

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УРФУ 2.6.03.08
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК**

от «16» мая 2024 г. № 5

о присуждении Метелкину Анатолию Алексеевичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Развитие технологических основ комплексной ковшевой обработки расплава после выпуска из сталеплавильного агрегата» по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов принята к защите диссертационным советом УрФУ 2.6.03.08 «22» февраля 2024 г., протокол № 2.

Соискатель, Метелкин Анатолий Алексеевич, 1982 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Повышение изнoсоустoйчивoсти футеровки агрегатов ковшовой обработки стали» защитил в 2014 г. в диссертационном совете, созданном на базе Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова;

работает в должности доцента кафедры «Metallургия железа и сплавов» Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».

Диссертация выполнена на кафедре «Metallургия железа и сплавов» Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России.

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

Официальные оппоненты:

Бигеев Вахит Абдрашитович – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра металлургии и химических технологий, профессор;

Чуманов Илья Валерьевич – доктор технических наук, профессор, Филиал ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» в г. Златоусте, кафедра техники и технологии производства материалов, заведующий кафедрой;

Протопопов Евгений Валентинович – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Кемеровская область, кафедра металлургии черных металлов и химической технологии, профессор
дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 70 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 32 работы, из них 16 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, в том числе 14 статей в журналах, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science; 3 монографии в соавторстве; 2 патента РФ на изобретения. Общий объем опубликованных работ по теме диссертации – 39,87 п.л., авторский вклад 8,15 п.л.

Список основных публикаций

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:

1. Юдин В.С. Повышение стойкости футеровки сталеразливочных ковшей в условиях конвертерного цеха АО ЕВРАЗ НТМК (к 60-летию

освоения выплавки конвертерной стали в России) / В.С. Юдин, О.Ю. Шешуков, В.Ю. Елин, **А.А. Метелкин**, Л.Ю. Грабовяк, С.А. Федюнин // *Сталь*. – 2023. – 6. – С. 10–12. 0,19 п.л./0,02 п.л.

Yudin, V.S Improving the durability of steel ladle linings in converter shop of Nizhniy Tagil iron and steel works (to the 60th anniversary of the development of converter steelmaking in Russia) / V.Y. Yudin, O.Y. Sheshukov, V.Y. Elin, **A.A. Metelkin**, L.Y. Grabovyak, S.A. Fedyunin // *Steel in Translation*. – 2023. – Vol. 53. – № 7. – Pp. 631 – 634. 0,25 п.л./0,03 п.л. (Scopus)

2. **Метелкин А.А.** Оптимизация технологических параметров вакуум-камеры с целью повышения стойкости футеровки в условиях конвертерного цеха АО ЕВРАЗ НТМК / А.А. Метелкин, О.Ю. Шешуков, А.С. Ткачев, О.И. Шевченко, Д.Е. Манзор // *Черные металлы*. – 2022. – № 10. – С. 22–25. 0,25 п.л./0,03 п.л.

Metelkin, A.A. Optimization of technological parameters of vacuum chamber in order to increase the lining durability in conditions of the JSC EVRAZ NTMK converter shop / A.A. Metelkin, O.Y. Sheshukov, A.S. Tkachev, O.I. Shevchenko, D.E. Manzor // *Chernye Metally*. – 2022. – №10. – Pp. 22–25. 0,25 п.л./0,03 п.л. (Scopus)

3. **Метелкин А.А.** Анализ процесса дегазации металла в вакуум-камере циркуляционного вакууматора в условиях АО «ЕВРАЗ НТМК» / А.А. Метелкин, О.Ю. Шешуков, А.С. Ткачев, И.В. Ковязин, А.В. Чиглинцев, О.И. Шевченко // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2022. – Т. 65. – № 10. – С. 717–723. 0,44 п.л./0,07 п.л.

