



**Уральский  
федеральный  
университет**

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

**Институт новых материалов  
и технологий**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ).  
Институт новых материалов и технологий.

ул. Мира, 28, Екатеринбург, Россия, 620002,  
тел./факс: +7 (343) 374-53-35, 375-44-39  
e-mail: inmt@urfu.ru, [www.urfu.ru](http://www.urfu.ru)

dd.10.2021

№ 33.20-32/2021

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

официального оппонента 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 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.

5. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований предложен состав комплексных модификаторов с ЦЗМ и шихта для получения стронцийсодержащих сплавов в рудовосстановительной печи, а также определены условия восстановления бария и стронция из сульфатов углеродом, позволяющие повысить их извлечение в сплав.

6. 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.

**Практическая значимость работы** заключается в использовании результатов проведенной работы на АО «Уральская сталь» и предприятии ООО НПП Технология.

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 свой-

ства неметаллических включений и газообразных продуктов, образующихся при раскислении и модифицировании металла комплексными стронцийсодержащими сплавами.

Разработаны рациональные составы сплавов с ЩЗМ, 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, выводами и рекомендациями подтверждается согласованностью результатов опытов с основными положениями химической термодинамики, проведением экспериментов по оценке сравнительной рафинирующей и модифицирующей способности сплавов Si-Ca, 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 по-

казывает, 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.

Наряду с несомненными достоинствами, по работе следует сделать некоторые замечания:

1. При оформлении диссертационной работы не выполнены требования ГОСТ, что привело к следующим нарушениям:

– например, при оформлении ссылок на литературу нарушен порядок в большом количестве (сначала приводится [20, 21, 25, 26], затем [22, 33, 26]; или [136] и сразу [220] и т.д.); часть ссылок вообще потеряна ([37, 98, 121-123 и т.д.];

– автором указано, что по результатам работы опубликовано 26 работ, однако в списке приведенной литературы удалось обнаружить только 7 публикаций ([131, 132, 180, 181, 202, 226, 235]). Может остальные не идентифицируются вследствие неправильного оформления?

– на стр. 81 сделана ссылка на рисунок (см. рис. 3.149б), это видимо описка?

2. По терминологии:

2.1. Автор часто употребляет термин «усвоение элементов». Думаю, что для модификаторов такой термин употреблять не следует. Более правильным будет термин «полезное использование». Но желательно, чтобы автор пояснил свое мнение.

2.2. Вероятно, печь Таммана лучше называть «высокотемпературной печью сопротивления».

3. На стр. 26 автор делает утверждение, что «Максимальную растворимость в железе имеют сульфиды CaS и MnS, что повышает степень из негативного влияния на металл». Однако известно, что именно на принципе замены FeS на CaS и основано удаление серы, т.к. CaS не растворяется в железе и хорошо растворяется в шлаке. Может это описка?

4. Отсутствуют выводы по главам. Глава 1 даже называется: «Состояние вопроса и задачи исследования», а выводов, на основании которых должны быть поставлены задачи исследования нет. Поэтому теряется целостность работы.

5. При проведении лабораторных экспериментов автор указывает такие параметры: «После достижения указанной температуры и выдержки в течение 5 минут задали шлакообразующую смесь CaO-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> в соотношении 1,0:1,0:0,1 в количестве 40 г. Сталь предварительно раскисляли алюминиевой фольгой 0,35 % от массы металла». Необходимо дать пояснения: На каком основании выбраны указанные параметры? Когда точно вводился алюминий? Как достигалось усреднение металла при раскислении? Почему шлакообразующие решили не вводить в шихту до расплавления металла? То же самое касается и проведения других экспериментов.

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. Считаю, что 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.

Официальный оппонент



Шешуков Олег Юрьевич, доктор технических наук, профессор, директор Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

620002, г. Екатеринбург,  
ул. Мира, 28.  
Тел.: (343)3754439  
E-mail: o.j.sheshukov@urfu.ru

Я, Шешуков Олег Юрьевич, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе Шешуков