

УДК 669.15-198

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ РАФИНИРОВАННОГО ФЕРРОМАРГАНЦА С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ

*Байсанов С.О.<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, директор*

*Байсанов А.С.<sup>1</sup>, к.т.н., заведующий лабораторией пирометаллургических процессов*

*Исагулов А.З.<sup>2</sup>, д.т.н., профессор, проректор*

*Есенгалиев Д.А.<sup>2</sup>, к.т.н., докторант (dauralga@mail.ru)*

*Оспанов Н.И.<sup>2</sup>, к.т.н., докторант*

<sup>1</sup>Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева

(100009, Республика Казахстан, Караганда, ул. Ермакова, 63)

<sup>2</sup>Карагандинский государственный технический университет

(100027, Республика Казахстан, Караганда, Бульвар Мира, 56)

**Аннотация.** Роль марганца в производстве стали исключительно велика. Особенностью силикотермического процесса получения рафинированного ферромарганца являются большие потери марганца с отвальными шлаками. Последний при охлаждении рассыпается с образованием тонкодисперсного порошка вследствие полиморфного превращения ортосиликата кальция  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4 \rightarrow \gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  при температуре 450 – 470 °С с увеличением объема на 12,3 %. При увеличении объема внутри шлака возникают значительные внутренние напряжения, что приводит к его рассыпанию в мелкодисперсное состояние в ходе остывания. Данная работа посвящена усовершенствованию технологии выплавки рафинированных марок ферромарганца путем использования специальных комплексных восстановителей. Проведены эксперименты по моделированию процесса выплавки рафинированного ферромарганца в руднотермической печи рафинировочного типа РК0-0,1 МВА с использованием АМС. Установлены технологические режимы процесса плавки, оптимальные составы шихты. Шихта сходилась равномерно без обвалов и выбросов. Наблюдалась стабильность токовой нагрузки. Таким образом, крупно-лабораторными опытными плавками доказана принципиальная возможность получения рафинированного ферромарганца с применением в качестве восстановителя комплексного сплава АМС. Использование АМС как восстановителя вместо ферросиликомарганца обусловлено достаточным содержанием в нем кремния и алюминия. Наличие в АМС химических соединений и твердых растворов железа, кремния и алюминия должно существенно снизить потери кремния и алюминия на окислительные процессы при взаимодействии с кислородом воздуха. Вовлечение в металлургический передел при выплавке рафинированного ферромарганца сплава АМС (взамен дорогостоящего ферросиликомарганца) позволит получить сплав с высокой добавленной стоимостью и с наилучшими технологическими параметрами благодаря наличию дополнительного алюминия в сплаве. Результаты рентгенофазовых исследований образцов шлаков показывают, что минералогическими составляющими являются геленит, двухкальциевый силикат и манганозит. Отмечено, что геленит в них является доминирующей фазой, которая представляет собой твердый раствор, что предотвращает рассыпание шлака. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований решены поставленные задачи – разработана и опробована технология выплавки рафинированного ферромарганца с использованием специального комплексного восстановителя АМС.

**Ключевые слова:** рафинированный ферромарганец, алюмосиликомарганец, ферросиликомарганец, рафинировочная печь, металлотермия, шлак, рентгенофазовый анализ.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-9-689-694

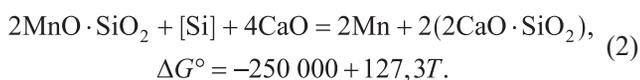
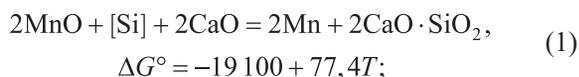
### ВВЕДЕНИЕ

Рафинированный ферромарганец используется при выплавке сталей и производстве сплавов цветных металлов, в порошкообразном виде – для изготовления покрытий сварочных электродов [1]. Однако при производстве рафинированного ферромарганца значительное количество марганца теряется с отвальными шлаками. Кроме этого, в силикотермии рафинированного ферромарганца остро стоит вопрос подверженности конечных отвальных шлаков саморассыпанию. Тем самым распавшийся шлак наносит серьезный ущерб окружающей среде, занимая обширные территории. В связи с этим актуальными

становятся работы по усовершенствованию технологии производства рафинированного ферромарганца. В настоящей работе выполнены исследования в этом направлении.

