

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.111.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА», МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 23.06.2021 г., № 9

О присуждении Шахову Сергею Иосифовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Научные основы совершенствования систем электромагнитного перемешивания и кристаллизаторов сортовых и блюмовых машин непрерывного литья заготовок» по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (металлургия) принята к защите 16.03.2021 г. (протокол заседания № 3) диссертационным советом Д 212.111.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ № 717/нк от 09.11.2012 г.

Соискатель Шахов Сергей Иосифович, 1963 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (Металлургическое производство) на тему «Разработка, исследование и промышленное освоение оборудования с устройствами электромагнитного перемешивания для блюмовых и сортовых машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ)» защитил в 2008 году в диссертационном совете, созданном на базе Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института металлургического машиностроения имени акад. А.И. Целикова.

Шахов С.И. работает в АО АХК «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения имени академика Целикова» (АО АХК «ВНИИМЕТМАШ») с октября 2020 года начальником

отдела научно-технической поддержки, до этого – начальником отдела машин непрерывного литья металлов.

Диссертация выполнена в АО АХК «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения имени академика Целикова» и ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

Оппоненты:

1. Кабаков Зотей Константинович, доктор технических наук, профессор кафедры металлургии, машиностроения и технологического оборудования, ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет», г. Череповец;
 2. Золотухин Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Сварка, литье и технология конструкционных материалов», ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула;
 3. Горбатюк Сергей Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инжиниринга технологического оборудования ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва
- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – АО «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения» (АО «НПО «ЦНИИТМАШ»), в своем положительном отзыве, подписанном Косыревым Константином Львовичем, доктором технических наук, профессором, заместителем генерального директора по научной работе и Дубом Владимиром Семеновичем, доктором технических наук, профессором, научным руководителем ИМиМ указала, что диссертация Шахова Сергея Иосифовича на тему «Научные основы совершенствования систем электромагнитного перемешивания и кристаллизаторов сортовых и блюмовых машин непрерывного литья заготовок» выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям, установленным в п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842. В диссертационной работе содержится решение важной научной, технической и экономической задачи, имеющей существенное значение для металлургической и машиностроительной отраслей, именно: создана методология разработки и применения систем электромагнитного перемешивания (ЭМП)

сортовых и блюмовых МНЛЗ, обеспечивающая повышение качества и конкурентоспособности устройств ЭМП и продукции. Автор диссертации, Шахов Сергей Иосифович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы (металлургия).

Соискатель имеет 31 публикацию, в том числе 31 по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях - 12. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

К наиболее значимым публикациям относятся:

1. Шахов, С.И. Модернизация сортовых и блюмовых УНРС с целью расширения размерного и марочного сортамента отливаемых заготовок, улучшения их качества и увеличения производительности / С.И. Шахов, А.С. Смоляков, Г.И. Николаев // Черные металлы. - 2015. - № 3 (999). - С. 25-29.
2. МГД-метод расчета некоторых параметров течения и кристаллизации жидкого металла / Г.А. Дубский, К.Н. Вдовин, С.И. Шахов, Л.Г. Егорова, А.А. Нефедьев // Электрометаллургия. - 2020. - № 4. - С. 2-11.
3. Industrial ES System in the graded CBCM crystallizer / I.N. Shifrin, S.I. Shakhov, A.M. Rotenberg, A.K. Belitchenko, N.A. Bogdanov, V.G. Grachev, V.N. Meleshkin // Tyazheloe Mashinostroenie. - 2002. - No. 5. - P.p. 7-9.
4. Shakhov, S.I. Electromagnetic Stirring in Continuous-Casting Machines / S.I. Shakhov, K.N. Vdovin // Steel in Translation. - 2019. - Vol. 49. - No. 4. - P.p. 261-264.
5. Improvement of built-in electromagnetic stirring in the molds of bloom continuous-casting machines / S.I. Shakhov, K.N. Vdovin, R.I. Kerimov, Y.M. Rogachikov, D.S. Shakhov // Metallurgist. - 2020. - Vol. 64. Nos. 5-6, September. - P.p. 410-416.

Сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Авторский вклад соискателя объемом 2,9 п.л. в опубликованные работы общим объемом 10,9 п.л.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:

1. ФГБОУ ВО Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, г. Омск, д.т.н. Кузнецова В.Н.; 2. ПАО «Трубная металлургическая компания», г. Москва, Первый заместитель генерального директора – Главный инженер Попков В.В.; 3. ООО «Экошлак-Рециклинг», г. Москва, д.т.н. Паршин В.М.; 4. ООО «НПО Техноап», г. Москва, д.т.н. Делекторский Б.А., к.т.н. Сорокин А.Н.; 5. ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана», г. Москва, д.т.н. Стулов В.В.; 6. ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана», г. Москва, д.т.н. Данилов В.Л.; 7. ООО «Институт Цветметобработ-

ка», г. Москва, к.т.н. Наливайко А.В.; 8. ООО «Спецмаш», г. Москва, к.т.н. Решетов В.В.; 9. АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва, к.т.н. Шурыгин Д.А.; 10. АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва, к.т.н. Гущин Н.С.; 11. ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения», г. Электросталь, директор по конструкторской и исследовательской работе – главный конструктор Чирков С.Г.; 12. ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова», г. Грозный, д.т.н. Нурадинов А.С.; 13. АО НПО «БелМаг», г. Магнитогорск, д.т.н. Гун И.Г., д.т.н. Михайловский И.А.; 14. АО «Металлургический завод Электросталь», г. Электросталь, заместитель генерального директора – директор по науке Кабанов И.В.; 15. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, к.т.н. Фейлер С.В.; 16. ООО «ТУЛАЧЕРМЕТ-СТАЛЬ», г. Тула, к.т.н. Жигарев М.А.; 17. ЗАО «НПП Машпром», г. Екатеринбург, к.т.н. Вопнерук А.А., к.т.н. Исхаков Р.Ф.; 18. АО «ТАГМЕТ», г. Таганрог, и.о. Главного инженера Верхогляд С.Б.; 19. ФГАО ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, д.т.н. Фризен В.Э.; 20. ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, д.т.н. Мазур И.П., к.т.н. Бобков Е.Б.

В отзывах на диссертацию и автореферат содержатся следующие замечания.

- Какие одновременно протекающие в гильзе кристаллизатора процессы при формировании корки слитка оказывают друг на друга наибольшее влияние (стр. 26)?
- Не указаны направления и перспективы дальнейших исследований автора по теме диссертации.
- В работе слабо отражено влияние ЭМП и его режимов на химическую неоднородность слитка по сечению.
- В основных выводах отсутствуют результаты испытания системы ЭМП в кристаллизаторе наружного исполнения и разработанной конструкции гильзового кристаллизатора.
- В автореферате на стр. 21 раздела 4 отмечено: «...применена оригинальная конструкция обмоток полюсов статоров из водопогружного провода, с двойной изоляцией повышенной теплостойкости, высокой механической и электрической прочности...». При этом автор не указал наименование изоляции или марку примененного провода.
- В автореферате определены основные принципы конструирования систем ЭМП для сортовых и блюмовых МНЛЗ, при этом определены основные критерии выбора

систем ЭМП в кристаллизаторе, однако отсутствуют условия выбора систем ЭМП в зоне вторичного охлаждения и зоне окончания затвердевания.

