

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО «Удмуртский
государственный университет»,
доктор исторических наук, профессор


Г.В. Мерзлякова
«11» Октября 2021 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Удмуртский государственный университет» на диссертационную работу Лосева Геннадия Леонидовича на тему «Измерения характеристик и контроль МГД-процессов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы исследования

Металлургическая промышленность является производителем широкого класса товаров стратегического значения. Качество получения и обработки металлов в ходе производственного процесса определяет прочностные характеристики готовой продукции. Перемешивание металлов в ходе процесса кристаллизации обеспечивает измельчение зерна, гомогенизацию распределения примесей и повышение прочности конечного изделия. Изменение скорости кристаллизации расплава позволяет добиться однородности фазового перехода и физических свойств отливок. Наконец, чистые и сверхчистые металлы обладают уникальными прочностными характеристиками за счет отсутствия дефектов кристаллической решетки, связанных с химическими примесями. Сверхчистые металлы являются востребованным материалом аэрокосмической, судостроительной и оборонной промышленности. Исследуемые в диссертационной работе процессы воздействия на жидкие электропроводящие среды позволяет управлять тепломассопереносом в жидких металлах, расширяя возможности технологического контроля обработки металлов.

На основании вышеизложенного представленная работа об измерении характеристик и контроле МГД-процессов в задачах перемешивания, очистки и кристаллизации жидких металлов является актуальной. Особо следует отметить,

что физическая природа гидродинамических процессов детально изучена экспериментально для жидких сред при комнатной температуре. В литературе представлены весьма ограниченные данные по гидродинамике металлических расплавов. По этой причине цель диссертационной работы, связанная с развитием современных экспериментальных методик изучения расплавов, крайне востребована в промышленных задачах и является, несомненно, обоснованной с научной точки зрения.

Структура работы, решаемые ею задачи. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, 3 глав, заключения и библиографии. Она изложена на 143 страницы машинописного текста, включает 51 рисунок и 2 таблицы. Список цитируемых источников составляет 163 работ отечественных и зарубежных авторов.

Во введении диссертации обоснована ее актуальность, сформулирована цель работы – отработка методов измерения и корректного электромагнитного воздействия в процессах перемешивания, очистки и кристаллизации жидких металлов. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Генерации вихревых структур в плоском слое жидкого металла под действием локализованной в пространстве электромагнитной силы.
2. Управления формой фронта кристаллизации металлического расплава, находящегося под воздействием модулированного бегущего магнитного поля.
3. Удаление из раствора включений примеси с электрической проводимостью, отличающейся от проводимости окружающей среды.

Дополнительно во введении указаны положения, выносимые на защиту, степень достоверности, апробация результатов и личный вклад автора.

В обзоре литературы автором проанализированы и обобщены литературные данные по экспериментальным методам измерения характеристик течений в жидких металлах. Отмечены типы используемых датчиков, видов проводимых измерений. Значительный объем обзора литературы посвящен ультразвуковым методам исследования как наиболее современным и применимым для жидких металлов при высоких температурах изучения рабочих сред. Отмечено, что традиционные индуктивные и кондуктивные методы обеспечивают получение исходных данных для жидкостей, но имеют существенные ограничения в средах с фазовыми переходами, например, при кристаллизации. Детально рассмотрена физическая природа генерации вихревых течений под действием переменного электромагнитного поля. Более подробная количественная оценка характеристических чисел переноса выполнена далее в основных главах диссертации в привязке к

конкретным задачам.

В главе 1 рассматривается проблема учета характеристик стенки экспериментальной ячейки и температуры жидкого металла на точность измерений ультразвуковым методом. Сравнение данных для волноводов разной длины и радиуса показало, что увеличение длины приводит к подавлению полезного сигнала, в результате чего точность измерения скорости течения снижается до порогового уровня. Таким образом, оценены границы применимости метода для исследования жидких сред в ячейках с различной толщиной и материалом стенки.

С учетом выявленных методических особенностей проведены планирование и реализация серии экспериментов, где варьировались величина внешнего воздействия и область приложения внешней магнитогидродинамической силы в изучаемой системе. Установлено, что изменение структуры течения с 4-вихревой на 2-вихревую структуру приводит к значительному изменению локальных характеристик потока. Измеренные спектральные характеристики в значительной мере отличаются, что свидетельствует о существовании низкочастотного режима вихревого течения с хорошо развитой турбулентностью, которая приводит к стохастичности сигнала.

Глава 2 посвящена исследованию управления процессом направленной кристаллизации за счет низкочастотных модуляций ЭМ поля. Соискателем проведена значительная работа по созданию методики измерений, предложены новые схемотехнические решения, выполнены постобработка и анализ полученных данных измерений. В результате получены важные данные, определяющие положение и форму фронта кристаллизации в различные моменты времени. Оценена пространственная погрешность в определении формы фронта по высоте. Высказана гипотеза, что увеличение погрешности измерения обусловлено образованием и накоплением перед фронтом кристаллизации мелкой кристаллической фракции, которая образует двухфазную зону. Существование двухфазной зоны подтверждалось после анализа профилей отраженного сигнала. В целом результаты исследований формируют новые научные данные, которые не были рассмотрены в литературе ранее, по влиянию низкочастотного модулированного ЭМ воздействия на механизм кристаллизации.

