

УДК 669.168

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИХ РУД И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ*

*Нохрина О.И.¹, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой металлургии
черных металлов (kafamsf@sibsiu.ru)*

Рожихина И.Д.¹, д.т.н., профессор кафедры металлургии черных металлов

Прошунин И.Е.², к.т.н., начальник управления по качеству

Ходосов И.Е.¹, заведующий лабораториями кафедры металлургии черных металлов

¹ Сибирский государственный индустриальный университет

(654007, Россия, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² ОАО «ЕВРАЗ – Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»

(654043, Россия, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, Космическое шоссе, 16)

Аннотация. В пределах Алтае-Саянской металлогенической провинции выявлены проявления марганцевых руд, которые можно отнести к полиметаллическим рудам, но из-за высокого содержания фосфора и железа они не могут быть использованы для выплавки стандартных сплавов без предварительного обогащения. Термодинамические расчеты и экспериментальные исследования по обогащению полиметаллического марганецсодержащего сырья позволили определить основные технологические параметры извлечения компонентов и разработать технологическую схему обогащения. По предложенной технологической схеме возможно получение высококачественных концентратов марганца, никеля, железа, кобальта. Применение оптимальных технологических параметров обогащения позволяет из полиметаллического марганецсодержащего сырья извлекать до 95 – 97 % Mn, 98 – 99 % Ni, 96 – 98 % Fe, 60 % Co. Показано, что марганцевый концентрат целесообразно использовать для выплавки марганца металлического и сталей с низким содержанием фосфора, что позволит снизить зависимость от импорта марганецсодержащих материалов. Разработана технология легирования стали с использованием полученного концентрата никеля, при этом замена никеля металлического его концентратом значительно сократит расходы на легирование. Разработана технология получения металлизированного железа методом твердофазного восстановления из железного концентрата, что позволит снизить содержание вредных примесей в стали.

Ключевые слова: полиметаллические марганецсодержащие руды, высококачественный марганцевый концентрат, никелевый концентрат, металлизированный продукт, обогащение, марганец металлический, прямое легирование, стали.

DOI: 10.15825/0368-0797-2015-5-309-315

Производство стали подавляющего большинства марок не может обойтись без марганцевых ферросплавов. Содержание марганца в сталях обычно составляет от 0,5 до 2,0 %, а в некоторых и до 13,0 %.

Потребление марганцевых сплавов в России постоянно растет и на настоящий момент составляет около 650 тыс. т в год. В 2012 г. в стране произведено 302 тыс. т марганцевых сплавов, что для отечественной промышленности составляет 47 % от необходимого объема. Недостающее (более 50 %) количество сплавов импортируется из Украины, Казахстана, Китая.

Потребности российской промышленности в марганцевом сырье удовлетворяются практически в полном объеме за счет импорта. В последние годы в страну ввозится 800 – 1000 тыс. т марганцевых руд ежегодно преимущественно из Казахстана, а также Бразилии, ЮАР, Турции.

В России имеются значительные (более 290 млн. т) балансовые запасы марганцевых руд, но марганце-

вые руды большинства отечественных месторождений отличаются невысоким качеством: при низком (18 – 33 %) содержании марганца и высоком (отношение содержаний P/Mn > 0,006) удельном содержании фосфора, повышенном содержании железа и кремнезема относятся к труднообогатимым. При этом около 90 % балансовых запасов приходится на карбонатное сырье [1, 2].

В последние годы были выявлены проявления качественных марганцевых руд в пределах Алтае-Саянской металлогенической провинции: участок Аскиз в республике Хакасия; участок Сунгай в Алтайском крае; участок Сугул в республике Алтай; Селезенское месторождение и участок Чумай, расположенные в Таштагольском и Тисульском районах Кемеровской области. При этом марганцевые руды месторождений Сугул и Чумай следует отнести к полиметаллическим рудам. Химический состав марганцевых руд этих месторождений приведен в табл. 1, из которой следует, что в рудах участка Сугул содержание марганца не превышает 21,0 %, а в рудах участка Сумай достаточно большое

* Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Минобрнауки РФ.

