

Утверждаю  
Проректор  
по научной работе федерального  
государственного бюджетного  
образовательного учреждения  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»



О.Н. Тулупов  
«10» \_\_\_\_\_ 2021 г.

### Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Бакина Игоря Валерьевича «**Рафинирование и модифицирование стали комплексными стронцийсодержащими сплавами**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 (05.16.02) – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Одной из важнейших проблем в области естественных и технических наук является создание научных основ для разработки и совершенствования технологий получения качественных сталей. В настоящее время практически все конструкционные стали подвергаются внепечной обработке. Одним из наиболее важных вопросов внепечной обработки стали, требующих дальнейшего изучения, является оптимизация процессов, связанных с рафинированием и модифицированием жидкого металла.

**Актуальность работы.** Широко применяемые кальцийсодержащие материалы (Si-Ca, Fe-Ca, Al-Ca) имеют, как правило, высокий уровень окисленности и гидратируемости. При обработке ими жидкого металла, предварительно раскисленного алюминием, концентрация кальция в расплаве снижается вследствие его испарения и вторичного окисления. При этом активизируются процессы образования тугоплавких алюминатов кальция и строчек глинозема. Решение проблемы улучшения качества стали, снижения содержания в ней высокоглиноземистых неметаллических включений (НВ) целесообразно искать в сфере производства и применения комплексных сплавов, содержащих наряду с кальцием стронций и барий.

Данные, полученные при изучении термодинамических свойств расплавов оксидных систем и моделировании фазовых равновесий, реализующихся при рафинировании стали комплексными сплавами, содержащими стронций, позволяют прогнозировать состав и свойства НВ, а, следовательно, влиять на качество металла. В настоящее время в научной литературе сведения о диаграммах состояния стронцийсодержащих оксидных систем отсутствуют. С практической точки зрения представляет значительный интерес изучить влияние стронцийсодержащих комплексных сплавов на свойства стали, а также изучить возможность их производства перспективным углетермическим методом. Повышение качества металлопродукции за счет оптимизации составов сплавов со стронцием и разработки эффективных способов их получения и применения **определяет актуальность данной работы.**

Таким образом, представленная диссертационная работа, посвященная повышению качества металлоизделий за счет рационального применения стронцийсодержащих комплексных сплавов в качестве раскислителей и модификаторов стали, несомненно **является актуальной**.

**К научной новизне** диссертационной работы следует отнести следующее:

1. На основании термодинамических расчетов с использованием теории субрегулярных ионных растворов впервые построены диаграммы равновесного состояния двойных ( $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO-SrO}$ ,  $\text{SrO-BaO}$ ,  $\text{SrO-SiO}_2$ ) и тройных ( $\text{FeO-SrO-BaO}$ ,  $\text{FeO-SrO-SiO}_2$ ,  $\text{FeO-SrO-Al}_2\text{O}_3$ ) систем.

2. Впервые рассчитаны изотермы растворимости кислорода в расплавах исследуемых систем:  $\text{Fe-Sr-O}$ ;  $\text{Fe-Mg-Sr-O}$ ;  $\text{Fe-Sr-Al-O}$ ;  $\text{Fe-Sr-Ba-O}$ ;  $\text{Fe-Sr-Al-O-C}$ ;  $\text{Fe-Sr-Si-O-C}$ ;  $\text{Fe-Sr-Ca-O-C}$ ;  $\text{Fe-Sr-Ba-O-C}$ ;  $\text{Fe-Sr-Ca-Al-O-C}$ .

3. На основании термодинамических расчетов впервые получены данные, для прогнозирования состава и морфологии неметаллических включений, образующихся в процессе раскисления и модифицирования стали стронцийсодержащими сплавами. Показана возможность раскисления металла газообразным кальцием и стронцием.

4. Экспериментально показано, что в отличие от силикокальция обработка стали сплавами  $\text{Sr-Si}$  и  $\text{Ba-Si}$  сопровождается формированием в нем более мелких комплексных оксисульфидных НВ, получением более однородной ( $\text{Si-Ba}$ ) и измельченной ( $\text{Si-Sr}$ ) структуры металла. Определены условия восстановления бария и стронция из сульфатов углеродом, позволяющие повысить их извлечение в сплав.

