

## **АННОТАЦИЯ**

диссертационной работы

### **«РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОМАРГАНЦА ИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО СЫРЬЯ»,**

представленной на соискание степени доктора философии (PhD)  
по образовательной программе 8D07202 – «Металлургия черных и цветных  
металлов»

### **ЭБДИРАШИТ АСЫЛБЕК МИРАМХАНҰЛЫ**

**Актуальность и новизна диссертационной работы.** Основным направлением развития черной металлургии является повышение качества металлопродукции, в том числе для производства легированной стали, где невозможно обойтись без использования среднеуглеродистого ферромарганца.

На сегодняшний день в стране нет функционирующего производства по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца. По этой причине отечественные литейные цеха вынуждены закупать ферромарганец из Китая, Украины и Российской Федерации. Несмотря на нехватку марганцевых ферросплавов, ежегодно экспортируется около 0,2 млн тонн марганцевых концентратов в Китай и Российскую Федерацию. Например, Джездинское месторождение марганца, относящееся к Жайремскому ГОКу и холдингу «Казмарганец», экспортирует марганцевые концентраты на Челябинский электрометаллургический комбинат. Для стран, которые импортируют отечественные марганцевые концентраты, это выгодно, так как налоговые и транспортные расходы низкие.

Однако ухудшение качества отечественных марганцевых руд, а также удорожание исходных шихтовых материалов и электроэнергии, совершенствование технологии получения среднеуглеродистых ферромарганцевых сплавов является актуальной проблемой и поэтому требует теоретических, лабораторных и производственных исследований.

**Объекты исследования.** Марганцевая руда, перелыйный силикомарганец, товарный ферросиликомарганец и среднеуглеродистый ферромарганец.

**Предметом исследования** является технология выплавки среднеуглеродистого ферромарганца с использованием марганцевой руды и различных восстановителей.

**Цель работы** - разработка ресурсосберегающей технологии выплавки среднеуглеродистого ферромарганца из отечественных марганцевых руд.

**Задачи исследования.** В соответствии с поставленной целью определены следующие научные задачи, которые необходимо решить в настоящей работе:

- проведение физико-химических исследований для оценки качественных и количественных характеристик исследуемой марганцевой руды и определение ее металлургической пригодности;

- определение оптимального состава шихтовых материалов с помощью термодинамического и математического моделирования для выплавки среднеуглеродистого ферромарганца;

- проведение лабораторных экспериментов по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца;

- проведение крупно-лабораторных экспериментов процесса выплавки среднеуглеродистого ферромарганца в электродуговой печи с мощностью трансформатора 100 кВ·А для разработки технологического регламента.

- проведение производственных испытаний процесса выплавки среднеуглеродистого ферромарганца с использованием низкофосфористого передельного силикомарганца в электродуговой печи с мощностью трансформатора 0,25 МВ·А.

**Научная новизна работы.** Впервые в работе:

- проведено полное термодинамическое моделирование системы Mn-Fe-Si-Al-Ca-C-O для подбора оптимального состава шихтовой смеси с использованием нестандартных кремнеалюминиевых восстановителей, необходимых для выплавки среднеуглеродистого ферромарганца. Оптимальный состав шихтовой смеси, %: марганцевую руду - 33; передельный силикомарганец - 36; алюминиевый лом - 2 и известь - 30.

- с использованием метода шестифакторного планирования эксперимента построена математическая модель для определения извлечения марганца, учитывающая содержание марганца и кремния в восстановителе, долю рудной мелочи (крупностью до 5,0 мм), основность шлака, содержание марганца в руде и долю алюминиевого лома в шихтовой смеси:

$$\dot{y} = -17,777 + 0,420x_1 + 0,396x_2 - 0,164x_3 + 19,843x_4 + 0,157x_5 + 2,758x_6;$$