Химический анализ марганцевых руд

Table 1. Chemical analysis of manganese ores

Участок	Содержание, % (по массе)												
	Mn _{общ}	Fe _{общ}	P	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Ni	Co	Cu
Аскиз	52,90	2,1	0,03	11,50	0,63	2,60	1,06	–	–	–	–	–	–
Чумай	54,60	4,6	0,20	7,52	0,76	1,94	–	–	–	0,07	0,5	3,0	0,2
Сугул	20,40	2,0	0,04	50,60	0,75	6,96	0,77	–	–	0,10	0,5	3,0	0,7
Сунгай	33,54	4,1	0,06	31,50	1,00	5,68	0,48	–	–	–	–	–	–
Селезенское месторождение	36,98	10,8	0,12	14,50	2,03	1,25	–	0,11	0,53	–	–	–	–

(52 – 55 %) содержание марганца, но и высокая концентрация фосфора, поэтому эти руды не могут быть использованы для выплавки стандартных сплавов без предварительного обогащения.

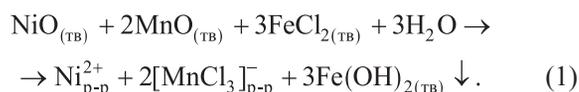
К полиметаллическому марганецсодержащему сырью относятся также железомарганцевые конкреции (ЖМК) Финского залива Балтийского моря и Тихого океана.

Содержание наиболее ценных компонентов в конкрециях находится в следующих пределах: 7,90 – 49,90 % Mn; 0,20 – 0,41 % Co; 0,16 – 2,00 % Ni; 0,03 – 1,60 % Cu; 15,00 – 25,00 % Fe.

Выбор технологической схемы переработки конкреций определяется их физико-химическими свойствами: формой присутствия составляющих конкреции элементов, их качественным составом, экономикой применяемых способов и конъюнктурой.

Наряду с рудами участков Сугул и Чумай обогащению подвергались конкреции следующего состава: 15,170 % Mn_{общ}; 21,20 % MnO₂; 0,275 % Co; 0,460 % Ni; 0,220 % Cu; 16,20 % Fe_{общ}; 13,740 % SiO₂; 2,60 % CaO; 2,010 % MgO; 3,670 % Al₂O₃; 0,255 % P; 16,680 % влаги.

Термодинамические расчеты и экспериментальные исследования по обогащению полиметаллического марганецсодержащего сырья позволили определить основные технологические параметры извлечения ценных компонентов с использованием в качестве растворителей водных растворов хлоридов кальция и железа, либо хлорида кальция и сульфата железа, а также предложить схему его обогащения (рис. 1) [3]. Наиболее перспективным растворителем при выщелачивании марганца и других ценных компонентов из полиметаллических марганецсодержащих руд является водный раствор хлорида железа FeCl₂. При совместном выщелачивании оксидов никеля (NiO) и марганца (MnO) водным раствором хлористого железа из полиметаллических марганецсодержащих руд существенное влияние на растворение оксидов никеля и марганца оказывает образование в растворе комплексных соединений, что является особенностью поведения переходных 3d-элементов:



Образование по реакции (1) комплексных солей Ni[MnCl₃]₂ с донорно-акцепторными химическими связями в водном растворе хлористого железа способствует более глубокому извлечению никеля (98 – 99 %) и марганца (95 – 97 %).

Высокое извлечение оксидов марганца и никеля из полиметаллических руд достигается при температуре процесса выщелачивания 475 – 500 К. Такие значения температур также способствуют очистке раствора от избыточного количества хлористого железа, которое при этих температурах гидролизует, выпадая в осадок.

Применение оптимальных технологических параметров обогащения позволяет извлекать из сырья до 95 – 97 % Mn, 98 – 99 % Ni, 60 % Co.

Наряду с марганцем и никелем в раствор переходят и другие присутствующие в рудном сырье элементы, в частности, железо и кобальт. Экспериментальными исследованиями были определены оптимальные условия селективного осаждения этих элементов (рис. 1). Это позволило получать из полиметаллического сырья следующие концентраты: марганцевый (~ 60 % Mn); никелевый (~ 46 % Ni); железный (~ 60 % Fe); кобальтовый (~ 33 % Co).

Марганцевый концентрат, полученный в результате обогащения, содержит 59 – 62 % Mn; 0,1 – 0,3 % SiO₂; 0,1 – 0,2 % Fe; 0,01 % P; следы S. Извлечение марганца из полиметаллических марганецсодержащих руд в концентрат составляет не менее 90 %. Марганцевый концентрат целесообразно использовать для выплавки качественных сталей с низким содержанием фосфора и марганца металлического.