- При указании режимов ЭМП в разделе 5 автореферата следовало бы указать материал и толщину стенок гильз и рабочих стенок сборных кристаллизаторов, от которых напрямую зависят электротехнические параметры статора и режимы ЭМП.
- В плитных кристаллизаторах блюмовых МНЛЗ и в зоне их вторичного охлаждения возможно применение линейных статоров ЭМП, использование которых не освещено в данной диссертационной работе.
- В третьей главе описано исследование МГД-процессов, происходящих при ЭМП в кристаллизаторе на жидкометаллической модели. В качестве исследуемой жидкости применили сплав Роузе. Из приведенных данных не ясно, на основании каких критериев был сделан выбор сплава Роузе, а не, например, сплава Вуда?
- Не приводятся используемые устройства погружных стаканов для перемешивания расплава в кристаллизаторах машин и эффективность их использования в сравнении с ЭМП в кристаллизаторах.
- Не отражено влияние колебательного движения кристаллизатора на МГД-процессы, происходящие при наложении электромагнитного тормоза в районе мениска.
- Отсутствует информация о проведенных испытаниях новой конструкции гильзового кристаллизатора.
- Из текста автореферата непонятно, какой объем экспериментальных данных был применен для верификации результатов физического моделирования при определении максимальных скоростей потоков от частоты тока (рисунок 7)?
- На стр. 26 автореферата описана новая конструкция гильзового кристаллизатора, в котором зазор между гильзой и рубашкой охлаждения, предназначенный для прохода воды, формируется с высокой точностью. Считаю, что это решение очень важное и заслуживает отдельной главы.
- В пункте 11 основных выводов отсутствуют результаты испытания системы ЭМП в кристаллизаторе наружного исполнения.
- В автореферате не приведены требования ГОСТа к подсадочной ликвации проката из подшипниковых марок стали. Поэтому не понятно, отвечают ли полученные результаты с использованием ЭМП указанным требованиям?
- Из автореферата не ясно, нашла ли применение новая конструкция гильзового кристаллизатора на промышленной МНЛЗ?

- Из автореферата не ясно, как повлияло на качество поверхности и макроструктуры непрерывнолитых заготовок применение конструкции ЭМП в кристаллизаторе наружного исполнения?
- На 32 странице реферата в общих выводах не отмечено, что применение новой конструкции гильзового кристаллизатора приводит к существенному качеству поверхности и макроструктуры заготовок.
- Оценка эффективности разработанного оборудования и технологических режимов осуществлялись посредством контроля макроструктуры НЛЗ по существующим нормативным документам. Между тем, применительно к оценке качества макроструктуры, они имеют определенные недостатки, а именно, вероятностный характер оценки. Автор не указывает на них.
- При рассмотрении результатов непрерывного литья заготовок с использованием ЭМП в кристаллизаторе без защиты струи, помимо технических и технологических аспектов влияния на характеристики макроструктуры, необоснованно рассматриваются и сравниваются эффекты воздействия на повышение чистоты металла по неметаллическим включениям.
- В представленной диссертационной работе выявлено много новых научных решений, однако присутствует всего лишь два патента. С чем связано отсутствие патентов, в частности, по «систем ЭМП»?
- На рисунке 16 представлена общая схема методологии разработки и опробования систем электромагнитного перемешивания на МНЛЗ. По нашему мнению, методология должна быть иллюстрирована более подробно.
- Из автореферата непонятно, где нашла практическое применение новая конструкция гильзового кристаллизатора?
- Из автореферата не ясен физический смысл термина магнитное поле «сноса»?
- Рассмотреть вопрос защиты конструкции двухуровневого электромагнитного воздействия в кристаллизаторе сортовой МНЛЗ патентом Российской Федерации.
- В автореферате не приведены технологические режимы непрерывной разливки различных групп марок стали, при которых проводились промышленные эксперименты с использованием электромагнитного перемешивания.
- В автореферате отсутствует информация о проведенных испытаниях кристаллизатора усовершенствованной конструкции.
- Незначительное количество патентов, оформленных по результатам исследований.