- построена математическая модель для определения содержания марганца в среднеуглеродистом ферромарганце в зависимости от содержания марганца и железа в руде, а также извлечения марганца:

$$\dot{y} = 52,307 + 0,053x_1 - 0,786x_2 + 0,530x_3;$$

- разработана и отработана технология выплавки среднеуглеродистого ферромарганца с использованием кремнеалюминиевых восстановителей – передельного силикомарганца и алюминиевого лома – в электродуговой печи мощностью 100 кВ·А. Получена опытная партия среднеуглеродистого ферромарганца со следующим химическим составом, %: Mn - 85-88; Si - 0,33-0,7; C - 1,6-1,8; S - 0,01-0,03; P - 0,03-0,05; Fe - ост. Достигнуто высокое извлечение марганца 65-69% за счет применения алюминиевого лома и основности шлака 1,7-1,9;

- проведены технологические испытания в производственных условиях по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца с использованием передельного силикомарганца в электродуговой печи мощностью 0,25 МВА. В результате получен средний химический состав среднеуглеродистого

ферромарганца, %: Mn - 86-88; Si - 0,04-0,35%; C - 1,86-2,0%; S - 0,01-0,03%; P - 0,03-0,05%; Fe - ост.

### **Практическая ценность работы.**

Разработана технология выплавки среднеуглеродистого ферромарганца с применением Джездинской марганцевой руды, в качестве восстановителя низкофосфористого передельного силикомарганца и алюминиевого лома в крупно-лабораторных условиях. На основании полученных результатов работы была решена проблема силикатного рассыпания конечных шлаков ферромарганца и это позволило увеличить извлечение марганца до 69%.

Были проведены эксперименты по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца в электропечи с мощностью трансформатора 100 кВ·А. В результате получена экспериментальная партия среднеуглеродистого ферромарганца.

Часть опытной партии среднеуглеродистого ферромарганца были направлены на испытания ТОО «Темиртауский литейный завод» с целью легирования стали марки 110Г13Л.

Разработан технологический регламент по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца в электропечи с мощностью трансформатора 100 кВ·А.

**Методы исследования.** В диссертационной работе использованы методы исследования, определяющие сложные металлургические процессы: химический, спектральный, гранулометрический, рентгенофазовый и дифференциально-термический анализ материалов, полное термодинамическое моделирование с помощью комплексной программы «HSC Chemistry 10.0», диаграммный анализ процесса выплавки с помощью программы FactSage, математическое планирование, экспериментальное моделирование технологии выплавки среднеуглеродистого ферромарганца в лабораторной высокотемпературной печи Таммана и в электродуговой печи.

### **Основные результаты работы, выносимые на защиту:**

- результаты гранулометрического, рентгенофазового и спектрального анализов Джездинской марганцевой руды;
- результаты полного термодинамического моделирования процесса выплавки среднеуглеродистого ферромарганца;
- уравнения для определения извлечение марганца и состава марганца в металле с помощью многофакторного математического моделирования;
- результаты лабораторных испытаний процесса выплавки среднеуглеродистого ферромарганца;
- результаты крупно-лабораторных испытаний по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца;
- результаты промышленных испытаний по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца.

**Место выполнения научно-исследовательской работы.** Работа выполнена на кафедре «Металлургия и материаловедение» НАО «Карагандинский индустриальный университет», а также на экспериментальной площадке Химико-металлургического института им.

Ж. Абишева, в лаборатории «Ферросплавы и процессы восстановления». Полное термодинамические исследования проводилось на кафедре «Металлургия и материаловедение» Istanbul technical University (г. Стамбул, Турция).