Сложность использования полученного концентрата для внепечного процесса выплавки марганца металлического алюминотермическим способом заключается в том, что тепла, выделившегося в ходе реакции восстановления, недостаточно для обеспечения эффективного разделения металла и шлака.

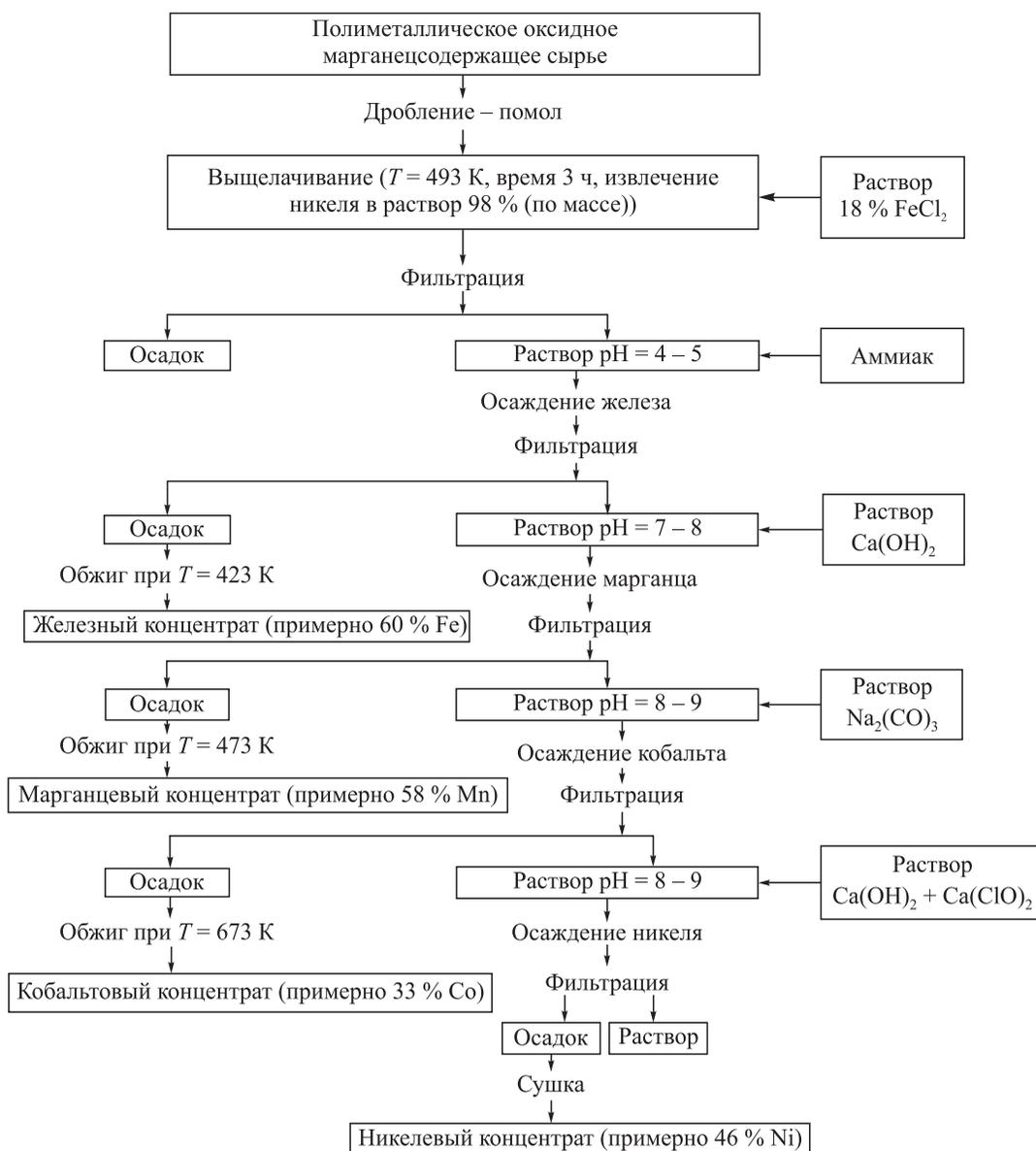
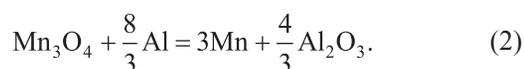