- В 3 главе отмечается, что при физическом моделировании процессов магнитной гидродинамики в качестве моделирующей жидкости автором использован низко-температурный сплав Роузе. В промышленности широко применяется сплав Роузе с известными свойствами и характеристиками. Это один и тот же сплав? Если нет, то сплав какого состава использовал автор при проведении исследований? Соблюдается ли подобие исследуемых процессов при использовании указанного сплава?
- В 4 главе работы отмечено, что «На МНЛЗ «ОЭМК» дополнительно установили статор в районе зоны окончания затвердевания, что позволило существенно улучшить качество осевой зоны НЛЗ...», какие количественные значения показателей качества осевой зоны непрерывнолитой заготовки были получены в результате ЭМП в зоне окончания затвердевания?
- Из научной литературы известна конструкция двухкатушечной системы ЭМП в кристаллизаторе с электромагнитных тормозом. Не ясно, в чем отличие предложенной разработки от иностранного аналога?
- Из автореферата не ясно, на основании каких проведенных исследований ЭМП в кристаллизаторах горизонтальных МНЛЗ выявлено, что максимальные силы вращения при горизонтальном непрерывном литье возникают в области под серединой полюса и расположены на расстоянии 10 мм от внутренней поверхности медной гильзы?
- Новизна технических решений не в полной мере подтверждена заявками на патенты.
- В п.1 научной новизны упоминается о новых представлениях в процессах ЭМП и электромагнитном торможении в кристаллизаторе. При этом не разъясняется о каких представлениях идет речь?
- В разделе 5 автореферата описаны результаты применения ЭМП на двух уровнях МПНЛЗ МЗ «Электросталь». При этом отсутствует информация о влиянии только ЭМП в кристаллизаторе на качество заготовок.
- При работе ЭМП с увеличением и снижением силы тока и частоты перемешивания, существует ликвация основных химических элементов, таких как углерод, марганец, кремний и др., но этой теме не уделено внимания в автореферате.
- В автореферате отсутствует оценка влияния электромагнитного перемешивания на вымывание захваченных газовых пузырей и включений, укрупнение газовых пузырей и включений, их всплытие и снижение количества на поверхности, а также последующую горячую прокатку.

- Возможно ли применение полученных решений на слябовых МНЛЗ?
- Во второй главе диссертации приведено описание и результаты исследования одномерной аналитической модели движения потока жидкого металла в постоянном магнитном поле. Из текста автореферата не просматривается связь между результатами этой работы с остальными главами. Используемая в дальнейшем конструкция кристаллизаторов предполагает использование вращающегося магнитного поля, приводящему к движению расплава в кристаллизаторе в трех пространственных координатах.
- В автореферате и тексте диссертации недостаточно подробно описаны численные модели, реализованные в программе «ANSYS». Полезно было бы привести в тексте работы систему сделанных допущений при создании модели. В частности, насколько велико магнитное число Рейнольдса в рассматриваемой установке? Учитывалось влияние движения металла на создаваемое индуктором вращающееся магнитное поле?
- Не совсем понятно, как можно интерпретировать результаты физического моделирования, проведенные на модельном сплаве в установке, выполненной в масштабе 1:1? Насколько подобны в этом случае будут процессы в модели, физическим процессам в реальной установке?
- На с.23 автореферата утверждается, что электромагнитное торможение обеспечивается катушками постоянного тока, а на с.24 в следующем предложении говорится о том, что они получают питание от источника тока с частотой 50 Гц. Какой источник питания был использован?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известными систематическими исследованиями и научными работами по разработке методологических основ проектирования, создания нового оборудования, теоретических и экспериментальных исследований и повышения производительности сортовых и блюмовых машин непрерывного литья заготовок, в том числе с устройствами электромагнитного перемешивания, результаты которых представлены в ведущих рецензируемых научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **создана** методология разработки и опробования устройств ЭМП сортовых и блюмовых МНЛЗ, позволяющая повысить ресурс металлургических машин и агрегатов и сократить материальные затраты;