Metelkin A.A. Metal degassing in vacuum-chamber of circulating vacuum degasser of JSC EVRAZ NTMK / A.A. Metelkin, O.Y. Sheshukov, A.S. Tkachev, I.V. Kovyazin, A.V. Chiglintsev, O.I. Shevchenko // *Steel in Translation*. – 2022. – Vol. 52. – № 10. – Pp. 920–924. 0,31 п.л./0,05 п.л. (Scopus)

4. **Метелкин А.А.** Оптимизация шлакового режима в агрегате ковш-печь / А.А. Метелкин, О.Ю. Шешуков, М.В. Савельев, О.И. Шевченко, Д.К.

Егиазарьян, А.С. Ткачев, В.Ю. Елин // *Металлург.* – 2022. – № 6. – С. 34–37. 0,25 п.л./0,04 п.л.

Metelkin A.A. Optimization of the Slag Conditions in a Ladle Furnace / A.A. Metelkin, O.Y. Sheshukov, M.V. Saveliev, O.I. Shevchenko, D.K. Egiazar'yan, A.S. Tkachev, V.Y. Elin // *Metallurgist.* – 2022. – Vol. 66. – № 5-6. – Pp. 646–649. 0,25 п.л./0,04 п.л. (Scopus)

5. Шешуков О.Ю. Корректировка шлакового режима в сталеразливочном ковше при внепечной обработке стали для получения гомогенного высокоосновного шлака в условиях выксунского металлургического завода / О.Ю. Шешуков, В.М. Сафонов, В.А. Мurysev, С.А. Сомов, **А.А. Метелкин**, О.И. Шевченко, Д.К. Егиазарьян // *Металлург.* – 2022. – № 3. – С. 28–32. 0,31 п.л./0,04 п.л.

Sheshukov O.Y. Adjustment of ladle slag mode during steel ladle treatment for obtaining a homogeneous high-basicity slag at Vyksa metallurgical plant / O.Y. Sheshukov, V.M. Safonov, V.A. Murysev, S.A. Somov, **A.A. Metelkin**, O.I. Shevchenko, D.K. Egiazar'yan // *Metallurgist.* – 2022. – Vol. 66. – № 3-4. – Pp. 262–268. 0,44 п.л./0,06 п.л. (Scopus)

6. **Metelkin A.A.** Method for estimating the sulfide capacity of slags in ladle furnace unit using the ionic theory / A.A. Metelkin, O.I. Shevchenko, O.Y. Sheshukov, D.K. Egiazar'yan M.V. Saveliev // *AIP Conference Proceedings.* – 2022. – Vol. 2456. 020029. 0,25 п.л./0,05 п.л. (Scopus)

7. **Метелкин А.А.** Применение ионной теории для расчета сульфидной емкости шлаков / А.А. Метелкин, О.Ю. Шешуков, М.В. Савельев, О.И. Шевченко, Д.К. Егиазарьян // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* – 2021. – Т. 64. – № 2. – С. 104–111. 0,5 п.л./0,1 п.л.

Metelkin A.A. Application of ionic theory to calculate sulfide capacity of slags / A.A. Metelkin, O.Y. Sheshukov, M.V. Savelyev, O.I. Shevchenko, D.K. Egiazar'yan // *Izvestiya Ferrous Metallurgy.* – 2021. – Vol. 64. – № 2. – P. 104-111. 0,5 п.л./0,1 п.л. (Scopus)

8. Плешивцев К.Н. Изучение процесса удаления водорода в циркуляционном вакууматоре в условиях КЦ-2 ПАО «НЛМК» / К.Н. Плешивцев, О.Ю. Шешуков, **А.А. Метелкин** О.И. Шевченко // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2021. – Т. 64. – № 8. – С. 543–549. 0,44 п.л./0,11 п.л.

Pleshivtsev K.N. Hydrogen removal in circulating vacuum degasser under conditions of PJSC «NLMK» / K.N. Pleshivtsev, O.Y. Sheshukov, **A.A. Metelkin**, O.I. Shevchenko // Steel in Translation. – 2021. – Vol. 51. – № 8. – Pp. 491–495. 0,31 п.л./0,08 п.л. (Scopus).

