процессов выплавки средне- и низкоуглеродистого ферромарганца [16]. Способ заключается в следующем. Чугун из доменной печи выпускают в ковш, на дно которого предварительно засыпают, исходя из требуемого содержания марганца в чугуне, в необходимом количестве отвальный шлак процесса выплавки средне- или низкоуглеродистого ферромарганца, исключив при этом из шихты для выплавки чугуна частично или полностью марганецсодержащее сырье. Проведенные исследования показали, что в чугун восстанавливается до 75% марганца, содержащегося в шлаке [17]. Таким образом, использование данного способа позволит повысить сквозное извлечение марганца и сократить (или полностью исключить) расход марганецсодержащего сырья при выплавке чугуна.

Разработан новый способ выплавки среднеуглеродистого ферромарганца [18, 19]. Способ заключается в следующем. В дуговой электрической печи расплавляют рудно-известковую смесь, составляющими которой являются марганецсодержащее сырье и известь. В процессе расплавления шихты нет потерь марганца путем испарения, поскольку марганец, содержащийся в рудно-известковом расплаве, связан в оксид MnO . Рудно-известковый расплав нагревают до температуры 1500–1600° С, после чего в печь заливают расплавленный высокоуглеродистый ферромарганец (6–8% С). Для сокращения потерь марганца дуговую электрическую печь рациональнее всего располагать вблизи доменной или рудно-термической печи, в которой выплавляют высокоуглеродистый ферромарганец. Расплавленный высокоуглеродистый ферромарганец к дуговой электропечи, в которой находится рудно-известковый расплав, подают в ковше и заливают в печь. В результате взаимодействия кислорода оксидов марганца и железа, содержащихся в рудно-известковом расплаве, с углеродом высокоуглеродистого ферромарганца идет процесс обезуглероживания. Восстановленные из рудно-известкового расплава марганец и железо переходят в металлический расплав.

Расплавы ферромарганца и рудно-известковый выдерживают в печи до достижения требуемого содержания углерода в металле, которое в среднеуглеродистом ферромарганце в соответствии со стандартами (ГОСТ 4755-91; ISO 5446-80) должно быть не более 2%. После достижения требуемого содержания углерода в ферромарганце расплавы ферромарганца и рудно-известковый выпускают в ковш, а затем разливают в изложницы. Остывший конечный рудно-известковый расплав дробят и используют в

качестве компонента шихты при выплавке высокоуглеродистого ферромарганца. В этом процессе практически отсутствуют потери марганца, поскольку конечный рудно-известковый расплав является передельным продуктом, который используют в шихте при выплавке высокоуглеродистого ферромарганца. Нет потерь марганца испарением, т.к. расплавленный ферромарганец закрыт рудно-известковым расплавом. Извлечение марганца в этом процессе составляет 95–97% (с учетом неизбежных потерь при транспортировке жидкого высокоуглеродистого ферромарганца к электропечи, его заливке в дуговую электропечь, разливке ферромарганца и рудно-известкового расплава, их дроблении).

Металлический марганец по действующей технологии выплавляют силикотермическим способом [14]. Силикотермический процесс производства металлического марганца, как и в случае выплавки средне- и низкоуглеродистого ферромарганца, основан на реакции восстановления MnO кремнием передельного силикомарганца. Технология включает три стадии: I – выплавка передельного малофосфористого марганцевого шлака; II – выплавка передельного силикомарганца; III – выплавка металлического марганца (рис. 3).

