

В диссертационный совет Д212.298.01  
при Федеральном государственном  
автономном образовательном учреждении  
высшего образования «Южно-Уральский  
государственный университет  
(национальный исследовательский  
университет)» (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ  
(НИУ)»)  
454080, г. Челябинск, пр-т. Ленина, 76

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Мухамбетгалиева Ербола Кенжегалиулы «Теоретические и технологические основы получения алюмосиликомарганца из высококремнистой марганцевой руды и высокозольных углей», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия чёрных, цветных и редких металлов»

### **1. Актуальность избранной темы**

Минеральная база марганца в Республике Казахстан достаточно развита, а ее развитие также соответствует общемировым тенденциям: сокращение богатых марганцем низкофосфористых руд и увеличение доли труднообогатимого сырья с повышенным содержанием фосфора в структуре запасов, учтенных в государственном балансе.

Сталеплавильная отрасль в мире и Республике Казахстан также имеет свои закономерности развития: повышение требований к качеству выплавляемой стали, а соответственно, и к качеству исходных шихтовых материалов. При этом марганцевыми ферросплавами вносится более 50% фосфора от общего его содержания в стали.

Поступление фосфора в ферросплавы также зависит от качества марганцеворудного сырья и вспомогательных материалов. Поскольку значительная доля минеральных разностей марганца ассоциирована с примесями фосфора, его удаление представляет серьезную научно-техническую проблему и связано с дополнительными затратами предприятия, а соответственно, с ростом себестоимости конечной продукции.

При существенном многообразии типов марганцевых руд: оксидных, карбонатных, карбонатно-силикатных, железистых и некоторых других, а также минералов марганца, которых насчитывается более 300, технология переработки отдельных видов сырья требует серьезного научно-технического обоснования.

Работа, представленная соискателем, соответствует одному из фундаментальных научных направлений Химико-металлургического института им. Ж. Абишева (г. Караганда) - изучению физико-химических основ и разработке технологии переработки марганцевых руд Казахстана.

Ранее в ХМИ им. Ж. Абишева была разработана технология переработки железомарганцевых руд методом совместного термоокислительного обжига в смеси с шубаркольским углем, содержащим значительное количество летучих; в результате получается одновременно 3 кондиционных продукта: марганцевый концентрат с пониженным содержанием железа и фосфора, железный концентрат и спецкокс.

Для Российской Федерации также актуальна проблема переработки труднообогатимых карбонатных, карбонатно-силикатных и железисто-силикатных бедных марганцевых руд с получением низкофосфористых марганцевых сплавов, в связи с чем актуальность представленной работы не вызывает сомнений.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Диссертантом выполнен комплекс расчетных и экспериментальных исследований, направленных на разработку технологии производства алюмосиликомарганца (АМС) из высококремнистой марганцевой руды и высокозольных углей.

Автором проведен анализ технологии производства и применения комплексного сплава АМС в ретроспективе отечественных и зарубежных исследований. По литературным данным, наблюдалась тенденция ухода от

технологии производства сплавов методом сплавления чистых компонентов и перехода в варианту выплавки комплексного сплава АМС углевосстановительным способом из бедного сырья с низким содержанием примесных элементов, и в первую очередь, фосфора, что является актуальным для сталеплавильной отрасли. В обзоре показано, что исследователями было установлено существование тесной взаимосвязи активности остаточного кислорода в металле с активностью марганца, кремния и алюминия. При применении сплава АМС для раскисления стали целый ряд исследователей отметили преимущество применения комплексного раскислителя по сравнению с вариантом использования по отдельности марганцевых и кремнистых ферросплавов и алюминия, и в частности, наблюдаемое наличие мелких разрозненных включений, что по их мнению приводит к уменьшению доли брака, связанного с наличием грубых скоплений неметаллических включений.

Диссертантом проведен анализ способов производства сплава АМС с точки зрения снижения затрат на материалы и повышения качества сплава. В результате проработаны технические решения в части применения бедных силикатных марганцевых руд и высокозольных энергетических углей, имеющих в наличии в Республике Казахстан. Работа на шихте из марганцевой руды месторождения «Западный Камыс» с применением высокозольных углей месторождений «Сарыадыр» (Акмолинская обл., Республика Казахстан) и «Борлы» (Карагандинская обл., Республика Казахстан) позволяет отказаться дорогостоящих богатых марганцевых руд и специальных видов кокса, а соответственно, существенно снизить себестоимость ферросплава.