9. Савельев М.В. Анализ баланса серы по этапам металлургического производства на примере АО «ЕВРАЗ НТМК» / М.В. Савельев, О.Ю. Шешуков, **А.А. Метелкин**, О.И. Шевченко, Д.К. Егиазарьян // Сталь – 2020. – № 8. – С. 21–23. 0,19 п.л./0,03 п.л.

10. Савельев М.В. Применение ионной теории шлаков при расчете десульфурации серы в агрегате ковш-печь / М.В. Савельев, О.Ю. Шешуков, **А.А. Метелкин**, О.И. Шевченко, Д.К. Егиазарьян // Черные металлы. – 2020. – № 6. – С. 27–30. 0,25 п.л./0,05 п.л.

Savelyev M.V. The use of the ionic theory of slags in the calculation of desulfurization in the ladle-furnace unit / M.V. Savelyev, O.Y. Sheshukov, **A.A. Metelkin**, O.I. Shevchenko, D.K. Egiazaryan // «CHERNYE METALLY». – 2020. – No. 6. – Pp. 27–30. 0,25 п.л./0,05 п.л. (Scopus)

11. Темников В.В. Опыт переработки шлака установки ковш-печь в АО «ЕВРАЗ НТМК» / В.В. Темников, О.Ю. Шешуков, М.А. Михеенков, **А.А. Метелкин** [и др.] // Металлург. – 2020. – № 6. – С. 23–26. 0,25 п.л./0,06 п.л.

Temnikov V.V. Ladle-furnace-slag reprocessing at Evraz Nizhnii Tagil iron and steel works OJSC / V.V. Temnikov, O.Y. Sheshukov, M.A. Mikheenkov, **A.A. Metelkin** // Metallurgist. – 2020. – Vol. 64. – № 5–6. – Pp. 508–513. 0,38 п.л./0,069 п.л. (Scopus, WoS).

12. Savelyev M.V. Calculation of sulfur removal in ladle furnace unit by means of ionic theory of slags / M.V. Savelyev, O.Y. Sheshukov, **A.A. Metelkin**, O.I. Shevchenko, D.K. Egiazaryan // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 966. №1. 012068 (Scopus) 0,25 п.л./0,05 п.л.

13. Шешуков О.Ю. Оптимизация состава шлака внепечной обработки стали с целью повышения стойкости огнеупоров и возможности утилизации шлака / О.Ю. Шешуков, М.А. Михеенков, И.В. Некрасов, А.А. Метелкин // Metallurg. – 2018. – № 8. – С. 9–12. 0,25 п.л./0,063 п.л.

Sheshukov O.Y. Optimization of the slag composition in ladle treatment of steel for increasing the resistance of refractories and promoting slag reuse / O.Y. Sheshukov, M.A. Mikheenkov, I.V. Nekrasov, **A.A. Metelkin** // Metallurgist. – 2018. – Vol. 62. – № 7–8. – Pp. 723–728. 0,38 п.л./0,09 п.л. (Scopus, WoS).

14. Шешуков О.Ю. Оценка износа алюмопериклазовых изделий футеровки сталеразливочного ковша / О.Ю. Шешуков, В.В. Левчук, **A.A. Метелкин**, Ю.Н. Коротков, С.П. Малинин, И.В. Некрасов // Сталь. – 2015. – № 5. – С. 31–33. 0,19 п.л./0,03 п.л.

15. Шешуков О.Ю. Шлаковый режим агрегатов внепечной обработки стали и стойкость огнеупоров / О.Ю. Шешуков, И.В. Некрасов, М.А. Михеенков, Д.К. Егиазарьян, **A.A. Метелкин**, И.Д. Кащеев, В.С. Цепелев // Новые огнеупоры. – 2015. – № 8. – С. 7–12. 0,38 п.л./0,05 п.л.

Sheshukov O.Y. The slag regime of equipment used for the secondary treatment of steel and the durability of its refractories / O.Y. Sheshukov, I.V. Nekrasov, M.A. Mikheenkov, D.K. Egiazar'yan, L.A. Ovchinnikova, A.A. Metelkin, I.D. Kashcheev, V.S. Tsepelev // Refractories and Industrial Ceramics. – 2015. – Vol. 56. – № 4. – P. 327-332. 0,25 п.л./0,05 п.л. (Scopus).