### **Описание основных результатов исследования.**

- рассмотрены возможности и состояние отечественных производств по использованию марганцевых руд и выплавке из них марганцевых ферросплавов. Представлена динамика производства и технология выплавки среднеуглеродистого ферромарганца традиционными способами. Определена потребность в ферромарганце для отечественных сталелитейных цехов;

- с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-7001F был определен химический и микроструктурный состав Джездинской марганцевой руды. В результате руда имеет следующий химический состав:  $Mn_{общ}$  – 48,23; Fe – 5,6;  $SiO_2$  – 12,48; CaO – 2,1; MgO – 1,47; P – 0,01; S – 0,01; ППП – 8. По результатам гранулометрического анализа содержание марганца в руде крупностью +5 мм составило  $Mn_{общ}$  – 49-53%, содержание железа  $Fe_{общ}$  – 0,47-2,06%, а при -5 мм крупности содержание марганца составило  $Mn_{общ}$  – 19-30% и  $Fe_{общ}$  – 20-30%. Согласно данным рентгенофазового анализа, марганцевая руда крупностью +5 мм содержит фазы пиролюзита ( $MnO_2$ ) и гидроксида марганца ( $MnO_2(H_2O)_{0,15}$ ). Установлено, что при крупности -5 мм в марганцевой руде имеются фазы ламонтита ( $CaAl_2Si_4O_{12}(H_2O)_2$ ), гиббсайта ( $Al(OH)_3$ ) и трех силикатного алюмината калия ( $KAlSi_3O_8$ ). В результате дифференциально-термического анализа установлена температура начала размягчения марганцевой руды крупностью +5,0 мм равная  $T=1105^\circ C$ , а температура конца размягчения  $T=1305^\circ C$ . Для руды крупностью -5,0 мм температуры начала и конца размягчения равны  $T=925^\circ C$  и  $T=1115^\circ C$ , соответственно;

- в результате полного термодинамического моделирования системы Mn-Si-Fe-Al-Ca-Mg-C-O было установлено 69 фаз. Из них 41 фаза оксиды, а также 28 фаз металла. Металлические фазы состоят из интерметаллидов, карбидов и чистых металлов. В результате были определены оптимальные шихтовые материалы для выплавки стандартных марок среднеуглеродистого ферромарганца: марганцевая руда – 110 кг, силикомарганец – 100 кг, известь – 90 кг, алюминий – 5,0 кг;

- с помощью многофакторного математического моделирования были созданы выражения зависимости, определяющие извлечение марганца в руде и количество марганца в металле. Первая математическая модель позволила определить извлечение марганца в руде по содержанию марганца и железа в марганцевой руде и восстановителе, по основности шлака, по доле лома алюминия в шихтовой массе и по доле «мелочи» (крупности -5,0 мм) в руде. Во второй математической модели предполагается содержание марганца в металле, полученном в зависимости от содержания марганца и железа в руде и извлечения марганца из руды. Полученные модели характеризуются высокими значениями коэффициентов корреляции ( $R = 0,965$  и  $0,891$ );

- Проведены лабораторные эксперименты по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца в высокотемпературной печи Таммана. По результатам лабораторных экспериментов определено оптимальное распределение металла и шлака в пределах 1,6-1,8 основности шлака. В крупно-лабораторных условиях проведены испытания по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца с применением низкофосфористого передельного силикомарганца и алюминиевого лома в электродуговой печи с мощностью трансформатора 100 кВ·А. Химический состав металла, полученного по результатам исследования, следующий, %: Mn – 85-88; Si – 0,33-0,7; C – 1,6-1,8; S – 0,01-0,03; P – 0,03-0,05; Fe – ост. Оптимальная основность шлака составляет 1,7-1,9. Полученные марганцевые шлаки состоят из двух силикатов кальция ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), геленита ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ) и манганозита ( $\text{MnO}$ ). Извлечение марганца из руды увеличилось до  $\geq 69\%$  и привело к тому, что шлак не рассыпался. В производственных условиях ТОО «НПО «Марганец» проведены испытания по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца в электродуговой наклонной печи мощностью трансформатора 0,25 МВ·А. В результате средний химический состав среднеуглеродистого ферромарганца выглядит следующим образом, %: Mn – 86-88; Si – 0,04-0,35; C – 1,86-2,0; S – 0,01-0,03; P – 0,03-0,05; Fe-ост.