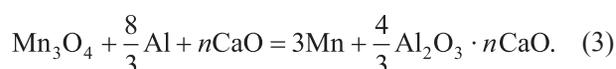
Рис. 1. Технологическая схема комплексного обогащения оксидного полиметаллического марганецсодержащего сырья

Fig. 1. Flow diagram of complex processing of oxide polymetallic manganese-containing ore

Это связано с тем, что марганец в концентрате химического обогащения по данным рентгенофазового анализа представлен в виде соединения Mn_3O_4 . Аллюминотермический процесс восстановления Mn_3O_4 можно описать следующей реакцией:



Для получения жидкоподвижного шлака и снижения его температуры плавления в шихту необходимо вводить флюс. В качестве флюса целесообразно использовать известь, тогда в общем виде процесс можно представить реакцией



Тепловые расчеты показали, что удельный тепловой эффект не превышает 1900 кДж/кг шихты.

Для повышения термичности процесса необходимо либо подводить тепло, используя электропечной агрегат или предварительный подогрев шихты, либо вводить в шихту высшие оксиды марганца Mn_2O_3 и MnO_2 .

Получить более высокую окисленность марганца возможно при получении марокита $CaMn_2O_4$ и монофазного материала $CaMnO_3$ [4, 5].

Однако при внепечной плавке для обеспечения тепловых условий процесса целесообразно использовать соединение $CaMnO_3$, в котором марганец имеет высшую окисленность. Проведенные исследования позволили определить следующие технологические параметры получения монофазного синтетического материала

CaMnO_3 : температура 1073 К, время синтеза 6 ч, соотношение концентрата химического обогащения и извести 2:1. Термохимическим синтезом был получен материал, рентгенофазовый состав которого представлен ниже:

- *известь*: CaO – много, портланд $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – присутствует, кальцит CaCO_3 ;
- *концентрат химического обогащения*: гаусманит Mn_3O_4 – много;
- *синтезированный материал*: CaMnO_3 – много; присутствует немного марокита CaMn_2O_4 .

Восстановление марганца алюминием из синтезированного материала сопровождается значительным выделением тепла и представлено реакцией



Полученный Al_2O_3 взаимодействует с монооксидом кальция с образованием легкоплавкого алюмината. Следовательно, в ходе восстановления потери марганца теоретически могут быть сведены к минимальным.

Синтезированный материал использовали при выплавке марганца металлического. Шихта состояла из концентрата химического обогащения, продуктов синтеза и алюминиевого порошка. Плавки вели в горне с верхним запалом. В результате был получен металл со средним содержанием марганца 97 %, что соответствует марке Мн 965, сплав отличается низким содержанием вредных примесей (фосфора и серы), а содержание железа не превышает 1 %. Извлечение марганца составило 90 % при полезном использовании алюминия 94 – 96 %.

Эффективным также является использование высококачественного марганцевого концентрата для обработки стали в ковше или агрегате ковш-печь.

В результате исследований установлено, что металлотермическое восстановление оксидов марганца значительно ускоряется при использовании марокита $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{Mn}_2\text{O}_4$ и манганитов кальция и магния $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{MnO}_3$, которые могут быть получены из концентрата химического обогащения.

Проведенный комплекс исследований позволил определить технологические параметры синтеза марокита из высококачественного марганцевого концентрата.

Применение марокита в смесях для обработки стали на агрегате ковш-печь показало, что сквозное извлечение марганца составляет 87,90 – 94,27 %, что делает процесс практически безотходным и позволяет выплавлять стали чистые по фосфору.

Полученный при обогащении полиметаллического марганецсодержащего сырья никелевый концентрат (со средним содержанием никеля 46 %) может быть использован для прямого легирования стали.

Процесс восстановления никеля из оксида исследовали с использованием программного комплекса «Тер-

ра» [7] в системах Ni-O-C и Ni-O-C-Fe , представленных набором веществ $l/\text{NiO}-nC$ и $l/\text{NiO}-nC-m\text{Fe}_2\text{O}_3$, где l, n и m – количество молей NiO , C и Fe_2O_3 соответственно. Исходный состав системы формировали заданием значений l, n и m .

Методика исследования включала следующие этапы:

- расчет возможных составов и определение термодинамических условий, необходимых для осуществления процесса восстановления никеля;
- определение границ концентрационных областей протекания восстановительных процессов;
- нахождение параметров входного потока, при которых обеспечивается достижение оптимального состава системы в равновесных условиях.

Моделирование возможных составов, которые могут получаться в результате протекания процессов восстановления никеля в термодинамических системах (Ni-O-C и Ni-O-C-Fe), осуществляли изменением количества углерода в них, что позволило оценить границы концентрационных областей протекания восстановительных процессов. Модельные системы Ni-O-C и Ni-O-C-Fe формировали путем задания исходного состава смеси в виде 1 моля монооксида никеля и оксида железа (III) и n молей углерода (рис. 2).

Термодинамические расчеты для системы Ni-O-nC , проводимые при температурах 1073, 1573 и 1873 К, показали, что максимальное восстановление 1 моля оксида никеля при температуре 1073 К достигается при расходе 0,5 моля углерода, а при температурах 1573 и 1873 К – при расходе 0,2 моля углерода на 1 моль монооксида никеля.

Полное восстановление никеля из оксида в системе Ni-O-C-Fe при температуре 1873 К происходит при содержании углерода в количестве 0,5 моля. При дальнейшем увеличении содержания углерода в системе одновременно с восстановлением никеля из его оксида начинается восстановление железа.

Результаты термодинамического моделирования показали, что никель из оксида можно полностью восста-

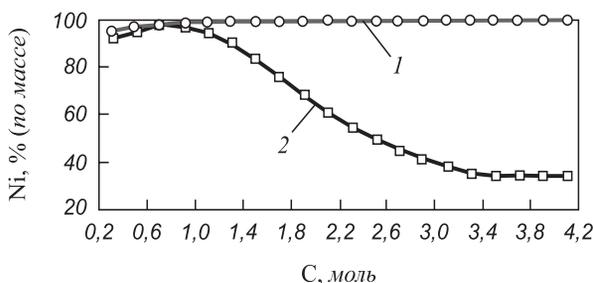


Рис. 2. Зависимость содержания никеля в металле от количества углерода в системах Ni-O-nC при температурах 1073 К (1) и 1873 К (2)

Fig. 2. Dependence of nickel content in metal on carbon quantity in the following Ni-O-nC systems under the temperature of 1073 K (1) and of 1873 K (2)

новить при температуре 1073 К в системе Ni–O–C и при 1873 К в системе Ni–O–C–Fe.

Изучение кинетики восстановления никеля из полученного никелевого концентрата проводили методом непрерывного взвешивания. Для этого были изготовлены брикеты, в состав которых входили никелевый концентрат и кокс ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» в соотношении 7:1. Результаты экспериментов показали, что при температурах 1273 и 1473 К никель из монооксида восстанавливается практически полностью в течение 20–30 мин, что также подтверждено результатами рентгенофазового анализа (рис. 3).

Для определения технологических параметров процесса легирования стали никелем было проведено шесть серий экспериментальных плавок стали в лабо-

раторной дуговой печи по двухшлаковой технологии с использованием двух видов брикетов: из никелевого концентрата и его смеси с коксом фракцией менее 0,125 мм. В качестве связующего использовали жидкое стекло. Брикетки вводили в завалку.

В результате проведенных исследований было установлено, что восстановление никеля практически завершается в период плавления. Извлечение никеля при использовании брикетов из смеси никелевого концентрата и кокса (серии 1, 2, 3) составляет 97–98 %, а при использовании брикетов, состоящих только из никелевого концентрата (серии 4, 5, 6), извлечение никеля на уровне 93–95 % (табл. 2). Сквозное извлечение никеля из рудного сырья составило около 90 %.

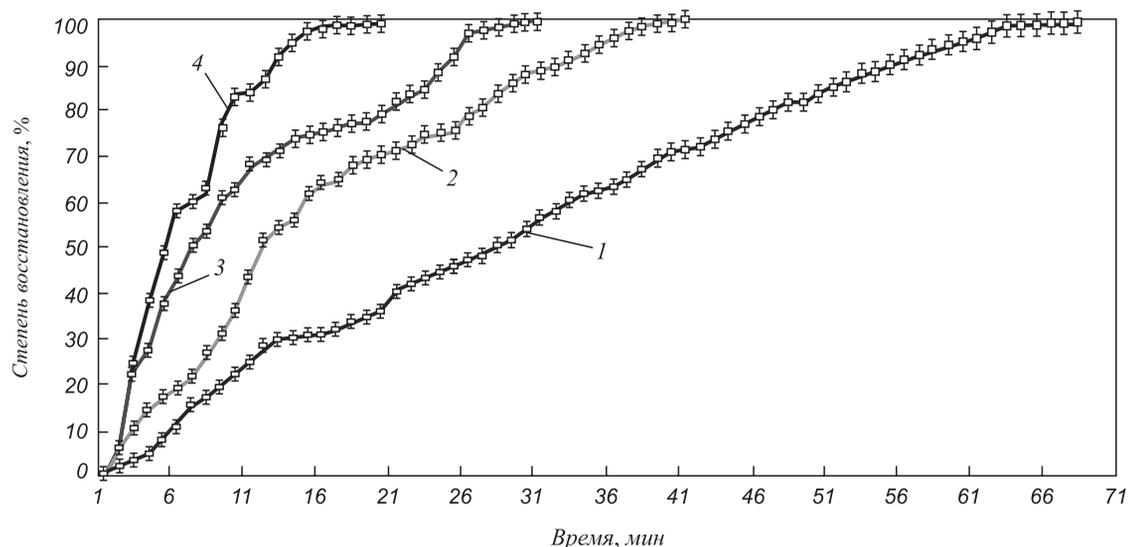


Рис. 3. Зависимость степени восстановления никеля из оксида от длительности изотермической выдержки при температурах 1073 К (1), 1173 К (2), 1273 К (3) и 1473 К (4)

Fig. 3. Dependence of the degree of nickel recovery from oxide on duration of isothermal soaking under the temperature of 1073 K (1), 1173 K (2), 1273 K (3) and 1473 K (4)

Т а б л и ц а 2

Результаты легирования стали никелем

Table 2. Results of nickel alloying of steel

Показатель	Значения показателя по сериям плавок					
	1	2	3	4	5	6
Содержание Ni, %:						
в стальном ломе	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
в конце плавления	2,91	2,94	2,93	2,85	2,79	2,83
в готовом металле	2,91	2,94	2,93	2,85	2,79	2,83
в шлаке в конце плавления	0,084	0,057	0,063	0,144	0,207	0,165
Масса слитка, кг	9,98	9,97	9,95	9,96	9,97	9,95
Извлечение Ni, % (по массе)	97,2	98,1	97,9	95,2	93,1	94,5

П р и м е ч а н и е. Состав стального лома: 0,275 % C; 0,267 % Si; 0,423 % Mn; 0,175 % Cr; 0,027 % S; 0,028 % P.

По предварительной оценке замена металлического никеля никелевым концентратом, полученным при гидрометаллургическом обогащении полиметаллических марганцевых руд, позволит значительно сократить затраты на легирующий элемент.

Железный концентрат (среднее содержание железа примерно 60 %), полученный при обогащении полиметаллического марганецсодержащего сырья (извлечение железа 96 – 98 %), использовали для получения металлизированного железа методом твердофазного восстановления [8, 9]. В качестве восстановителя использовали угли Кузбасского бассейна, технический состав которых приведен ниже:

Восстановитель	[C] в рабочей массе, %	A^d , %	V^{daf} , %	W^r , %
Уголь бурый марки 2Б	49,10	7,83	46,76	35,3
Уголь длиннопламенный марки Д	55,60	5,64	43,53	15,4
Уголь слабоспекающийся марки СС	70,02	6,40	34,30	6,4
Коксовый орешек	84,56	9,41	1,83	3,0

Высокотемпературные эксперименты проводили в печи сопротивления с графитовым нагревателем и лабораторной дуговой сталеплавильной печи. Из используемых материалов были составлены смеси разного состава, которые в дальнейшем подвергли грануляции и восстановительному обжигу.

Изучены процессы восстановления железа из оксидов железных руд при температурах (1073, 1173, 1273, 1373 и 1473 К) восстановительного обжига. По результатам исследований было определено влияние физико-химических свойств углей различных технологических марок на процессы твердофазного восстановления железа из оксидов железных руд, определены основные технологические параметры металлизации, позволяющие получать металлизированные продукты с губчатой структурой с содержанием до 83 % металлического

железа и металлические гранулы с содержанием более 98 % металлического железа.

Металлизированные материалы были использованы для выплавки стали в лабораторной дуговой электропечи по двухшлаковой технологии. Выплавляли сталь марки Ст3 по ГОСТ 380 – 88. Количество металлизированного железа в металлошихте составляло 30 – 50 %. Результаты анализа химического состава выплавленной стали представлены в табл. 3, из которых следует, что при использовании в шихте металлизированных материалов возможно получать сталь с низким (менее 0,02 %) содержанием фосфора.

Выводы. На основе проведенных исследований предложена схема комплексной переработки полиметаллического сырья, включающая автоклавное выщелачивание полиметаллических марганецсодержащих руд растворами хлоридов и селективное осаждение из растворов ценных компонентов. Извлечение марганца из рудного сырья составило 95 – 97 %, никеля – 98 – 99 %, железа – 96 – 98 %. Использование продуктов обогащения позволило выплавлять марганец металлический марки Мн 965 (извлечение марганца составило 97 %); снизить себестоимость стали, содержащей никель, за счет обработки ее полученным никелевым концентратом; уменьшить содержание вредных примесей в стали при частичной замене металлошихты металлизированным железом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полулях Л.А., Дашевский В.Я., Юсфин Ю.С. Производство марганцевых ферросплавов из отечественных марганцевых руд // Изв. вуз. Черная металлургия. 2014. № 9. С. 5 – 12.
2. Чернобровин В.П., Мизин В.Г., Сирина Т.П., Дашевский В.Я. Комплексная переработка карбонатного марганцевого сырья: химия и технология. – Челябинск: изд. ЮУрГУ, 2009. – 294 с.
3. Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Кичигина О.Ю., Горюшкина Ю.В., Родзевич А.П. Исследование процесса извлечения марганца и никеля из полиметаллического марганецсодержащего сырья при его выщелачивании хлоридными растворами // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 12. С. 11 – 14.
4. Гасик М.И. Марганец. – М.: Металлургия, 1992. – 608 с.

Т а б л и ц а 3

Химический состав стали

Table 3. Chemical composition of steel

Соотношение металлизированный материал : лом	Номер плавки	Содержание, %, в металле элементов				
		C	Si	Mn	P	S
3:7	1	0,22	0,34	0,4	0,014	менее 0,05
	2	0,20	0,32	0,4	0,015	
	3	0,21	0,36	0,36	0,016	
1:1	4	0,22	0,36	0,4	0,006	
	5	0,21	0,36	0,38	0,006	
	6	0,26	0,37	0,4	0,004	

П р и м е ч а н и е. Состав стального лома: 0,275 % C; 0,267 % Si; 0,423 % Mn; 0,175 % Cr; 0,027 % S; 0,028 % P

5. Лященко В.С. Термические превращения минералов марганца осадочных месторождений: автореф. канд. геол.-минералог. наук. – Львов, 1987. – 22 с.
6. Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Тираков Г.М., Борщевская Г.Л. Исследование процесса синтеза кальциймарганецсодержащих материалов // Изв. вуз. Черная металлургия. 2008. № 10. С. 27–31.
7. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов. / Г.Б. Синярев, Н.А. Ватолин, Б.Г. Трусов, Г.К. Моисеев. – М.: Наука, 1982. – 264 с.
8. Юсфин Ю.С., Гиммельфарб А.А., Пашков Н.Ф. Новые процессы получения металла. Металлургия железа. – М.: Металлургия, 1994. – 320 с.
9. Амдур А.М., Потапов А.М., Разницына А.Л., Лхамсурен М. Кинетика восстановления железорудного концентрата углем // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 8. С. 17–20.

Поступила 4 февраля 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2015. VOL. 58. No. 5, pp. 309–315.