16. Шешуков О.Ю. Оперативный контроль динамики окисленности и толщины шлака при обработке стали на агрегате ковш-печь / О.Ю. Шешуков, И.В. Некрасов, А.В. Сивцов, М.М. Цымбалист,

Д.К. Егиазарьян, **А.А. Метелкин** // Сталь. – 2014. – № 1. – С. 14–16.
0,19 п.л./0,03 п.л.

Sheshukov O.Y. Dynamic monitoring of slag oxidation and thickness in the ladle-furnace unit / O.Y. Sheshukov, I.V. Nekrasov, A.V. Sivtsov, M.M. Tsymbalist, D.K. Egiazar'yan, **A.A. Metelkin** // Steel in Translation. – 2014. – Т. 44. – № 1. Pp. 43-46. 0,25 п.л./0,04 п.л. (Scopus).

Патенты

17. Патент № 2736127 Российская Федерация, МПК С21С 7/10 (2006.01). Патрубок погружной для циркуляционного вакууматора: № 2019140448: заявл. 10.12.2019 / П.А. Зажигает, М.В. Савельев, Д.В. Сушников, Ю.Н. Коротков, **А.А. Метелкин**, А.С. Ткачев, И.М. Захаров, А.Г. Лыжин, А.В. Чиглинцев, О.Б. Чернов, Ю.В. Корогодский, А.С. Корбутов, Ю.А. Данилин, Ф.Н. Садритдинов; заявитель и патентообладатель АО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат».

18. Патент № 2660720 Российская Федерация, МПК С21С 7/10 (2006.01). Способ циркуляционного вакуумирования металлического расплава № 2016119461: заявл. 19.05.2016 / **А.А. Метелкин**, О.Ю. Шешуков, И.Э. Игнатъев, И.В. Некрасов, О.И. Шевченко, Н.Ю. Султанов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук.

Монографии

19. Шешуков О.Ю. Вопросы утилизации шлаков внепечной обработки стали в аглодоменном производстве: монография / О.Ю. Шешуков, В.В. Темников, **А.А. Метелкин**, О.И. Шевченко, М.А. Михеенков – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2021. – 159 с. 9,94 п.л./1,98 п.л.

20. Шешуков О.Ю. Вопросы утилизации рафинировочных шлаков сталеплавильного производства: монография / О.Ю. Шешуков, М.А. Михеенков, И.В. Некрасов, Д.К. Егиазарьян, **А.А. Метелкин**,

О.И. Шевченко – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2017. – 208 с. 13,0 п.л./2,17 п.л.

21. **Метелкин А.А.** Повышение стойкости футеровки агрегатов внепечной обработки стали: монография / А.А. Метелкин, О.Ю. Шешуков, И.В. Некрасов, О.И. Шевченко – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2015. – 144 с. 9,0 п.л./2,25 п.л.

На автореферат поступили отзывы:

1. **Бабенко Анатолия Алексеевича**, доктора технических наук, научного руководителя отдела черной металлургии, главного научного сотрудника лаборатории стали и ферросплавов ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. Содержит вопросы и замечания по определению сульфидной емкости, оценке износа футеровки сталеразливочных ковшей и влиянию технологических и конструкционных параметров циркуляционного вакуумирования на удаление газов.

2. **Жукова Владимира Петровича**, доктора технических наук, профессора, ведущего научного сотрудника лаборатории «Окускование и физико-механические испытания» АО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург. Содержит вопросы об актуальности методики расчета десульфурующих свойств шлаков, влиянии капиллярной активности серы на ее распределение между металлом и шлаком, форме нахождения серы в шлаке и водорода в расплаве.

3. **Кожухова Алексея Александровича**, доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой металлургии и металловедения имени С.П. Угаровой, заместителя директора по науке и инновациям, и **Семина Александра Евгеньевича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры металлургии и металловедения имени С.П. Угаровой, Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиала) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический

университет «МИСиС». Содержит вопросы по влиянию технологических параметров на коэффициент распределения серы, роли углерода при раскислении стали CaC_2 , и вопросы, связанные с глубоким обезуглероживанием металла.

4. **Михеенкова Михаила Аркадьевича**, доктора технических наук, старшего научного сотрудника лаборатории проблем техногенных образований ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. Содержат вопросы по определению основности шлаков по классической формуле и через оптическую основность, дополнительно, о критериях при которых оксид Al_2O_3 изменяет свои свойства.

5. **Рощина Василия Ефимовича**, доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника Научно-исследовательской лаборатории «Водородные технологии в металлургии» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск. Содержат вопросы и замечания по всплыванию пузырьков газа в расплаве, условиям дегазации в циркуляционных вакууматорах.

6. **Сычкова Александра Борисовича**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры литейных процессов и материаловедения, **Харченко Александра Сергеевича**, доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой металлургии и химических технологий, и **Потаповой Марины Васильевны**, кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Содержит вопросы и замечания по научной новизне, применимости CaF_2 при формировании шлака в АКП, противопоставлении терминов АКП и АКОС, уточнению, на какие марки стали распространяются

проведенные исследования и возможности прогнозирования остаточного содержания углерода в стали.

7. **Ковалева Дениса Анатольевича**, кандидата технических наук, директора Дирекции по разработке новых технологий процесса, и **Дагмана Алексея Игоревича**, кандидата технических наук, руководителя экспертного направления Дирекции по развитию новых технологий процесса ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат», г. Липецк. Содержит вопросы по условиям изменения «коэффициента взаимодействия» и дополнительным факторам, которые необходимо учитывать для достижения концентраций углерода менее 0,002 %.

8. **Егиазарьяна Дениса Константиновича**, кандидата технических наук, заведующего лабораторией проблем техногенных образований ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. Содержит вопросы и замечания по цели проведенного исследования, уточнению марок сталей, для которых проводились исследования, и механизмам удаления водорода.

9. **Полевого Егора Владимировича**, кандидата технических наук, начальника научно-исследовательского отдела Дирекции по рельсовому производству АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк. Содержит вопросы и замечания по допущенным в автореферате опечаткам и условиям удаления неметаллических включений.

10. **Пономарева Алексея Александровича**, кандидата технических наук, технического директора АО «ПромСорт»-Урал, г. Ревда, Свердловская обл. Содержит вопросы о возможности получения концентраций углерода менее 0,002 % при вакуумировании в ковшевых вакууматорах, возможности определения окисленности металла по разработанной методике в зависимости от технологии раскисления.

11. **Корзуна Евгения Леонидовича**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Электromеталлургия» ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Донецкая Народная Республика. Содержит вопросы по оптической основности, огнеупорам, применяемым в сталеразливочном ковше, и методике оценки их износа, конструкции газоподводящего патрубка, критериев подобия, а также влияния изменения интенсивности продувки аргоном на скорость окисления углерода.

12. **Карлиной Антонины Игоревны**, кандидата технических наук, ведущего эксперта (развитие партнерств) АО «Северсталь Менеджмент», г. Москва. Содержит вопросы по оформлению рисунков в автореферате.

13. **Дегтярева Михаила Васильевича**, доктора технических наук, главного научного сотрудника лаборатории прецизионных сплавов и интерметаллидов ФГБУН Институт физики металлов Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. Содержит вопросы по механизмам удаления растворенных газов в циркуляционном вакууматоре и геометрических размерах данного агрегата, а также замечания по оформлению автореферата.

