

Экспериментальная выплавка высококремнистого ферромарганца с использованием железомарганцевой руды и марганцовистого шлака

¹**БАЙСАНОВ Алибек Сайлаубаевич**, к.т.н., ассоциированный профессор, зав. лабораторией, alibekbaisanov@mail.ru,

¹**МАХАМБЕТОВ Ерболат Нысаналыулы**, магистр металлургии, научный сотрудник, m.ye.n@mail.ru,

¹**МАЙШИНА Жанат Галаминкызы**, докторант, магистр металлургии, zan.ka@mail.ru,

¹***ТИМИРБАЕВА Нина Руслановна**, магистр металлургии, младший научный сотрудник, nina.timirbaeva23@gmail.com,

¹**МУСИН Азат Мергенович**, магистр металлургии, научный сотрудник, m.m.9@mail.ru,

¹Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, лаборатория «Пирометаллургические процессы», Казахстан, 100009, Караганда, ул. Ермакова, 63,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель исследования – определение технологических параметров выплавки высококремнистого ферромарганца. Методы исследования – экспериментальная выплавка образцов, химический анализ, фракционный анализ. Представлены результаты экспериментальной выплавки ферромарганца. Ферромарганец выплавляли из высококремнистых железо-марганцевых руд с содержанием марганца 36% флюсовым методом. В качестве восстановителей использовались уголь Шубаркольского месторождения и металлургический кокс. В качестве флюса использовался твердый шлак плавки среднеуглеродистого ферромарганца. Установлены технологические режимы процесса плавки. Определен оптимальный состав шихты. В результате теоретических и экспериментальных исследований поставленные задачи были полностью решены. Была разработана и апробирована технология выплавки высококремнистого ферромарганца с использованием некондиционного сырья, такого как железомарганцевые руды и марганцовистый шлак.

Ключевые слова: ферросплавы, ферромарганец, высококремнистый ферромарганец, рудно-термическая плавка, некондиционное сырье, химический состав.

Введение

На сегодняшний день интересно и актуально получение высококремнистого ферромарганца с использованием нетрадиционных для данного процесса железомарганцевых руды и марганцовистого шлака. Это связано с истощением запасов и дороговизной марганецсодержащего сырья [1].

Известно, что для получения углеродистого ферромарганца ФМн75 и ФМн78 требуются высококачественные концентраты с содержанием марганца не менее 43 и 50% соответственно. При этом соотношение Mn/Fe должно быть не менее 8 [2-3].

Стандартный углеродистый ферромарганец, согласно ГОСТ 4755-91 должен содержать кремния не более 2%. Поэтому отношение SiO₂/Mn в марганцево-рудном сырье должно быть равным 0,3 и 0,2 для выплавки углеродистого ферромарганца соответственно марок ФМн75 и ФМн78. Марганцевые руды, у которых соотношение SiO₂/

Mn превышает 0,4, не применимы [4-5].

Изучение процесса получения ферромарганца с содержанием кремния 6-8% особо актуально на сегодняшний день, так как подобный сплав может быть использован для раскисления спокойной стали, где наличие кремния облегчает процесс ее раскисления. Производство ферромарганца из железомарганцевых руд с отношением кремнезема к марганцу больше 0,4 является целесообразным ввиду его экономичности за счет использования дешевого некондиционного сырья.

Методы исследования

Традиционно ферромарганец выплавляют из марганцевой руды, с использованием малофосфористого марганцевого шлака и силикомарганца в с известью, связывающей кремнезем в силикаты кальция [6]. В настоящей работе испытания по выплавке ферромарганца были про-

ведены с использованием высококремнеземистых железомарганцевых руд месторождений Богач и Есымжал.

Химический состав руд месторождений Богач и Есымжал представлен в таблице 1, где первые 4 образца принадлежат месторождению Богач, с 5-8 – месторождению Есымжал.

В качестве восстановителя применялся металлургический коксик и длиннопламенный газовый уголь месторождения Шубарколь следующего технического состава, %: Твердый углерод – 40-46, Зольность не более 5, Летучие – 40-45. Химический состав золы угля, %: SiO_2 – 60-64, Al_2O_3 – 30-35%. Удельная теплота сгорания углей 7500-8000 тысяч ккал/кг. Удельный расход угля на 1 тонну ферросплава составил 2 тонны.

Технический состав металлургического коксика, %: углерода 84,92, золы 12,18 и летучих 2,0.

Флюсующим материалом служил передельный шлак от выплавки среднеуглеродистого ферромарганца с содержанием 22-24% MnO и основностью 1,3-1,5. Для подшихтовки другое сырье не использовалось.