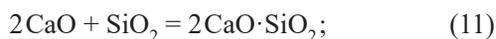
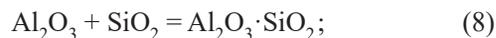
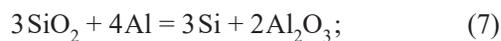
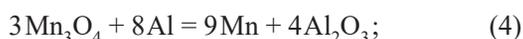
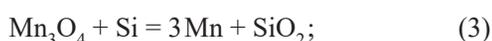
### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В промышленных условиях рафинированный ферромарганец получают из марганцевой руды, малофосфористого марганцевого шлака и силикомарганца в присутствии извести, связывающей кремнезем в силикаты кальция. При этом восстановление марганца из оксида марганца и тефрита описывается следующими реакциями [2]:



Термодинамическое и экспериментальное исследование реакции восстановления MnO кремнием силикомарганца, являющееся основной при электросиликотермическом получении рафинированных марок ферромарганца [3 – 6] показало, что для достижения требуемого стандартом содержания кремния в металле не более 2 % необходимо обеспечить содержание MnO в шлаке не ниже 13 – 15 % при основности шлака  $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = 1,5 - 1,7$ . В реальности остаточное содержание MnO значительно превышает эти значения. Это является одной из главных причин больших потерь марганца. Как видно из реакций (1) и (2), образовавшийся двухкальциевый силикат ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) в процессе кристаллизации и снижения температуры является первопричиной рассыпания шлака в порошок из-за фазового перехода модификации  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  в  $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (405 °C), сопровождающегося увеличением объема на 12,3 % [7 – 9].

Решением данной проблемы является замена традиционного восстановителя (передельного силикомарганца) на новый марганецсодержащий комплексный сплав – алюмосиликомарганец (АМС), химический состав которого приведен в табл. 1. Содержание алюминия в сплаве обеспечивает в процессе металлотермии практически полное восстановление марганца из руды и образование шлака с высоким содержанием оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Восстановление марганца кремнием и алюминием алюмосиликомарганца с добавкой флюющего извести проходит по следующим реакциям:



Можно предполагать, что образованные по реакциям (3) – (7)  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на основе взаимодействий (8) – (9) формируют алюмосиликатные соединения типа андалузита ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ) и муллита ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) [10], при этом  $\text{Al}_2\text{O}_3$  отводит из зоны реакции  $\text{SiO}_2$  и снижает его активность. Восстановительная способность кремния усиливается благодаря восстановлению его алюминием из  $\text{SiO}_2$  по реакции (7). В присутствии CaO кремнезем связывается в прочные силикаты кальция –  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  и  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (10) – (11), что способствует увеличению полноты восстановления марганца, смещая равновесие реакций вправо и увеличивая вероятность реакций (12) – (13) с образованием ассоциатов типа  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  и  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основываясь на полученных результатах теоретических и экспериментальных работ, авторами выполнена апробация технологии выплавки рафинированного ферромарганца с применением комплексного сплава АМС в крупно-лабораторном масштабе в условиях Химико-металлургического института им Ж. Абишева.

В качестве шихтовых материалов использована марганцевая руда месторождения Ушкатын III, известь и алюмосиликомарганец. Химический состав исходных материалов представлен в табл. 1.

Состав шихты на получение рафинированного ферромарганца определен, исходя из следующих положений:

Таблица 1

#### Химический состав шихтовых материалов, %

Table 1. Chemical composition of the charge, wt. %

Материал	Mn <sub>общ</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	ППП
марганцевая руда Ушкатын III	32,52	6,02	8,82	1,34	18,79	1,07	0,019	–	18,09
известь кусковая	–	0,62	1,00	0,18	90,20	1,14	0,005	0,006	6,84
Материал, металлическая часть	Mn		Fe		Si	Al	P	Ca	C
алюмосиликомарганец	40,23		9,59		39,61	9,18	0,03	1,07	0,32

– кремний и алюминий в алюмосиликомарганце окисляются за счет закиси марганца, причем в реакции окисления принимает участие около 70 % закиси марганца, остальная ее часть переходит в шлак;

– отношение  $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$  в конечном шлаке принято рав-

ным 1,5, что соответствует техническим требованиям при производстве рафинированного ферромарганца. Согласно расчету шихты, для выплавки рафинированного ферромарганца использовался следующий состав колоши, кг: марганцевая руда – 17,4; известь – 13,95 и алюмосиликомарганец – 10.

Плавку осуществляли в двухэлектродной рафинировочной печи с трансформатором мощностью 0,1 МВА. Рабочее напряжение трансформатора 49 В. Печь футерована магнетитовыми огнеупорными кирпичами с засыпкой швов магнетитовым порошком и имеет леточное отверстие снизу на уровне подины для выпуска металла и одно шлаковое сверху. Поверхность пода наклонена под углом 3 – 5° в направлении леточного отверстия, что обеспечивает более легкий выход расплава из зоны восстановления. Температура в реакционной зоне обеспечивается за счет разряда дуги двух графитовых электродов диаметром 100 мм.

Шихта садилась самосходом по мере проплавления с образованием шлаковой ванны в центре печи. Процесс плавки был непрерывным с выпуском металла и шлака в чугунные изложницы через каждые 2 ч. Технологических отклонений от нормального режима не установлено. В целом процесс выплавки рафинированного ферромарганца характеризовался устойчивой посадкой электродов со стабильной токовой нагрузкой, разделка леточного отверстия не вызывала каких либо трудностей. Шлак был жидкотекучий, металл и шлак после остывания хорошо разделялись. Химический со-

став продуктов плавки (металла и шлака) представлен в табл. 2. По химическому составу полученный металл соответствовал среднеуглеродистому ферромарганцу по требованиям ИСО 5446-80 [11].

В результате плавки достигнута высокая степень извлечения марганца из руды и использования кремния и алюминия алюмосиликомарганца в качестве восстановителя (табл. 3).

Как известно, от химического состава шлака, особенно от его основности  $\left(\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}\right)$ , зависит ряд технологических показателей. Как показано в табл. 2, значения основности находятся в пределах 1,43 – 1,59. При увеличении значения основности шлака до 1,59 извлечение марганца возрастает вследствие повышения активности закиси марганца, способствующей более полному восстановлению марганца. При дальнейшем увеличении основности шлака  $\left(\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} > 1,7\right)$  температура процесса повышается, что вызывает рост потерь марганца испарением [12]. Второй задачей являлось получение при данной величине основности неподверженного распаду шлака. Шлаки лабораторных опытных плавок получались в камневидном состоянии без признаков распада. Вышесказанные сведения об оптимальных данных соответствуют значениям основности 1,43 – 1,59.

Проведенными рентгенофазовыми исследованиями минералогического состава полученных экспериментальных марганцевых шлаков на установке ДРОН-2 выявлено (см. рисунок), что фазовый состав опытных шлаков включает двухкальциевый силикат  $(\text{Ca}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{SiO}_4$  и манганозит  $\text{MnO}$ .

Манганозит в виде отдельных зерен располагается как по границам сплошных областей двухкальциевого

Таблица 2

**Химический состав металла и шлака, %**

*Table 2. Chemical composition of slag and metal, wt. %*

Номер плавок	Состав металла						Состав шлака				Основность
	Mn	Al	Fe	Si	C	P	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	CaO / SiO <sub>2</sub>
1	85,12	0,089	10,42	1,66	0,42	0,082	10,34	7,56	25,28	38,62	1,52
2	84,22	0,079	10,37	0,66	0,44	0,077	11,03	7,38	28,09	41,54	1,47
3	85,12	0,11	10,4	0,87	0,34	0,083	9,10	7,48	26,28	37,79	1,43
4	87,36	0,019	9,77	1,39	0,47	0,074	9,25	7,56	25,62	40,81	1,59
5	87,36	0,13	9,30	1,90	0,36	0,076	10,10	7,98	28,11	43,54	1,55
6	87,36	0,14	9,00	1,26	0,37	0,078	9,25	7,64	27,00	41,79	1,54
7	87,34	0,084	7,85	1,72	0,37	0,076	9,25	7,82	25,10	38,45	1,53
8	84,00	0,30	7,67	1,95	0,33	0,079	10,64	7,98	27,18	41,05	1,51
9	85,65	–	9,2	1,7	0,36	0,079	9,89	9,72	29,65	44,48	1,50
Среднее	85,95	0,12	9,33	1,46	0,38	0,08	9,87	7,90	26,92	40,90	1,52

Таблица 3

**Степень извлечения основных элементов при выплавке рафинированного ферромарганца, %**

*Table 3. Extraction rate of the basic elements at refined ferromanganese smelting, wt. %*

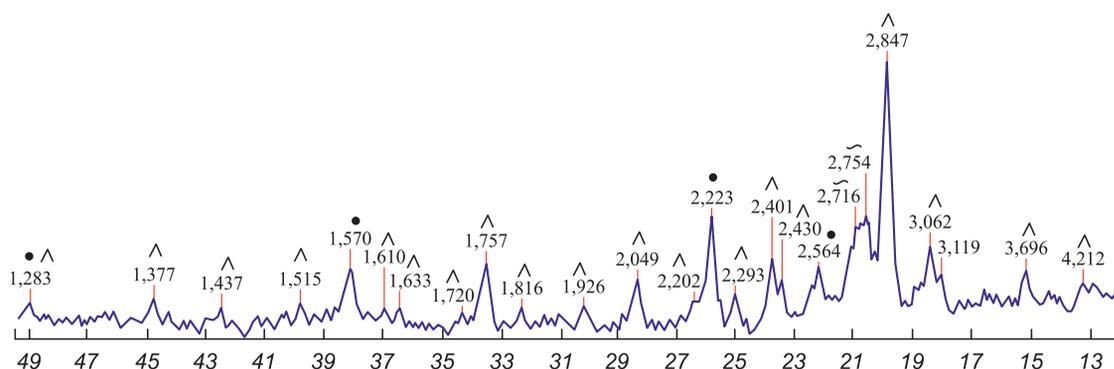
Продукт	Mn <sub>общ</sub>	Mn <sub>руда</sub>	Fe	Si	Al	Ca
Металл	75,0	60,0	91,0	20,7	5,5	–
Шлак	19,5	37,3	8,6	71,7	91,9	79,8
Улет	5,5	2,7	0,4	7,6	2,6	20,2

силиката α', так и внутри этих областей. Это дает основание предположить, что MnO выделяется в отдельную фазу одновременно с кристаллами Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> из жидкой фазы [13]. Также результаты рентгенофазовых исследований позволили установить, что в шлаке CaO, SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> образуют геленит (2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>), который представляет собой твердый раствор, что предотвраща-

ет рассыпание шлака. Важно отметить, что MnO кристаллизуется также в виде изолированных включений манганозита [12, 14 – 19].

Полученные данные дают основание сделать вывод о технологической целесообразности организации производства рафинированного ферромарганца по разработанной технологии в масштабах мини-производства для обеспечения внутреннего рынка с последующей перспективой выхода на мировой рынок.

Себестоимость выплавки рафинированного ферромарганца по разработанной авторами технологической схеме можно определить после проведения опытно-промышленных испытаний. Далее, по результатам укрупненно-лабораторных плавов, провести ориентировочную оценку себестоимости среднеуглеродистого ферромарганца. Выполненный примерный расчет расходных коэффициентов рафинированного ферромарганца по традиционной и новой технологии представлен в табл. 4.



Рентгенограмма экспериментального шлака:  
 ^ – геленит (Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>SiO<sub>7</sub>); ~ – двухкальциевый силикат (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>); • – манганозит (MnO)  
 X-ray-gram of the experimental slag:  
 ^ – helenite (Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>SiO<sub>7</sub>); ~ – dicalcium silicate (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>); • – manganosite (MnO)

Таблица 4

**Расчет расходных коэффициентов на 1 т рафинированного ферромарганца по традиционной и новой технологии**

*Table 4. Calculation of consumption factors per 1 ton of refined ferromanganese according to traditional and new technologies*

Статья	Традиционная			Разработанная		
	Нормы расхода	Цена, долл.	Сумма, долл.	Нормы расхода	Цена, долл.	Сумма, долл.
Марганцевый концентрат (48 % Mn), т	1,625	325	528	–	–	–
Марганцевая руда (30 % Mn), т	–	–	–	2,135	280	598
Силикомарганец MnC 17 (17/65), т	1,050	1150	1353	–	–	–
Алюмосиликомарганец, т	–	–	–	0,900	1147	1032
Известь 90 % CaO, т	0,530	265	140	0,506	265	134
Электроэнергия, кВт·ч	1575	0,08	126	1510	0,08	126
Электроды графитированные, т	0,02	1500	30	0,02	1500	30
Себестоимость сплава			2177			1920

**Выводы**

Доказана возможность выплавки среднеуглеродистого ферромарганца марок FeMn90C20 и FeMn90C20LP (ИСО 5446-80) с использованием комплексного восстановителя алюмосиликомарганца.

Введение АМС в качестве восстановителя позволяет эффективно проводить процесс металлургического восстановления (практически полное использование кремния 71,7 % и алюминия 91,9 % АМС), что повышает степень извлечения марганца из руды на 15,0 % по сравнению с силикотермическим процессом (55,0 %) [20] с последующим доведением до 75,0 %.

Вовлечение в металлургический передел при выплавке рафинированного ферромарганца сплава АМС позволяет полностью исключить традиционно используемый силикомарганец марки СМн 17 и СМн 26. При этом приближенная сравнительная экономическая оценка традиционной и разработанной технологии показывает, что себестоимость 1 т рафинированного ферромарганца по новой технологии будет на 257 долл. ниже, чем по традиционной.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Технология марганцевых ферросплавов. Ч. 2. Низкоуглеродистые сплавы / В.И. Жучков, Л.А. Смирнов, В.П. Зайко, Ю.И. Воронов. – Екатеринбург: УроРАН, 2008. – 442 с.
2. Рысс М.А. Производства ферросплавов. – М.: Металлургия, 1985. – 34 с.
3. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. – М.: Металлургия, 1988. – 784 с.
4. Садовский Н.Г., Гасик М.И. Об окислении кремния, растворенного в марганце // Известия АН СССР. 1976. № 6. С. 54 – 56.
5. Бобкова О.С. Силикотермическое восстановление металлов. 2-ое изд., перераб. и доп. – М: Металлургия, 1990. – 187 с.
6. Schurman E. Das Gleichgewicht zwischen Schlacke und Metall bei der Erzeugung von Ferromangan mit neidrigen kohlen gehalten // Stahl und Eisen. 1978. Bd. 98. No. 25. S. 1359 – 1360.
7. Гасик М.И., Лякишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. – М.: Интермет Инжиниринг, 1999. – 764 с.
8. Еремин Н.И., Дергачев А.Л. Экономика минерального сырья. – М.: МГУ, 2007. – 504 с.
9. Леонтьев Л.И., Жучков В.И., Смирнов Л.А. и др. Производство ферросплавов в мире и России // Сталь. 2007. № 3. С. 43 – 47.
10. Байсанов С.О. Закономерности фазовых равновесий в металлургических системах и разработка на их основе эффективных технологий выплавки ферросплавов: Дис. ... док. техн. наук. – Караганда: ХМИ, 2002. – 295 с.
11. Пат. 26606 РК. Способ получения рафинированного ферромарганца // М.Ж. Толымбеков, С.О. Байсанов, А.С. Байсанов и др. Оpubл. 25.12.2012.
12. Габдуллин Т.Г., Такенов Т.Д., Байсанов С.О., Букетов Е.А. Физико-химические свойства марганцевых шлаков. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 92 с.
13. Есенгалиев Д.А., Байсанов А.С., Султангазиев Р.Б. и др. Фазовый состав шлаков производства рафинированного ферромарганца // Фундаментальные и прикладные науки сегодня. Матер. II Междунар. науч.-практич. конф. 19 – 23 декабря 2013 г. – М., С. 161 – 163.
14. Гасик М.И. Особенности кристаллической структуры стабилизированного ортосиликата кальция как минеральной фазы – офлюсованного марганцевого агломерата. – В кн.: Физико-химические исследования малоотходных процессов в электротермии. – М.: Наука, 1985. С. 7 – 21.
15. Чепеленко Ю.В. Исследование процесса извлечения марганца из отвальных шлаков // Металлургия и коксохимия. 1966. № 3. С. 96 – 106.
16. Хитрик С.И., Ем А.П., Гасик М.И., Кравченко В.А. Комплексное использование марганцевых шлаков // Развитие ферросплавной промышленности в СССР. – Киев: НТО ЧМ УССР, 1961. С. 141 – 147.
17. Зайко В.П., Верушкин В.В., Воронов Ю.И. Извлечение марганца из шлаков отходов производства ферросиликомарганца // Электрометаллургия. 2003. № 12. С. 27 – 32.
18. Вагин В.В., Зубанов В.Т., Величко Б.Ф. и др. Изделия из огненно-жидких шлаков производства силикомарганца – эффективные заменители металла, цемента, огнеупорного материала // Сталь. 1993. № 11. С. 35 – 39.
19. Шульц Ю.А., Гасик М.И., Шрамко М.С. и др. Использование отвальных шлаков производства металлического марганца при выплавке стали // Сталь. 1984. № 9. С. 37 – 39.
20. Величко Б.Ф., Гаврилов В.А., Гасик М.И. и др. Металлургия марганца Украины / Под ред. М.И. Гасика. – Киев: Техника, 1996. – 472 с.

Поступила 5 февраля 2018 г.

IZVESTIYA VUZov. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. Vol. 61. No. 9, pp. 689–694.

## DEVELOPMENT OF SMELTING TECHNOLOGY OF REFINED FERROMANGANESE WITH SPECIAL COMPLEX REDUCING AGENTS

*S.O. Baisanov<sup>1</sup>, A.S. Baisanov<sup>1</sup>, A.Z. Isagulov<sup>2</sup>, D.A. Esengaliev<sup>2</sup>, N.I. Ospanov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Chemical-Metallurgical Institute named after Zh. Abishev, Karaganda, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>Karaganda State Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