14. **Сафонова Владимира Михайловича**, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Электromеталлургия» Выксунского филиала ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Выкса, Нижегородская область. Содержит вопросы по критериям подобия лабораторной установки и циркуляционного вакууматора, методике построения графика, а также измерению температуры в агрегате ковш-печь.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью и широкой известностью в области внепечной обработки расплава, а именно, удалению серы и газов при вакуумировании стали, что подтверждается публикациями в рецензируемых российских и международных научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ, является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения, позволившие определить рациональный состав шлака, обладающего наилучшими десульфурующими свойствами с минимальным агрессивным воздействием на футеровку агрегатов «ковш-печь» (АКП) и рациональные технологические, конструкционные параметры вакуум-камер циркуляционного вакуумирования для обработки расплава вакуумом в зависимости от емкостей сталеразливочных ковшей. Разработанные технологические решения позволяют повысить экономическую эффективность внепечной обработки стали и вносят значительный вклад в социально-экономическое развитие страны.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку, наиболее значимые из которых:

1. Разработана методика оценки сульфидной емкости шлака, учитывающая взаимосвязь температуры и введенного параметра показателя основности в многокомпонентной системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ ($\text{FeO}+\text{MnO} < 1,5 \%$), а также влияние оксидов, проявляющих основные, кислотные свойства и амфотерного оксида Al_2O_3 .

2. Разработан новый подход к оценке влияния Al_2O_3 на десульфурующие свойства шлаков, формируемых в АКП, в зависимости от расхода и соотношения различных раскислителей. Оценено влияние оксида алюминия на сульфидную емкость шлака в зависимости от состава и типа шлака (гомогенный или гетерогенный). С позиции ионной теории шлаков показано, что в гомогенных шлаках коэффициент взаимодействия оксида

алюминия выше, чем в гетерогенных. Показано, что при повышении содержания Al_2O_3 в шлаках, формируемых в АКП, данный оксид начинает проявлять кислотные свойства.

3. Разработана методика подбора рациональных технологических параметров процесса вакуумирования и конструкций вакуум-камер.

4. Показано, что износ футеровки вакуум-камеры влияет на технологические параметры вакуумирования стали. Например, при износе внутренней футеровки впускного патрубка изменяется его внутренний диаметр, что приводит к изменению площади контакта пузырьков газа с расплавом и, соответственно, технологии вакуумирования.

5. Уточнены основные механизмы удаления водорода и углерода (через образование газообразных продуктов раскисления) в циркуляционном вакууматоре – из глубины расплава в вакуум-камере и в пузырьки нейтрального газа, подаваемого во впускной патрубок.

Научные результаты, полученные в работе, апробированы в лабораторных и промышленных масштабах. Разработанная соискателем методика по определению десульфуризирующих свойств шлака, формируемого в агрегате «ковш-печь», в конвертерном цехе АО «ЕВРАЗ Нижне-Тагильский металлургический комбинат» позволила снизить расход шлакообразующих материалов на 7,5 % (с 8,0 до 7,4 кг/т стали) и улучшить степень десульфурации на 14 % по сравнению с серийными плавками (Акт промышленного внедрения по определению рационального состава шлаков и снижению расхода шлакообразующих материалов от 28 декабря 2022 г). Стойкость футеровки АКП осталась без изменений. Экономический эффект от внедренного мероприятия составил **51,4 млн. руб.** На основании предложенной методики по определению рациональных технологических и конструктивных параметров вакуум-камеры разработана рациональная конструкция впускного патрубка – одного из элементов вакуум-камеры. Опытные вакуум-камеры с рекомендованными размерами футеровки показали

повышение средней стойкости футеровки на 27 % с 116 до 148 плавков (Акт промышленного внедрения рациональной конструкции рабочей футеровки впускного патрубка 160-тонного циркуляционного вакууматора от 28 декабря 2022 г.). Экономический эффект от внедренного мероприятия составил **40,4 млн. руб.**

На заседании 16 мая 2024 г. диссертационный совет УрФУ 2.6.03.08 принял решение присудить Метелкину А.А. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет УрФУ 2.6.03.08 в количестве 16 человек, из них 11 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета
УрФУ 2.6.03.08

Андрей Владимирович Сулицин

Ученый секретарь
диссертационного совета

Андрей Андреевич Шопперт

16 мая 2024 г.