Ферромарганец выплавляли в руднотермической печи с мощностью трансформатора 0,3 МВА

(300 кВА). Испытания проводили на экспериментальном участке Химико-металлургического института им. Ж. Абишева.

В подготовку рудно-термической печи входили футеровка внутренней поверхности, коксование блока летки, подготовка устройства для крепления электродов, а также самих электродов. Для футерования печи использовали огнеупорные кирпичи, такие как магнезитовые и шамотные.

Температура в реакционной зоне печи лежит в диапазоне 2300-4600°C. Достижение такого диапазона температур обеспечивается за счет разряда дуги графитового электрода.

Предварительно в течение 7-8 часов производили разогрев печи, где коксовая подушка служит проводником электрического тока.

Процесс плавки был периодический со средней продолжительностью 1-1,5 ч., т.е. шихту загружают после выпуска и набора токовой нагрузки. Выпуск металла и шлака из летки печи производили в чугунные изложницы (см. рисунок). После охлаждения шлак и металл разделяли.

Выпуск сплава осуществлялся в чугунные изложницы, средний вес куска сплава 11-15 кг, сплав

Таблица 1 – Химический состав высококремнеземистых железомарганцевых руд месторождений Богач и Есымжал

№ п/п	Наименование образца	Содержание, %				
		$\text{Mn}_{\text{общ}}$	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	SiO_2	Mn/Fe	SiO_2/Mn
1	Образец 1	30,11	8,35	18,72	3,61	0,62
2	Образец 2	33,8	4,97	23,0	6,80	0,68
3	Образец 3	26,53	6,87	17,52	3,86	0,66
4	Образец 4	35,51	5,98	14,13	5,94	0,40



Выпуск ферромарганца из печи 300 кВА

не рассыпается. Для усреднения сплава было произведено измельчение на щековой дробилке, где образование мелочи (фракции менее 10 мм) составляет не более 10% от общей массы.

Выплавленный металл после остывания подвергался экспресс-анализу на портативном рентгено-флуоресцентном анализаторе Niton для контроля хода плавки и состава шихты.

Результаты исследований

Результат проведения химического анализа опытных образцов шлака и металла представлен в таблице 2 и в таблице 3 соответственно.

По результатам экспериментальных работ по выплавке высококремнистого ферромарганца установили следующее:

- кратность шлака составляет 2,1-2,3;
- степень извлечения марганца 79-81%;

- степень извлечения кремния 18-22%;
- показана возможность достижения минимальных содержаний 3,3-3,4% MnO в отвальных шлаках.

В процессе выплавки высококремнистого ферромарганца с использованием железомарганцевой руды и марганцовистого шлака работа печи характеризовалась стабильной токовой нагрузкой. Посадка электрода была достаточно глубокой и устойчивой, верхняя часть не спекалась. Активно выходили металл и шлак, что подтвердило горячий ход процесса в целом.

Таким образом, в результате опытной плавки была разработана опытная партия ферромарганцевого сплава с повышенным содержанием кремния. Сплав, полученный экспериментальной плавкой в рудно-термической печи, имеет следующий химический состав: %: Mn – 73-76, Si – 5,7-

Таблица 2 – Химический состав образцов, полученных в результате экспериментальной выплавки высококремнистого ферромарганца

№ образца	Содержание в %				
	Mn	Fe	Si	S	P
1	75,1	11,71	5,91	0,0039	0,131
2	76,0	11,77	4,57	0,0032	0,100
3	75,0	10,37	4,88	0,0039	0,096
4	74,8	11,04	5,60	0,0032	0,092
5	75,1	10,76	5,98	0,0039	0,081
6	74,3	10,71	9,09	0,0039	0,073
7	72,8	12,32	7,34	0,0038	0,092
8	74,1	10,48	9,02	0,0032	0,081
9	74,3	10,04	8,98	0,0038	0,092
10	75,0	10,48	5,71	0,0026	0,112

Таблица 3 – Химический состав конечного шлака, полученного в результате экспериментальной выплавки высококремнистого ферромарганца

№ пробы	Содержание в %							
	MnO	Fe _{общ}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	C
1	7,9	0,38	36,47	7,32	42,26	0,15	0,095	0,078
2	16,3	н/о	35,36	5,19	43,82	н/о	0,115	0,230
3	3,7	0,27	27,90	4,45	57,91	н/о	0,217	5,317
4	7,0	1,26	21,55	4,17	54,78	0,08	0,231	4,283
5	3,4	0,44	27,21	6,35	54,78	0,01	0,134	3,150
6	3,8	0,27	29,00	6,01	52,43	0,06	0,117	3,308
7	3,3	0,055	29,97	7,31	56,34	0,01	0,141	1,776
8	3,7	0,27	27,90	4,45	57,91	н/о	0,217	5,317
9	7,0	1,26	21,55	4,17	54,78	0,08	0,231	4,283
10	5,4	0,49	25,14	5,95	54,65	н/о	0,186	4,311

9,09, Р – 0,07-0,131; S – 0,0026-0,0039; C – 3,5-4.

Также показана возможность достижения минимального содержания 3,3-3,4% MnO в отвальном шлаке.

Выводы

Таким образом, в результате экспериментальной плавки была получена опытная партия ферромарганцевого сплава с повышенным содержанием кремния. Опытный сплав был получен с использованием в качестве шихты некачественных материалов. Использовались такие материалы, как железо-марганцевые руды Богачского и Есымжальского месторождений. В качестве флюсовых материалов использовался шлак от плавки среднеуглеродистого ферромарганца. В качестве восстановителей использовались металлургический кокс и длиннопламенный газовый уголь месторождения Шубарколь.

Проведенные испытания показали, что для выплавки высококремнистого ферромарганца, соответствующего марке ФМн75 по марганцу, возможно применение марганцевых руд с отношением Mn/Fe менее 8 и отношением SiO₂/Mn более 0,4, что значительно снижает требования к качеству исходного марганцевого сырья.

Исследования в укрупненно-лабораторных условиях на рудно-термической печи мощностью 300 кВт показали возможность выплавки углеродистого ферромарганца, стандартного по основному элементу, из высококремнеземистых железомарганцевых руд с содержанием менее 36% марганца флюсовым способом. При этом в качестве флюсующей и низкожелезистой марганцевой добавки возможно применение передельного

шлака от выплавки среднеуглеродистого ферромарганца с содержанием 22-24% MnO и основностью 1,3-1,5.

Вовлечение в металлургический передел при выплавке ферромарганца некондиционного сырья 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 ферромарганца по изучаемой технологии будет значительно ниже, чем по традиционной.

Данные, которые были получены в результате опытно-промышленных испытаний, позволяют сделать предположение о технико-экономической целесообразности производства ферромарганца с высоким содержанием кремния из высококремнеземистых железомарганцевых руд и марганцовистых шлаков.

Для установления экономической и технологической эффективности данного сплава необходимо проведение дальнейших исследований и внедрение его в условия реального производства в качестве добавки в сталь (раскислитель и модификатор). Однако данные результаты в будущем способствуют созданию и разработке эффективной ресурсосберегающей технологии по выплавке марганцевого сплава для раскисления модифицирования различных видов стали.

Работа выполнена в условиях экспериментального участка на территории ХМИ им. Ж. Абишева: Республика Казахстан, 100009, г. Караганда, ул. Ермакова, 63. Телефон/факс: 8 (7212) 43-31-61. E-mail: hmi2009@mail.ru

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gabdullin S., Baisanov S., Kim S., Mukhtar A. Melting of ferrosilicon manganese with the use of high ash rock coal as a reducing agent // *Metalurgija*. – 2020. – № 60 (1-2). – P. 82-84.
2. Тигунов Л.П. Марганец. – Екатеринбург: Издательство АМБ, 2006. – 183 с.
3. Жучков В.И. Технология марганцевых ферросплавов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 2007.
4. Randhawa N.S., Minj R.K. An Improved Process for the Production of Low-Carbon Ferromanganese in the Electric Arc Furnace // *Transactions of the Indian Institute of Metals*. – 2020. – № 73, Volume 8. – P. 2105-2111.
5. Zhukov, D.Y., Averina, Y.M. Development of a pyrometallurgical technology for processing synthetic pyrolusite and chemisorption manganese oxide concentrate into metallic manganese and low-carbon ferroalloys // *CIS Iron and Steel Review*. – 2019. – № 17. – P. 25-29.
6. A. Issagulov, N. Ospanov, A. Baisanov, D. Issagulova. Studying possibility of smelting refined ferromanganese grades using silicon aluminum reducer. *Journal for theory and Practice in Metallurgy* // *Metalurgija*. – 2016. № 55, P. 709-711.

Темір марганец кені мен марганецтік қожды пайдалана отырып, жоғары кремнийлі ферромарганецті эксперименттік балқыту

¹**БАЙСАНОВ Алибек Сайлаубаевич**, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, зертхана меңгерушісі, alibekbaisanov@mail.ru,

¹**МАХАМБЕТОВ Ерболат Нысаналыұлы**, металлургия магистрі, ғылыми қызметкер, m.ye.n@mail.ru,

¹**МАЙШИНА Жанат Галаминқызы**, докторант, металлургия магистрі, zan.ka@mail.ru,

¹***ТИМИРБАЕВА Нина Руслановна**, металлургия магистрі, кіші ғылыми қызметкер, nina.timirbaeva23@gmail.com,

¹**МУСИН Азат Мергенович**, металлургия магистрі, ғылыми қызметкер, tat.9@mail.ru,

¹Ж. Әбішев атындағы химия-металлургия институты, «Пирометаллургиялық процестер» зертханасы, Қазақстан, 100009, Қарағанды, Еркеков көш., 63,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Зерттеудің мақсаты – жоғары кремнийлі ферромарганецті балқытудың технологиялық параметрлерін анықтау. Зерттеу әдістері – сынамаларды тәжірибелік балқыту, химиялық талдау, фракциялық талдау. Ферромарганецті эксперименттік балқыту нәтижелері ұсынылған. Ферромарганец марганец мөлшері 36% жоғары кремнийлі темір-марганец кендерінен қождама әдісімен балқытылды. Тотықсыздандырғыштар ретінде Шұбаркөл кенорнының көмірі мен металлургиялық кокс пайдаланылды. Қождама ретінде орташа көміртекті ферромарганец балқымасының қатты қожы пайдаланылды. Балқыту процесінің технологиялық режимдері орнатылды. Шихтаның оңтайлы құрамы анықталды. Теориялық және эксперименттік зерттеулер нәтижесінде қойылған міндеттер толығымен шешілді. Темір марганец кендері мен марганецтік қож сыяқты кондициялық емес шикізатты қолдана отырып, жоғары кремнийлі ферромарганецті балқыту технологиясы жасалды және сыналды.

Кілт сөздер: ферроқорытпалар, ферромарганец, жоғары кремнийлі ферромарганец, кенді-термиялық балқыту, кондициялық емес шикізат, химиялық құрам.

Experimental Smelting of High-silicon Ferromanganese Using Ferromanganese Ore and Manganese Slag

¹**BAISANOV Alibek**, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, Head Laboratory, alibekbaisanov@mail.ru,

¹**MAKHAMBETOV Erbolat**, Master of Metallurgy, Researcher, m.ye.n@mail.ru,

¹**MAISHINA Zhanat**, doctoral student, Master of Metallurgy, zan.ka@mail.ru,

¹***TIMIRBAEVA Nina**, Master of Metallurgy, Junior Researcher, nina.timirbaeva23@gmail.com,

¹**MUSIN Azat**, Master of Metallurgy, Researcher, mam.9@mail.ru,

¹Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Laboratory «Pyrometallurgical processes», Kazakhstan, 100009, Karaganda, Ermekov str., 63,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of the study is to determine the technological parameters of smelting high-silicon ferromanganese. Research methods – experimental smelting of samples, chemical analysis, fractional analysis. The results of experimental smelting of ferromanganese are presented. Ferromanganese was smelted using high-silica iron-manganese ores with the manganese content of 36% by the flux method. The Shubarkol deposit coal and metallurgical coke were used as reducing agents. Solid slag of smelting medium-carbon ferromanganese was used as a flux. The technological modes of the melting process were established. The optimal composition of the charge was determined. As a result of theoretical and experimental studies, the tasks were completely solved. The technology of smelting high-silicon ferromanganese using substandard raw materials such as ferromanganese ores and manganese slag was developed and tested.

Keywords: ferroalloys, ferromanganese, high-silicon ferromanganese, ore-thermal smelting, substandard raw materials, chemical composition.

REFERENCES

1. Gabdullin S., Baisanov S., Kim S., Mukhtar A. Melting of ferrosilicon manganese with the use of high ash rock coal as a reducing agent // *Metallurgija*. – 2020. – № 60 (1-2). – P. 82-84.
2. Tiginov L.P. *Marganets*. – Ekaterinburg: Izdatelstvo AMB, 2006. – 183 s.
3. Zhuchkov V.I. *Tekhnologiya margantsevykh ferrosplavov*. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2007. – 2007.
4. Randhawa N.S., Minj R.K. An Improved Process for the Production of Low-Carbon Ferromanganese in the Electric Arc Furnace // *Transactions of the Indian Institute of Metals*. – 2020. – № 73, Volume 8. – P. 2105-2111.
5. Zhukov, D.Y., Averina, Y.M. Development of a pyrometallurgical technology for processing synthetic pyrolusite and chemisorption manganese oxide concentrate into metallic manganese and low-carbon ferroalloys // *CIS Iron and Steel Review*. – 2019. – № 17. – P. 25-29.
6. A. Issagulov, N. Ospanov, A. Baisanov, D. Issagulova. Studying possibility of smelting refined ferromanganese grades using silicon aluminum reducer. *Journal for theory and Practice in Metallurgy // Metallurgija*. – 2016. № 55, P. 709-711.