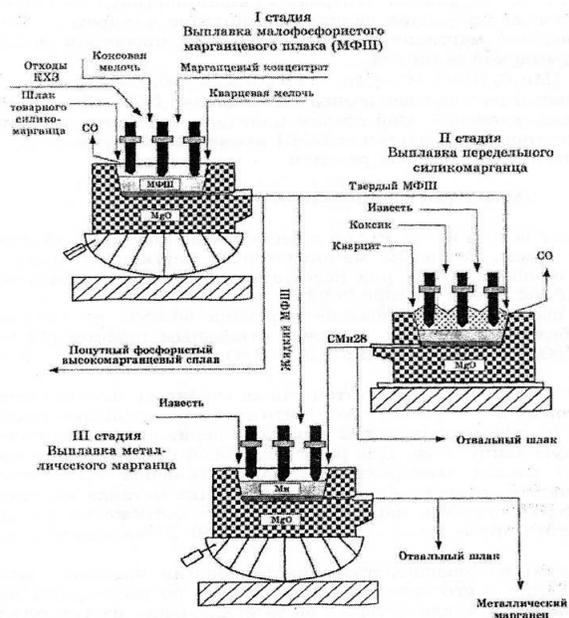


Рис.3. Технологическая схема получения металлического марганца

При выплавке передельного малофосфористого марганцевого шлака селективно восстанавливают фосфор и железо с переводом их в попутный металл. Для этого марганцевые руды или концентраты, характеризующиеся повышенным содержанием фосфора, подвергают пирометаллургической дефосфорации описанным выше способом, восстановителем в котором является твердый углерод. Передельный малофосфористый марганцевый шлак, получаемый на первой стадии, является исходной шихтой для выплавки высококремнистого передельного силикомарганца MnC25 и металлического марганца. Передельный силикомарганец выплавляют непрерывным процессом в рудно-термических печах методом совместного восстановления марганца и кремния из шихты, состоящей из передельного марганцевого шлака, кварцита и коксика. Для получения силикомарганца с низким содержанием железа при плавке в рудно-термических печах используют не самообжигающиеся, а графитизированные электроды. Жидкий силикомарганец подвергают грануляции.

Плавку металлического марганца ведут с использованием жидкого малофосфористого марганцевого шлака в открытых наклоняющихся дуговых печах мощностью 8 МВ·А. Ванну печи футеруют магнезитовым кирпичом. В качестве флюса применяют известь. Восстановителем является передельный гранулированный (дробленый) силикомарганец. Химизм процесса восстановления марганца из его оксида кремнием описан выше. Недостатком описанного способа выплавки металлического марганца являются потери марганца с попутным отвальным металлом – высокофосфористым ферромарганцем, образующимся на I стадии. Эти недостатки могут быть устранены в результате использования при выплавке металлического марганца разработанного способа дефосфорации марганецсодержащих расплавов монооксидом углерода [12].

Передельный малофосфористый низкожелезистый марганцевый шлак из печи выпускают в ковш. Шлак, идущий на выплавку передельного силикомарганца MnC25, разливают на разливочной машине. Шлак, идущий на выплавку металлического марганца, из ковша заливают в стоящую рядом печь и ведут процесс выплавки металлического марганца.

При выплавке металлического марганца значительное количество марганца теряется с отвальным шлаком. Извлечение марганца в металл в этом процессе составляет не более 60–65%, поскольку значительное количество марганца безвозвратно теряется с отвальным шлаком. Кратность шлака в этом процессе составляет 3,5–4. Отвальный шлак содержит 15–18% Mn и 0,003–0,005% P. Повышенное содержание марганца в шлаке и весьма низкое

содержание фосфора позволяют рассматривать его как перспективный марганецсодержащий материал. Этот шлак можно использовать для легирования чугуна [17], как описано выше, и повышать тем самым сквозное извлечение марганца.

Заключение

Рассмотрена возможность вовлечения в производство отечественных марганцевых руд, в первую очередь руд Усинского месторождения. Задача решена с учетом того факта, что отечественные марганцевые руды характеризуются низким содержанием марганца и повышенным содержанием фосфора.

Разработан не имеющий аналогов процесс дефосфорации оксидных марганец-содержащих расплавов. С целью дефосфорации оксидных марганецсодержащих расплавов фосфор восстанавливают газообразным монооксидом углерода (CO), который продувают через оксидный марганецсодержащий расплав.

Использование при выплавке высокоуглеродистого ферромарганца, ферросиликомарганца, средне- и низкоуглеродистого ферромарганца и металлического марганца продукта дефосфорации марганецсодержащих расплавов монооксидом углерода позволит получать из отечественных марганцевых руд высокосортные низкофосфористые сплавы.