**Практическая значимость работы** заключается в использовании результатов проведенной работы на АО «Уральская сталь» и предприятии ООО НПП Технология. Промышленными испытаниями показана более высокая эффективность комплексных модификаторов в сравнении с силикокальцием СК40. Обработка стали комплексными сплавами с обеспечивает снижение уровня загрязненности стали по всем видам НВ, уменьшение средних размеров НВ более чем в 2,5 раза, оптимизацию их морфологии, получение более однородной и мелкозернистой структуры металла, повышение хладо- и коррозионной стойкости образцов в агрессивной среде.

Кроме того, термодинамическое моделирование фазовых равновесий в системах  $\text{Fe-Ca-Sr-O-C}$  и  $\text{Fe-Si-Sr-O-C}$  позволяет определять агрегатное состояние реагентов и продуктов химических реакций при температурах внепечной обработки стали, прогнозировать состав и свойства неметаллических включений и газообразных продуктов, образующихся при раскислении и модифицировании металла комплексными стронцийсодержащими сплавами.

Разработаны рациональные составы сплавов с ЦЗМ, позволяющие повысить механические и эксплуатационные свойства металлоизделий. Предложены технические решения по улучшению технико-экономических показателей получения комплексных сплавов углетермическим методом за счет использования дешевого природного сырья.

Достоверность теоретических практических положений диссертации подтверждается полученными результатами, выводов и рекомендаций подтверждается согласованностью результатов опытов с основными положениями химической термодинамики, проведением экспериментов по оценке сравнительной рафинирующей и модифицирующей способности сплавов  $\text{Si-Ca}$ ,  $\text{Si-Sr}$ ,

Si-Ba при прочих равных условиях, получением результатов испытаний предложенных составов комплексных сплавов при производстве трубной стали 17Г1СУ.

Личное участие автора заключается в непосредственном получении основных результатов диссертационной работы. При непосредственном участии автора проведены расчеты фазовых равновесий в стронцийсодержащих системах. Проведен анализ полученных результатов и сформулированы рекомендации для выбора оптимального состава модификаторов со стронцием. В лабораториях кафедры материаловедения и физико-химии материалов ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» и ООО НПП Технология спланированы и проведены экспериментальные работы по выплавке и обработке стали сплавами с ЩЗМ, организованы и проведены испытания опытных модификаторов в условиях АО «Уральская Сталь». С 2016 по 2021 годы Бакин И.В. выступал с докладами на международных и российских конференциях. Личное участие автора в получении изложенных в диссертации результатов подтверждено соавторами и отражено в совместных публикациях.

*Диссертация состоит* из введения, пяти глав, общих выводов и списка цитируемой литературы. Объем диссертации составляет 152 страницы, включая 43 рисунка, 58 таблиц и библиографический список из 236 наименований.

*Содержание диссертации* достаточно адекватно и полно отражено в тексте автореферата.

*В первой главе* рассмотрены современные взгляды на процессы рафинирования и модифицирования стали. Проведен критический анализ существующей технологии рафинирования и модифицирования стали с применением феррокальция (ФК) и силикокальция (СК).

Рассмотрен и проанализирован промышленный и экспериментальный опыт применения комплексных модификаторов, содержащих наряду с кальцием Ba и/или Sr. Отмечена ограниченность и противоречивость публикаций о влиянии сплавов с барием и стронцием на рафинирование и модифицирование стали. Анализ промышленного использования сплавов с ЩЗМ показывает, что комплексные сплавы в процессе рафинирования и модифицирования стали более эффективны по сравнению с ФК и СК.

Выполнен сопоставительный анализ различных способов производства комплексных сплавов для рафинирования и модифицирования стали.

*Во второй главе* диссертации рассмотрены физико-химические особенности рафинирования и модифицирования стали сплавами с ЩЗМ. Предложена классификация II группы периодической системы Д.И. Менделеева на подгруппы Be-Mg, Ca-Sr, Ba-Ra. Подробно рассмотрены физико-химические свойства ЩЗМ, сплавы которых находят применение при внепечной обработке стали.

*В третьей главе* приведены результаты термодинамических исследований фазовых равновесий в системах, характерных для процесса модифицирования и рафинирования стали стронцийсодержащими сплавами.