**Личный вклад докторанта в написание диссертации.** Автор в полной мере выполнил поставленные в диссертационной работе цели и задачи. Провел практические испытания на современных лабораторных установках и комплексных программах, по результатам испытаний опубликованы статьи в журналах, входящих в базы Scopus и Web of Science. По результатам крупно-лабораторных и производственных испытаний получен технологический регламент и акт испытаний. На технологию выплавки среднеуглеродистого ферромарганца получен патент на полезную модель РК.

**Апробация работы.** В условиях Химико-металлургического института им. Ж.Абишева составлен акт крупно-лабораторных испытаний по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца в электродуговой печи с мощностью трансформатора 100 кВ·А и разработан технологический регламент.

Разработан технологический регламент по выплавке среднеуглеродистого ферромарганца в электродуговой печи с мощностью трансформатора 100 кВ·А.

Получен патент Республики Казахстан на полезную модель KZ 8180 от 16 июня 2023 года «Шихта для выплавки среднеуглеродистого ферромарганца».

Теоретические и практические результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс по дисциплинам «Теория и технология производства ферросплавов», «Рециклинговые технологии в производстве ферросплавов» для бакалавров и магистрантов образовательной программы «Металлургия» Актюбинского регионального университета им.К. Жубанова. Имеется акт внедрения в учебный процесс.

Результаты научных исследований и разработок внедрены в ТОО «НПО «Марганец». Имеется акт внедрения.

По теме диссертационной работы опубликованы 11 научных работ, в том числе: 2 (две) статьи в рецензируемых научных изданиях по научному направлению темы диссертации, индексируемых в Science Citation Index Expanded базы Web of Science (Clarivate Analytics) и по CiteScore в базе Scopus (Elsevier), 3 (три) статьи в отечественных изданиях в области металлургии, рекомендованном КОКСНВО МНВО РК, 6 (шесть) статей в сборнике международной и республиканской научно-практической конференции и 1 (одна) патент на полезную модель РК.

Сведения об основных публикациях базы Web of Science (Clarivate Analytics) в научных изданиях, индексируемых по Science Citation Index Expanded и CiteScore базы Scopus (Elsevier), рецензируемых по научному направлению темы диссертации.

1 Abdirashit A., Makhambetov Y., Yerzhanov Y.A., Sarkulova Z., Aitkenov N., Aitbayev N. / Large-scale laboratory tests for smelting medium-carbon ferromanganese using Jezda manganese ore and SiMn17 silicomanganese fines / Metalurgija. – 2023. Vol 61, Iss. 1. – P. 139-141.

2 Nurumgaliev A., Makhambetov Y., Kuatbay Y., Yerekeyeva G., Abdirashit A., Mynzhassar Y. / Study of softening temperatures of manganese ores in central Kazakhstan// Metalurgija. – 2023. Vol. 62, Iss. 2. – 268-270.

Диссертация тақырыбы бойынша ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚЕК ұсынған металлургия саласындағы отандық басылымдардағы жарияланымдар туралы мәліметтер:

Сведения о публикациях, в отечественных изданиях в области металлургии, рекомендованном КОКСНВО МНВО РК по теме диссертации:

1 Makhambetov Ye., Abdirashit A., Mynzhassar Ye., Baisanov A., Zhakan A./Thermodynamic and experimental simulation of the smelting process of medium carbon ferromanganese with the use of Zhezdinsky manganese ores // Қазақстан ҒЫЛЫМЫ мен техникасы. 2023. №3, P. 141-153. <https://doi.org/10.48081/HHSN1365>

2 Makhambetov Ye. N., Abdirashit A.M., Mynzhassar Ye. A., Burumbayev A.G., Zhakan A.M., Yucel O. / Research on the possibility of obtaining medium-carbon ferromanganese from the Djezdinskoe deposit. // Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources. 2024; Vol. 331. – Iss. 4. – P. 101-108. <https://doi.org/10.31643/2024/6445.43>