Одним из возможных путей извлечение марганца из шлака выплавки средне- и низкоуглеродистого ферромарганца и металлического марганца является восстановление марганца при взаимодействии шлака с расплавом чугуна. Эти шлаки также могут быть использованы как марганецсодержащий низкофосфористый продукт при выплавке высокоуглеродистого ферромарганца флюсовым процессом.

Работа выполнялась по государственному заданию №007-00129-18-00.

Литература

1. Тигунов Л.П., Смирнов Л.А., Менаджиева Р.А. Марганец: технология, производство, использование. Екатеринбург: Изд-во АМБ. 2006. 184 с.
2. Чернобровин В.П., Мизин В.Г., Сирина Т.П., Дашевский В.Я. Комплексная переработка карбонатного марганцевого сырья: химия и технология. Челябинск: Изд. Центр ЮУрГУ. 2009. 294 с.
3. Леонтьев Л.И., Жучков В.И., Смирнов Л.А., Дашевский В.Я. Производство ферросплавов в мире и России // Сталь. 2007. № 3. С. 43–47.
4. Дашевский Я.В., Дашевский В.Я. Марганец для третьей металлургической базы на Востоке // Известия АН СССР. ОТН. 1957. № 7. С. 116–121.

5. Дашевский В.Я., Юсфин Ю.С., Подгородецкий Г.С., Баева Н.В. Производство марганцевых ферросплавов из марганцевых руд Усинского месторождения // Изв. вузов. Черная металлургия. 2013. № 9. С. 9–16.
6. Полулях Л.А., Дашевский В.Я., Юсфин Ю.С. Производство марганцевых ферросплавов из отечественных марганцевых руд // Изв. вузов. Черная металлургия. 2014. № 9. С. 5–12.
7. Бижанов А.М., Подгородецкий Г.С., Корунов И.Ф. и др. Опыт применения брикетов экструзии (брэксов) для выплавки ферросиликомарганца // Металлург. 2013. № 2. С. 44–49.
8. Лякишев Н.П., Гасик М.И., Дашевский В.Я. Металлургия ферросплавов. Часть 1. М.: Учеба. 2006. 117 с.
9. Дашевский В.Я., Александров А.А., Леонтьев Л.И. и др. Повышение извлечения марганца при производстве марганцевых ферросплавов // Сталь. 2017. № 8. С. 20–23.
10. Гасик М.И. Марганец. М.: Металлургия. 1992. 608 с.
11. Куликов И.С. Раскисление сплавов. М.: Металлургия. 1975. 504 с.
12. Патент РФ 2594997. Способ дефосфорации марганцевых руд и концентратов / В.Я. Дашевский, Александров А.А., Л.И. Леонтьев и др. Бюл. изобретений. 2016. № 23.
13. Дашевский В.Я., Александров А.А., Леонтьев Л.И. и др. Дефосфорация оксидных марганецсодержащих расплавов // ДАН. 2017. Т. 473. № 4. С. 446–448.
14. Лякишев Н.П., Гасик М.И. Физикохимия и технология электроферросплавов. М.: Элиз. 2005. 448 с.
15. Патент РФ 2456363. Шихта для выплавки высокоуглеродистого ферромарганца / В.Я. Дашевский, Ю.С. Юсфин, Л.И. Леонтьев и др. Бюл. изобретений. 2012. № 20.
16. Патент РФ 2458994. Способ легирования чугуна марганцем / В.Я. Дашевский, А.А. Александров, Л.И. Леонтьев и др. Бюл. изобретений. 2012. № 23.
17. Дашевский В.Я., Юсфин Ю.С., Александров А.А. и др. Повышение полезного использования марганца при производстве марганцевых ферросплавов // Изв. вузов. Черная металлургия. 2013. № 7. С. 32–37.
18. Патент РФ 2594997. Способ выплавки среднеуглеродистого ферромарганца / В.Я. Дашевский, А.А. Александров, Ю.С. Юсфин и др. Бюл. изобретений. 2011. № 25.
19. Дашевский В.Я., Юсфин Ю.С., Александров А.А. и др. Обезуглероживание расплава марганца // Изв. вузов. Черная металлургия. 2012. № 7. С. 15–18.