

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Кабакова З.К.

на диссертационную работу к.т.н. Шахова Сергея Иосифовича  
«Научные основы совершенствования систем электромагнитного  
перемешивания и кристаллизаторов сортовых и блюмовых машин  
непрерывного литья заготовок», представленную на соискание ученой степени  
доктора технических наук по специальности 05.02.13 - Машины, агрегаты и  
процессы (металлургия)

### 1. Актуальность работы

Качество стальных заготовок, производимых на машинах непрерывного литья (МНЛЗ), в значительной степени зависит от конструктивных особенностей оборудования и применяемой технологии разлива. Кроме того, существует целая группа дефектов непрерывно-литых заготовок ликвационного, кристаллизационного и усадочного характера, которые невозможно исключить даже, применяя передовое, современное оборудование МНЛЗ и рациональную технологию непрерывной разлива. Предотвращение или подавление развития указанных выше дефектов возможно за счёт применения различных методов внешнего физического воздействия на затвердевающий расплав, предполагающих интенсивное вмешательство в процесс кристаллизации непрерывных заготовок по ходу разлива. Одним из наиболее эффективных и технологичных способов воздействия является создание управляемого движения жидкой фазы кристаллизующегося слитка, в частности – с помощью электромагнитного перемешивания (ЭМП).

Диссертационная работа к.т.н. Шахова С.И. направлена на совершенствование систем ЭМП и кристаллизаторов сортовых и блюмовых МНЛЗ, конструкции которых превосходят мировые аналоги по интенсивности перемешивания, равномерности первичного охлаждения, электропотреблению,

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации	27.05.2021
Фамилия регистратора	_____

габаритам, массе оборудования и ремонтпригодности. В связи с этим актуальность представленной работы не вызывает сомнений.

Тема диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы (металлургия).

## **2. Новизна исследования и полученных результатов**

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, конструкторские и технологические разработки, полученные автором, представляют значительный интерес для теории и практики металлургического машиностроения, причем некоторые результаты являются оригинальными и получены впервые.

Установлены новые представления о процессах электромагнитного перемешивания 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.

Разработана и экспериментально подтверждена инженерная методика расчета устройств электромагнитного перемешивания для заданных условий, на основе которой установлена зависимость скорости движения расплава от электротехнических параметров.

Создан оригинальный комплекс методов физического моделирования процессов электромагнитного перемешивания в кристаллизаторах и зоне окончания затвердевания сортовых и блюмовых МНЛЗ.

Разработана методика совершенствования устройств ЭМП, встроенных непосредственно в кристаллизатор машины горизонтального непрерывного литья, позволяющая определить расположение зоны действия максимальных сил вращения жидкого металла.

Разработаны новые рациональные режимы электромагнитного перемешивания в кристаллизаторе наружного исполнения, обеспечивающие эффективный диапазон скоростей движения жидкого металла 0,3-0,56 м/с для достижения необходимого качества непрерывно-литых заготовок.

Созданы методологические основы разработки и опробования систем ЭМП в сортовых и блюмовых МНЛЗ, сокращающие время и материальные затраты на выбор системы ЭМП для конкретной МНЛЗ, её проектирование и промышленное опробование, повышающие ресурс устройств электромагнитного перемешивания, уменьшающие затраты на ремонт оборудования, и снижающие капитальные и текущие эксплуатационные затраты.

### **3. Обоснованность и достоверность результатов исследований**

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается надежностью и представительным объемом исходных данных, корректным применением методик проведенных экспериментов, принципов математического и физического моделирования, их согласованием с результатами промышленных испытаний на российских и зарубежных металлургических заводах. Разработанные методики расчета элементов систем электромагнитного перемешивания и кристаллизаторов сортовых и блюмовых МНЛЗ прошли широкую экспериментальную проверку в лабораторных и промышленных условиях.

Обоснованность предложенных диссертантом научно-технических решений, доказана большим количеством лабораторных и опытно-промышленных испытаний, а также результатами внедрения представленных разработок на ряде металлургических заводов в России и за рубежом.

Таким образом, основные выводы диссертации, связанные с проведением теоретических и экспериментальных исследований, разработкой, опробованием и внедрением систем электромагнитного перемешивания и кристаллизаторов



сортовых и блюмовых МНЛЗ являются достоверными и обоснованными.

#### **4. Значимость для науки и практики**

Научная значимость диссертации Шахова С.И. заключается в том, что в ней впервые, на основании теоретических и экспериментальных исследований и созданной методологии, получена совокупность результатов, которая представляет собой научно-обоснованные решения по разработке и опробованию систем электромагнитного перемешивания, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны.