В главе 3 поставлена и исследована инновационная научно-техническая задача по разделению жидкой среды со взвешенными частицами на фракции с различным содержанием примеси. Ключевым физическим фактором, определяющим разделение фракций, является различная электропроводность компонентов. Воздействие поля приводит к поперечному дрейфу частиц, что дает линейное по времени снижение концентрации примесных частиц. Учитывая, что

выявленный эффект имеет несложную техническую реализацию, предложенный метод принципиально может использоваться для процессов контролируемой сепарации жидкостей. Диссертантом описано увеличение концентрации частиц в приповерхностном слое, а также снижение эффективности разделения фаз из-за возникновения вторичных электровихревых течений.

Научная новизна полученных результатов

Впервые для электровихревого течения, генерируемого в прямоугольном слое жидкого металла, на основе анализа полученных при помощи ультразвуковых измерений профилей скорости, построена карта режимов течений в терминах параметра силового воздействия и положения области действия локализованной электромагнитной силы.

Показана возможность воздействия на форму фронта кристаллизации металла при направленной кристаллизации путем наложения различных типов низкочастотных модуляций бегущего магнитного поля, генерирующего течения в жидкой фазе, что не было ранее в литературе исследовано на систематической основе.

Во взвеси частиц в жидкой среде изучено влияние различных факторов на электромагнитное разделение фаз различной электропроводности: сопоставлены эффекты влияния топологии течения и характеристик электромагнитных сил. В результате сформулированы конкретные рекомендации по проектированию промышленных устройств очистки жидких проводящих сред.

Научная и практическая значимость работы

Научная значимость работы состоит в том, что полученные данные углубляют понимание механизмов генерации течений в жидких металлах и развивают измерительные методики, что открывает дорогу к дальнейшим исследованиям.

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты, изложенные в первых двух главах, могут быть востребованы в технике для оптимизации процессов перемешивания и кристаллизации металлов с целью снижения энергозатрат и повышения качества отливок. Показан новый метод управления процессом кристаллизации металлического расплава посредством низкочастотных модуляций электропитания перемешивателя. Материал третьей главы представляет интерес для металлургии цветных металлов и полупроводников в задачах очистки электропроводных расплавов от химических примесей. В частности, он актуален для задач вторичной переработки металлолома и отходов металлургического производства. Также результаты третьей главы могут

найти применение в ядерной энергетике для очистки жидкометаллического теплоносителя в атомных станциях на быстрых нейтронах.

Публикации и апробация результатов исследования

Основные научные результаты диссертации опубликованы в 9 полнотекстовых статьях, включая 6 работ в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации материалов диссертации. Основные результаты диссертации доложены на 8 всероссийских и международных конференциях.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждена тщательной разработкой экспериментальных методик, проведением контрольных опытов и согласием полученных результатов с данными известных теоретических и экспериментальных исследований.

Соответствие содержания автореферата содержанию работы

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы. Реферат включает основные результаты и выводы диссертации.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности

Диссертация Г.Л. Лосева полностью соответствует паспорту специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Замечания по диссертационной работе:

1. Результаты лабораторного эксперимента по изучению сепарации частиц были аппроксимированы квадратичной зависимостью, что при полученном ограниченном наборе данных не может быть достоверно сделано.
2. В разделе по исследованию кристаллизации приведена зависимость скорости кристаллизации от силы тока в индукторе. График показывает сильно немонотонную зависимость. Предложенное в диссертации объяснение неочевидно и требует большего обоснования.
3. В тексте отсутствует список сокращений и обозначений, хотя соискатель активно их использует без соответствующей расшифровки.
4. Параметры модуляции тока в индукторе и характеристики генерируемого магнитного поля являются самостоятельными управляющими параметрами системы и могут варьироваться независимо друг от друга. В работе диссертантом не была сделана попытка анализа одновременного влияния обоих параметров на структуру течения, что может дать важную новую информацию об оптимальных режимах течения.

Заключение

Отмеченные замечания не снижают значение диссертационной работы Г.Л. Лосева. Сформулированная в ней цель исследования достигнута, все поставленные задачи решены. Положения диссертации, выносимые на защиту, обоснованы, её результаты достаточно полно представлены в публикациях автора, доложены на ряде всероссийских конференций.

Считаем, что диссертация Лосева Геннадия Леонидовича является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача измерения характеристик и управления процессами в задачах электромагнитной обработки жидких металлов.

Диссертационная работа «Измерения характеристик и контроль МГД-процессов» полностью отвечает требованиям п. 8 Положения о порядке присуждения ученых степеней от 30.01.2002 г (№74) и п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней от 29.09.2013 г (№842), внесшего изменения в первое Положение (от 30.01.2002 г.), и паспорту специальности, по которой представлена к защите, а ее автор Лосев Геннадий Леонидович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв заслушан, обсужден и утвержден на расширенном научном семинаре, проведенном в Институте математики, информационных технологий и физики УдГУ (протокол № 2 лаборатории физики конденсированных сред).

Эксперт, доктор физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, доцент, заведующий учебно-научной лабораторией физики конденсированных сред

Кривилев
Михаил Дмитриевич




Эксперт, кандидат физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Груздь Светлана Анатольевна



Председатель семинара, доцент кафедры информатики и математики, кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Ломаев Степан Леонидович



Ученый секретарь семинара

Гавриленко Ольга Олеговна



426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, ФГБОУ ВО «Удмуртский
государственный университет», тел. 8-3412-916-230, e-mail: rector@udsu.ru,
mk@udsu.ru

Подписи вышеуказанных лиц заверяю:

Ученый секретарь УдГУ / Л.А. Пушина