Следует отметить высокий научный уровень работы в части расчета термодинамических параметров соединений в системе Fe-Si-Al-Mn на основе полуэмпирических методов. Диссертанту удалось применить современные методы статистических расчетов применительно к определению таких термодинамических характеристик неорганических соединений как

энтальпия образования и стандартная энтропия. Без проведения дорогостоящих экспериментальных исследований удалось статистическими методами вывести температурные зависимости теплоемкости для твердого и жидкого состояний, необходимые для построения диаграммы фазового состояния системы Fe-Si-Al-Mn. Полное перечисление примененных инновационных решений в термодинамических расчетах излишне. Остановимся на нескольких примерах.

Для оценки теплот образования соединений  $Fe_2Si$  и  $Mn_{11}Si_{19}$  было приведено правило "термохимической логарифмики", предложенное А.Ф. Капустинским:

$$\frac{\Delta H_f^0}{W} = a \cdot \lg Z + b,$$

где  $W$  - валентность элемента в соединении;

$Z$  - порядковый номер элемента в периодической системе Д.И. Менделеева;

$a$  и  $b$  - эмпирические постоянные однотипных соединений.

Коэффициенты  $a$  и  $b$  определены методом наименьших квадратов по формулам:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2},$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2},$$

где  $x_i$  - молекулярная масса однотипных соединений, г/моль;  
 $y_i$  - энтальпия образования однотипных соединений, Дж/моль;  
 $n$  - число однотипных соединений.

Таким образом, значение энтальпии образования соединений  $Fe_2Si$  и  $Mn_{11}Si_{19}$ , оценивается диссертантом современным методом на основе

серьезного математического аппарата, в котором фактически искомая энтальпия оценивается на основе известных энтальпий образования одноклассных соединений.

Следует отметить, что определение энтальпии соединений  $Fe_2Si$  и  $Mn_{11}Si_{19}$  представляет серьезный научный интерес. Рассмотрим это на примере соединения  $Fe_2Si$  ( $\beta$ ): в системе Fe-Si возможно существование данного соединения в интервале температур 1040-1212°C. Известно, что изменение энтальпии и энтропии системы определяется исключительно теплоемкостью. При этом наличие фазовых превращений находит свое отражение в графике зависимости теплоемкости от температуры, а учесть данное отклонение методом наименьших квадратов, пользуясь данными только энтальпии, достаточно сложно. В связи с чем работа имеет все перспективы для ее теоретического осмысления и развития физико-химических основ.

Диссертант освоил современный и перспективный метод термодинамически-диаграммного анализа, позволяющего оценить фазовый состав продуктов плавки (металла и шлака).

Диссертант экспериментально изучил физико-химические и металлургические характеристики шихтовых материалов: в частности, проведен дифференциально-термический анализ (ДТА) образцов шихт для выплавки силикомарганца, а также их удельное электрическое сопротивление (УЭС). Особую ценность представляет проведенное Мухамбетгалиевым Е.К. сопоставление данных ДТА в неизотермических и изотермических условиях при различных температурах для высокозольного угля и марганцевой руды, в результате чего продемонстрирована возможность практически 100% убыли массы для обоих материалов (марганцевой руды и угля) при температуре 1000°C и выдержке более 30 минут (рис. 4.12-4.14, с. 107-108 диссертации).

Проведенные эксперименты по определению температурной зависимости удельного электрического сопротивления шихт для

производства силикомарганца и алюмосиликомарганца по методике, разработанной в Институте металлургии Уральского отделения РАН, позволили получить новые экспериментальные данные, позволяющие качественно сравнить варианты технологии с точки зрения изменения электрофизических свойств шихтовых материалов.

В рудовосстановительной печи с мощностью трансформатора 0,2 МВ·А проведены испытания предлагаемых составов шихты для производства алюмосиликомарганца. В результате продемонстрирована принципиальная возможность производства низкоуглеродистого (0,1-0,5 %С) комплексного ферросплава переменного состава, содержащего, %: 12-32 Mn, 32-53 Si, 14-25 Al и отличающегося низким содержанием фосфора (на уровне 0,02-0,05 %).