Практическая ценность работы состоит в создании оригинальных методик расчета элементов систем электромагнитного перемешивания и кристаллизаторов сортовых и блюмовых МНЛЗ и в разработке новых технических и технологических решений, которые успешно прошли лабораторные и опытно-промышленные испытания.

Разработанные системы ЭМП для сортовых и блюмовых МНЛЗ обеспечивают существенное улучшение качества непрерывно-литых заготовок и снижение капитальных и эксплуатационных затрат в 1,5–2,0 раза по сравнению с зарубежными аналогами. Ожидаемый экономический эффект составляет 21 млн руб. при работе многоручьевой МНЛЗ 320 дней в году.

Разработанные автором научные основы совершенствования систем электромагнитного перемешивания (СЭМП) и кристаллизаторов сортовых и блюмовых машин непрерывного литья заготовок рекомендуется использовать при разработке, совершенствовании и внедрении СЭМП на предприятиях, использующих сортавые и блюмовые МНЛЗ, а также в учебном процессе для специальностей «Металлургия чёрных металлов» и «Металлургические машины и оборудование».

#### **5. Публикации и апробация работы**

Результаты диссертации полностью отражены в 31 статье (в том числе 12 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, 7 – в научных изданиях, входящих в международную базу Scopus и 12 статьях в других изданиях) и 2 патентах на изобретения. На протяжении ряда лет материалы работы докладывались и обсуждались на международных и отечественных конференциях, семинарах и научно-технических советах предприятий.

Работа изложена на 297 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, библиографического списка из 387 наименований и 6 приложений. Иллюстративный материал, экспериментальные и расчетные данные представлены в 16 таблицах и 108 рисунках.

## 6. Замечания по работе

По тексту диссертации имеются замечания:

1. Не ясно (стр.74, рис.2.1), для какой части кристаллизатора с жидким металлом выбрана расчетная область математической модели для изучения МГД-процессов?

2. Отсутствует формулировка механизма торможения движения жидкого металла в поперечном магнитном поле.

3. На стр. 83 приведены формулы для расчета коэффициента гидравлического сопротивления при ламинарном движении стали (2.22) и движении в поперечном магнитном поле (2.23). В тексте приведено утверждение, что при стремлении критерия Гартмана ( $Ha$ ) к 0 формула (2.23) превращается в (2.22). Это логично, но на самом деле, если подставить  $Ha=0$  в формулу (2.23), то получается не формула (2.22), а другое выражение.

4. На рис.5.2 на стр.201 приведены фотографии поверхности заготовки для случаев без применения ЭМП и с применением. На рисунке не видно, какие дефекты поверхности устранены при применении ЭМП.

5. Не ясно, с какой целью введено на стр.178 понятие критериев отбора теплоты от кристаллизующейся корки в кристаллизаторе?

Указанные замечания носят частный характер и не затрагивают обоснованность и достоверность результатов исследований и выводов диссертации.

### **7. Общая оценка диссертации Шахова С.И.**

Диссертация Шахова С.И. является законченной, самостоятельной научно-квалификационной работой и вносит существенный вклад в теорию и практику металлургического машиностроения, в частности, и в развитие страны, в целом.

Совокупность полученных в диссертации результатов представляет собой теоретическое обобщение и решение крупной научно-технической проблемы - совершенствования систем ЭМП сортовых и блюмовых МНЛЗ и создания методологических основ их разработки, модернизации и опробования - имеющей важное народнохозяйственное значение.

Диссертация имеет законченный вид, оформлена в соответствии с нормативными требованиями, написана хорошим стилем и технически грамотным языком, имеет достаточное количество иллюстраций.

Материалы диссертации опубликованы полностью. Содержание диссертации отражает основные материалы работ, выполненных автором. Автореферат, в котором изложены основные идеи и выводы диссертации, соответствует её содержанию.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация является научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9-14 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Шахов



Сергей Иосифович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы (металлургия).

Выражаю свое согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,  
Почетный работник высшего профессионального образования РФ, член Российской и Европейской Академий Естествознания, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Металлургия, машиностроение и технологическое оборудование» ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»

Кабаков Зотей Константинович

162600, Вологодская обл., г. Череповец, пр-т Луначарского, д. 5, ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет», кафедра «Металлургия, машиностроение и технологическое оборудование». Тел.: 8 (8202) 51-83-05.

Почтовый адрес Кабакова З. К.: 162627, г Череповец Вологодской области, ул. Резникова,10. Моб. тел.: 8 909 599 83 86. E-mail: kabakovzk@mail.ru.

Шифр и наименование научной специальности: 05.16.02. – Metallургия черных металлов.

Подпись Кабакова Зотей Константиновича  
Начальник УП Госке...