- предложены результаты теоретических и экспериментальных исследований гидродинамики жидкой фазы в непрерывно-отливаемых заготовках при одновременном воздействии на расплав тормозящих и создающих движение металла электромагнитных сил;

- сформулированы основные принципы конструирования систем ЭМП машин непрерывного литья заготовок, которые использовали при создании устройств ЭМП для сортовых и блюмовых МНЛЗ ряда заводов;

- определены принципы выбора системы ЭМП, места её установки и режимов ЭМП в зависимости от марочного и размерного сортаментов производимых заготовок.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- разработана и экспериментально подтверждена инженерная методика расчета устройств ЭМП для заданных условий, на основе которой, установлена зависимость скорости движения расплава от электротехнических параметров.

- получены новые научные знания о процессах ЭМП жидкой стали в кристаллизаторе при двухуровневом электромагнитном воздействии, в котором производится ЭМП расплава в нижней части кристаллизатора вокруг его оси и электромагнитное торможение этих потоков в районе мениска;

- изучены новые рациональные режимы ЭМП в кристаллизаторе наружного исполнения, обеспечивающие эффективный диапазон скоростей движения жидкого металла 0,3-0,56 м/с для достижения необходимого качества непрерывнолитых заготовок.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработаны физические модели МГД-процессов, происходящих при ЭМП. Результаты, полученные с использованием испытательных стендов, позволяют обоснованно определять режимы ЭМП для достижения необходимых скоростей потоков расплава в кристаллизаторах сортовых МНЛЗ и блюмовых МПНЛЗ;

- создана серия устройств ЭМП, встроенных в кристаллизатор, в которых полюса охлаждаются его водой;

- разработана система ЭМП в кристаллизаторе наружного исполнения, в которой применили воду кристаллизатора для охлаждения обмотки статора, расположенного в разборном корпусе из аустенитной нержавеющей стали;

- результаты работы внедрены на промышленных МНЛЗ ОАО «Молдавский металлургический завод» (ММЗ), АО «МЗ «Электросталь», АО «Ижевский опытно-

механический завод» (ИОМЗ), металлургических заводах «ТМК-Решица» (Румыния) и «Баку Стил Компани» (Азербайджанская республика).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- эксперименты проведены на действующих промышленных МНЛЗ АО «ОЭМК», ОАО «ММЗ», АО «МЗ «Электросталь», АО «ИОМЗ» и испытательном оборудовании в лабораториях АО АХК «ВНИИМЕТМАШ», обработка и оценка результатов проведена в соответствии со стандартными методиками, а полученные результаты согласуются с опубликованными данными других исследователей;

- теория построена на известных теоретических положениях и не противоречит основным положениям теориям машин и механизмов, магнитогидродинамики и электротехники, приемлемой сходимостью теоретических и экспериментальных данных, использовании современных программных комплексов;

- идеи базируются на обобщении передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и эксплуатации машин и агрегатов различного назначения;

- установлено, что результаты практического применения разработанных систем ЭМП, не противоречат результатам, представленным в независимых источниках.


Личный вклад соискателя заключается в непосредственном участии в получении, анализе и обобщении теоретических данных на всех этапах проведенного исследования, личном выполнении всего объема теоретических и экспериментальных исследований на опытном оборудовании и промышленных МНЛЗ, определении цели, задач и методов исследований, разработке кристаллизаторов и систем электромагнитного перемешивания для сортовых и блюмовых МНЛЗ, анализе полученных результатов, подготовке публикаций по выполненной работе. Все основные данные, приведенные в диссертации, получены автором лично или при его непосредственном участии.

На заседании 23 июня 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Шахову Сергею Иосифовичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности 05.02.13, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против нет, воздержавшихся нет.

Председатель
диссертационного совета
Ученый секретарь
диссертационного совета
23.06.2021 г.



 Платов Сергей Иосифович

 Терентьев Дмитрий Вячеславович