**Abstract.** The role of manganese in the production of steel is exceptionally high. A feature of the silicothermic process of obtaining refined ferromanganese is the large loss of manganese with waste slag. When waste slag is cooled, it crumbles to form a fine dust due to the polymorphic transformation of calcium orthosilicate  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4 \rightarrow \gamma\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  at temperature of 450 – 470 °C with an increase in volume by 12.3 %. As

the volume increases, considerable internal stresses appear inside the slag, which leads to dispersion of the slags into finely dispersed state during their cooling. This work is devoted to improving the technology of smelting refined ferromanganese grades, using special complex reducing agents. Experiments have been carried out to simulate the smelting process of refined ferromanganese in an ore-thermal refining furnace RCO-0.1 MVA using aluminosilicomanganese (ASM). The technological modes of the smelting process are established, i.e. optimal composition of charge. Charge went evenly without collapses and emissions. The stability of the current load was observed. Thus, the principal possibility of obtaining a refined ferromanganese with the use of a complex ASM alloy as a reducing agent was proved by the large-laboratory experimental melting. The use of ASM as a reducing agent, instead of ferrosilicomanganese, is due to the sufficient content of sili-

con and aluminum in it. The presence of chemical compounds and solid solutions of iron, silicon and aluminum in ASM should significantly reduce losses of silicon and aluminum for oxidation processes when interacting with air oxygen. And involving ASM alloy in the metallurgical redistribution, in refined ferromanganese smelting, instead of expensive ferrosilicomanganese will make it possible to obtain an alloy with high added value and with the best technological parameters, due to the presence of additional aluminum in it. The results of X-ray phase studies of slag samples show that the mineralogical components are gellenite, dicalcium silicate and manganosite. It is noted that gellenite in them is the dominant phase, which is a solid solution, preventing the dispersion of slag. As a result of the theoretical and experimental studies, the tasks have been solved - the smelting technology of refined ferromanganese was developed and tested using a special complex reducing agent – ASM.

**Keywords:** refined ferromanganese, aluminosilicomanganese, ferrosilicomanganese, refining furnace, metallurgy, slag, X-ray phase analysis.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2018-9-689-694