3 Махамбетов Е.Н., Әбдірашит А.М., Мыңжасар Е.А., Байсанов А.С., Юсел О. / Металлотермиялық тәсілмен орта көміртекті ферромарганецті балқыту процестерінің термиялық қасиеттерін зерттеу // Труды университета. 2024. Б.95. - №2., P. 54-59. [https://doi.org/10.52209/1609-1825\\_2024\\_2\\_54](https://doi.org/10.52209/1609-1825_2024_2_54)

Сведения о докладах по результатам диссертационной работы, изложенные и обсуждаемые на международных и республиканских научно-практических конференциях:

1 Әбдірашит А.М., Мыңжасар Е.А. / Әлемдік және отандық марганец кендерді тұтыну мен талдау// Университеттің 70 жылдығына арналған «Қазақстан-2050» Стратегиясын жүзеге асырудағы жастар ғылымының үлесі»

атты Республикалық студенттік ғылыми конференциясы ЕҢБЕКТЕРІ 2 – бөлім, (13-14 апрель ) Қарағанда қ. 2023, 283-284 б.

2 Әбдірашит А.М., Махамбетов Е.Н., Мыңжасар Е.А., Нурумғалиев А.Х., Юджел О. / HSC Chemistry 6.0 бағдарламалық кешенін қолдану арқылы орта көміртекті ферромарганецті балқыту термодинамикалық модельдеу// «Металлургия» кафедрасының 40-жылдығына орай өтетін «Металлургия саласының мәселелері мен перспективалары: теория және практика» атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары (31 мамыр) Павлодар қ., 2023, 48-51 б.

3 Әбдірашит А.М., Махамбетов Е.Н., Мыңжасар Е.А., Нурумғалиев А.Х./ Қазақстандағы болат өндірісінің жағдайы мен тұтынылуы// Қарағанды индустриалды университетінің 60 жылдығына арналған «Инновациялық технологиялар және инжиниринг» атты XII халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдар жинағы (19-20 қазан), Теміртау қ., 2023, 111-114 б.

4 Әбдірашит А.М., Махамбетов Е.Н., Мыңжасар Е.А., Нурумғалиев А.Х./ Қайта өңделетін силикомарганецті қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганецті балқыту үрдісін эксперименттік модельдеу // Қарағанды индустриалды университетінің 60 жылдығына арналған «Инновациялық технологиялар және инжиниринг» атты XII халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдар жинағы (19-20 қазан), Теміртау қ., 2023, 115-117 б.

5 Әбдірашит А.М., Нурумғалиев А.Х., Махамбетов Е.Н., Юсел О. / Әр түрлі тотықсыздандырғыштарды қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганец технологиясын әзірлеу// Қарағанды индустриялық университетінің «Жастар, ғылым және технологиялар: жетілдіру және ықпалдасу жолдары» LIV Республикалық ғылыми-практикалық конференцияның материалдар жинағы, Теміртау қ., 2024, 62-64 б.

6 Әбдірашит А.М., Нурумғалиев А.Х., Махамбетов Е.Н., Юсел О./ Орта көміртекті ферромарганец технологиясын зерттеу және әзірлеу// Қазақстан Республикасының Ұлттық Ғылым Академиясының (Қазақ ССР Ғылым Академиясы) негізін салушы, тұңғыш президенті Қ. Сатпаевтың 125 жылдығына арналған «өндірістегі және техникалық мамандарды дайындаудағы инновациялар» халықаралық ғылыми-практикалық онлайн-конференция материалдары (23 сәуір), Ақтөбе қ., 2024, 28-29 б.

Сведения об охранных документах на объекты интеллектуальной собственности:

1. Патент на полезную модель РК «Шихта для выплавки среднеуглеродистого ферромарганца» № 8180, 16.06.2023 г.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, основной части, состоящей из 4 разделов, заключения и приложений. Объем диссертации составляет 118 страниц машинописного текста. Работа содержит 37 рисунков, 23 таблицы, список использованных источников, включающий 82 наименования.