POLYMETALLIC MANGANESE ORE DRESSING AND OPTIMAL USE OF THE OBTAINED CONCENTRATES

Nokhrina O.I.¹, *Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair of ferrous metallurgy (kafamsf@sibsiu.ru)*

Rozhikhina I.D.¹, *Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair of ferrous metallurgy*

Proshunin I.E.², *Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department of Quality Administration*

Khodosov I.E.¹, *Head of Laboratory of the Chair of ferrous metallurgy*

¹ **Siberian State Industrial University** (42, Kirova str., Novokuznetsk, Kemerovo Region, 654007, Russia)

² **JSC “EVRAZ – Joint West Siberian Metallurgical Plant”** (16, Kosmicheskoe route, Novokuznetsk, Kemerovo Region, 654043, Russia)

Abstract. Manganese ores are detected in the Altai – Sayan metallogenetic zone, they can be referred to the polymetallic ores, but they cannot be used for standard alloys production without preliminary dressing as they have a high content of phosphorus and iron. Thermodynamic calculations and experimental investigations on polymetallic manganese raw material dressing have determined some basic technological parameters of recovering and technological diagram of dressing. Obtaining of high-quality concentrates of manganese, nickel, iron, cobalt is possible due to that technological diagram. The application of optimal technological parameters of dressing can retrieve up to 95 – 97 % of manganese, 98 – 99 % of nickel and 96 – 98 % of iron from polymetallic manganese-containing raw material. It has been demonstrated that manganese concentrate can be used for manganese smelting and for steels with low content of phosphorus, and that allows reducing import of manganese materials. The technology of steel alloying with the usage of the obtained nickel concentrate has been worked out; and when metallic nickel is substituted by nickel concentrate, the costs for alloying are reduced considerably. The technology of metalized iron obtaining by the method of solid-phase recovery and iron concentrate has been worked out, and it can allow decreasing harmful impurities in steel.

Keywords: polymetallic manganese ores, high-quality manganese concentrate, nickel concentrate, metalized product, dressing, metallic manganese, direct alloying, steel.

REFERENCES

1. Polulyakh L.A., Dashevskii V.Ya., Yusfin Yu.S. Production of manganese ferroalloys from the domestic manganese ores. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy.* 2014, no. 9, pp. 5–12. (In Russ.).
2. Chernobrovin V.P., Mizin V.G., Sirina T.P., Dashevskii V.Ya. *Kompleksnaya pererabotka karbonatnogo margantsevogo syr'ya: khimiya i tekhnologiya* [Complex processing of carbonate manganese raw materials: chemistry and technology]. Chelyabinsk: YuUrGU, 2009. 294 p. (In Russ.).
3. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D., Kichigina O.Yu., Goryushkina Yu.V., Rodzevich A.P. Research of the extraction process of manganese and nickel from polymetallic manganese-containing raw material at its leaching with chloride solutions. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy.* 2012, no. 12, pp. 11–14. (In Russ.).
4. Gasik M.I. *Marganets* [Manganese]. Moscow: Metallurgiya, 1992. 608 p. (In Russ.).
5. Lyashchenko V.S. *Termicheskie prevrashcheniya mineralov margantsa osadochnykh mestorozhdenii: avtoref. kand. geol.-mineralog. nauk* [Thermal transformations of manganese minerals of sedimentary deposits: Cand. of Geologo-Mineralogical Sci. diss.]. Lviv, 1987. 22 p. (In Russ.).
6. Rozhikhina I.D., Nokhrina O.I., Tirakov G.M., Borshchevskaya G.L. Research of synthesis process of calcium-manganese-containing materials. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy.* 2008, no. 10, pp. 27–31. (In Russ.).
7. Sinyarev G.B., Vatoлин N.A., Trusov B.G., Moiseev G.K. *Primenenie EVM dlya termodinamicheskikh raschetov metallurgicheskikh protsessov* [Computer usage for thermodynamic calculations of metallurgical processes]. Moscow: Nauka, 1982. 264 p. (In Russ.).
8. Yusfin Yu.S., Gimmel'farb A.A., Pashkov N.F. *Novye protsessy polucheniya metalla. Metallurgiya zheleza* [New processes of metal production. Iron metallurgy]. Moscow: Metallurgiya, 1994. 320 p. (In Russ.).
9. Amdur A.M., Potapov A.M., Raznitsyna A.L., Lkhamsuren M. Reduction kinetics of iron-ore concentrates with coal. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy.* 2012, no. 8, pp. 17–20. (In Russ.).

Acknowledgements. The work was performed within the framework of the state task in the sphere of scientific work of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

DOI: 10.15825/0368-0797-2015-5-309-315

Received February 4, 2015