### REFERENCES

- Zhuchkov V.I., Smirnov L.A., Zaiko V.P., Voronov Yu.I. *Tekhnologiya margantsevykh ferrosplavov. Ch. 2. Nizkouglerodistyie splavy* [Technology of manganese ferroalloys. Part 2. Low-carbon alloys]. Ekaterinburg: UroRAN, 2008, 442 p. (In Russ.).
- Ryss M.A. *Proizvodstva ferrosplavov* [Production of ferroalloys]. Moscow: Metallurgiya, 1985, 34 p. (In Russ.).
- Gasik M.I., Lyakishev N.P., Emlin B.I. *Teoriya i tekhnologiya proizvodstva ferrosplavov* [Theory and technology of ferroalloy production]. Moscow: Metallurgiya, 1988, 784 p. (In Russ.).
- Sadovskii N.G., Gasik M.I. On the oxidation of silicon dissolved in manganese. *Izvestiya AN SSSR*. 1976, no. 6, pp. 54-56. (In Russ.).
- Bobkova O.S. *Silikotermicheskoe vosstanovlenie metallov* [Silicothermic reduction of metals]. Moscow: Metallurgiya, 1990, 187 p. (In Russ.).
- Schurman E. Das Gleichgewicht zwischen Schlake und Metall bei der Erzengeng von Ferromangan mit neidrigen kohlen gehalten. *Stahl und Eisen*. 1978, Bd. 98, no. 25, S. 1359–1360. (In Germ.)
- Gasik M.I., Lyakishev N.P. *Teoriya i tekhnologiya elektrometallurgii ferrosplavov* [Theory and technology of ferroalloys electrometallurgy]. Moscow: Internet Inzhiniring, 1999, 764 p. (In Russ.).
- Eremin N.I., Dergachev A.L. *Ekonomika mineral'nogo syr'ya* [Economy of mineral raw materials]. Moscow: MGU, 2007, 504 p. (In Russ.).
- Leont'ev L.I., Zhuchkov V.I., Smirnov L.A., Dashevskii, V.Ya. Global and Russian ferroalloy production. *Steel in Translation*. 2007, vol. 37, no. 3, pp. 283–287.
- Baisanov S.O. *Zakonomernosti fazovykh ravnovesii v metallurgicheskikh sistemakh i razrabotke na ikh osnove effektivnykh tekhnologii vyplavki ferrosplavov: dis. ... doktora tekhn. nauk* [Regularities of phase equilibria in metallurgical systems and development of effective technologies for the smelting of ferroalloys on their basis: Dr. Tech. Sci. Diss.]. Karaganda: KhMI, 2002, 295 p. (In Russ.).
- Tolyzbekov M.Zh., Baisanov S.O., Baisanov A.S., Esengaliev D.A., Mukhambetgaliev E.K., Samuratov E.K., Salina V.A. *Sposob polucheniya rafinirovannogo ferromargantsa* [Method for refined ferromanganese production]. Pat. RK no. 26606. Published 25.12.2012. (In Russ.).
- Gabdullin T.G., Takenov T.D., Baisanov S.O., Buketov E.A. *Fiziko-khimicheskie svoystva margantsevykh shlakov* [Physical-chemical properties of manganese slags.]. Alma-Ata: Nauka, 1984, 92 p. (In Russ.).
- Esengaliev D.A., Baisanov A.S., Sultangaziev R.B., Zhumagaliev E.U., Kelamanov B.S. Phase composition of slags of refined ferromanganese production. In: *Fundamental'nye i prikladnye nauki segodnya. Materialy II mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: 19-23 dekabrya 2013 g. Moskva* [Fundamental and applied sciences today. Materials of the 2nd Int.Sci. and Pract. Conf. December 19-23, 2013, Moscow]. Moscow, pp. 161–163. (In Russ.).
- Gasik M.I. Features of the crystalline structure of stabilized calcium orthosilicate as a mineral phase - fluxed manganese agglomerate. In: *Fiziko-khimicheskie issledovaniya malootkhodnykh protsessov v elektrotermii* [Physic-chemical studies of low-waste processes in electrothermy]. Moscow: Nauka, 1985, pp. 7–21. (In Russ.).
- Chepelenko Yu.V. Research of extraction process of manganese from waste slag. *Metallurgiya i koksokhimiya*. 1966, no. 3, pp. 96–106. (In Russ.).
- Khitrik S.I., Em A.P., Gasik M.I., Kravchenko V.A. Complex use of manganese slags. In: *Razvitie ferrosplavnoi promyshlennosti v SSSR* [Development of ferroalloy industry in the USSR]. Kiev: NTO ChM USSR, 1961, pp. 141–147. (In Russ.).
- Zaiko V.P., Verushkin V.V., Voronov Yu.I. Extraction of manganese from waste slags of ferrosilicomanganese production. *Elektrometallurgiya*. 2003, no. 12, pp. 27–32. (In Russ.).
- Vagin V.V., Zubanov V.T., Velichko B.F. etc. Products made from fiery-liquid slags of silicomanganese production as effective substitutes for metal, cement and refractory material. *Stal'*. 1993, no. 11, pp. 35–39. (In Russ.).
- Shul'ts Yu.A., Gasik M.I., Shramko M.S. etc. The use of waste slags for production of metallic manganese in steel smelting. *Stal'*. 1984, no. 9, pp. 37–39. (In Russ.).
- Velichko B.F., Gavrilov V.A., Gasik M.I. etc. *Metallurgiya margantsa Ukrainy* [Manganese metallurgy in Ukraine]. Gasik M.I. ed. Kiev: Tekhnika, 1996, 472 p. (In Russ.).

### Information about the authors:

**S.O. Baisanov**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director  
**A.S. Baisanov**, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory of Pyrometallurgical Processes  
**A.Z. Isagulov**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Vice President  
**D.A. Esengaliev**, Cand. Sci. (Eng.), Doctoral (dauralga@mail.ru)  
**N.I. Ospanov**, Cand. Sci. (Eng.), Doctoral

Received February 5, 2018