В разделе испытания технологии производства ферросиликоалюминия особо следует остановиться на высоком научном уровне ведения плавки, в результате чего удалось достичь высоких значений степени извлечения компонентов в сплав одновременно (табл. 5.19, с. 144 дисс.).

Si	Al	Mn
75,2-87,5	69,1-81,9	74,5-88,5

С учетом сложностей ведения плавки в рудовосстановительной электропечи с точки зрения шихтового и электрического режима, достижение данных показателей, подтвержденных актами испытаний, заслуживает внимания.

Помимо достигнутых высоких показателей степени извлечения одновременно трех компонентов в составе сплава АМС, диссертантом была успешно апробирована технология раскисления стали марки Зсп при остывании в тигле в печи Таммана. В результате успешно получена крупнозернистая дендритная структура литой стали и показано, что неметаллические включения в литой стали имеют форму "прямоугольных кристаллов правильной кубической формы" (с. 155).

### **3. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность и достоверность полученных результатов базируется на проведении исследований на современных сертифицированных приборах и установках по гостированным методикам и подтверждении теоретических и лабораторных данных результатами крупнолабораторных испытаний.

### **4. Замечания по работе**

1. Скорость всплытия неметаллических включений подчиняется закону Стокса. При этом мелкие НВ всплывают медленнее, чем крупные. Насколько технологично образование мелких НВ в промышленных условиях и как это соотносится с результатами ваших экспериментов? При этом насколько соотносится полученная в результате экспериментов структура литой стали промышленным условиям? 2. Почему изучались температуры размягчения и УЭС именно шихт? По какой методике это было сделано? Почему не применялась ГОСТовская методика по размягчению? С результатами каких исследователей проводили сравнение? Составы шихт для УЭС не приведены. Каково соотношение электропроводной и неэлектропроводной составляющих в шихте. 3. Из текста диссертации неясно, каковы технологические рекомендации для ведения плавки и шихтовки, а также чем объясняется одновременно высокое извлечение марганца, кремния и алюминия? Следует ли это отнести в большей мере к влиянию шлакового или электрического режима?

### **5. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней**

Замечания по работе, некоторые из которых носят дискуссионный характер, не снижают теоретическую и практическую значимость диссертационной работы Мухамбетгалиева Е.К., выполненную на актуальную тему. Диссертация Мухамбетгалиева Е.К. является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит варианты решения важной технологической задачи выплавки низкофосфористых марганцевых ферросплавов из казахстанских высококремнистых марганцевых руд, подтверждена актами о проведении крупнолабораторных испытаний на техническом участке Химико-металлургического института

им. Ж. Абишева в рудовосстановительной печи с установленной мощностью трансформатора 0,2 МВ·А.

Целесообразность внедрения предлагаемых диссертантом технологических решений подтверждается актом внедрения в учебный процесс на кафедре «Пирометаллургические и литейные технологии» ФГАОУ ВО ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (Научно-исследовательский университет)» в курсы лекций «Металлургия ферросплавов», «Извлечение черных металлов из техногенного сырья», входящих в учебный план подготовки студентов, обучающихся по направлению 22.03.02 - Metallургия (бакалавр), и включены в курсы лекций дисциплины «Прикладная термодинамика и кинетика», обучающихся по направлению 22.03.02 - Metallургия (магистр).

Диссертационная работа и автореферат находятся в полном соответствии и по содержанию отвечают паспорту специальности 05.16.02 – «Metallургия чёрных, цветных и редких металлов».

Результаты работы достаточно полно отражены в опубликованных в научных изданиях статьях и автореферате диссертации.

В целом представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а ее автор Мухамбетгалиев Ербол Кенжегилиулы заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Metallургия чёрных, цветных и редких металлов».

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры  
"Metallургия железа и сплавов"

10.10.2017 г.

Подпись А.В. Жданова заверяю



Жданов  
Александр Витальевич

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 28  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Институт новых материалов и технологий  
Тел. (343) 375-44-64. E-mail: a.v.zhdanov@urfu.ru