*В четвертой главе* диссертации приведены результаты экспериментальных исследований, процессов раскисления и модифицирования стали как двойными, так и многокомпонентными, сплавами с ЩЗМ. Полученные результаты позволяют говорить о большей эффективности комплексных сплавов по сравнению с бинарными.

В пятой главе представлены результаты промышленных испытаний микрокристаллических комплексных сплавов с ЩЗМ при выплавке трубной стали в условиях АО «Уральская Сталь».

В заключении по диссертации сформулированы основные научные положения и изложены достигнутые практические результаты работы.

Результаты работы достаточно полно обсуждены на региональных, Всероссийских и Международных конференциях и семинарах. В целом, следует отметить хороший уровень и разнообразие экспериментальных и расчетных методов исследования, представленных и использованных автором, квалифицированное обсуждение результатов.

По результатам работы опубликовано 26 работ, из них 16 - в перечне отечественных рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, 7 работ в изданиях, индексируемых в наукометрической базе данных Scopus и 1 патент РФ.

Рассмотренный материал автореферата диссертации соответствует паспорту специальности 2.6.2 (05.16.02) – металлургия черных, цветных и редких металлов.

По работе имеется ряд замечаний:

1. Материалы первой и второй глав диссертации имеют обзорный характер, а их объем около 50 с. является излишним.

2. Шесть пунктов научной новизны представляется чрезмерным. Шестой пункт относится к практической значимости работы.

3. Заключение диссертации и общие выводы автореферата изложены по-разному при одинаковом отражении результатов работы.

4. Отсутствуют сведения о сравнительной стоимости применяемых сплавов. Это не позволяет оценить экономическую целесообразность применения комплексных стронцийсодержащих сплавов.

5. В работе не приведены рекомендуемый состав и расход стронцийсодержащих сплавов. При этом отсутствуют данные по химическому составу металла и шлака после применения комплексных стронцийсодержащих сплавов.

6. Автор не приводит рекомендаций рациональной окисленности металла перед началом обработки комплексными сплавами.

7. Нет сравнительных данных о гидратируемости стандартных и предлагаемых сплавов.

Сделанные замечания носят частный характер, и не меняют общего положительного мнения о рецензируемой работе. Автореферат диссертации отражает её содержание.

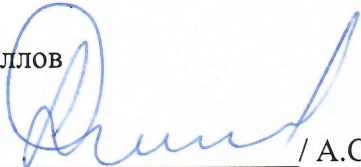
## ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании рассмотренных материалов автореферата, диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, позволившее разработать рациональные составы сплавов с ЩЗМ, обеспечивающие повышение механических и эксплуатационных свойств металлоизделий, а также предложить технические решения по улучшению технико-экономических показателей получения комплексных сплавов углетермическим методом за счет использования дешевого природного сырья, имеющее достаточный уровень научной новизны и практической значимости. Диссертационная работа **Бакина Игоря Валерьевича** соответствует


требованиям п. 9, Положения о присуждении учёных степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 (05.16.02) – металлургия чёрных, цветных и редких металлов.

Диссертация рассмотрена и обсуждена, отзыв ведущей организации на нее утвержден на научном семинаре кафедры металлургии и химических технологий, протокол № 2 от 9 ноября 2021 г.

Заведующий кафедрой металлургии  
и химических технологий  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,  
доктор технических наук, доцент  
05.16.02. Металлургия черных, цветных и редких металлов

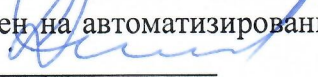
  
\_\_\_\_\_  
(подпись) / А.С. Харченко /  
(Ф.И.О)

Профессор кафедры металлургии  
и химических технологий  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,  
доктор технических наук, профессор  
05.16.02. Металлургия черных, цветных и редких металлов

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) / В.А. Бигеев /  
(Ф.И.О)

**Сведения о ведущей организации:**

Адрес: Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.  
Телефон: (3519) 29-84-01, (3519) 29-84-02, 23-57-59 (факс)  
e-mail: [mgtu@magtu.ru](mailto:mgtu@magtu.ru)

Я, Харченко Александр Сергеевич, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе 

Я, Бигеев Вахит Абдрашитович, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе 