

Отзыв научного консультанта о диссертации Позднякова Георгия Алексеевича «Экспериментальное изучение методов генерации и управления проводящими потоками», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа посвящена фундаментальным проблемам разделов физики: магнитной гидродинамики, плазмодинамики, взаимодействию плазменных потоков с поверхностью, плазмохимии. В диссертации представлены результаты экспериментального решения задач, выбранных автором из соображений перспективности получаемых фундаментальных знаний, для усовершенствования и создания новых технологий.

Диссертация состоит из введения, двух разделов, разделенных на пять глав, заключения и списка литературы. Объем диссертационной работы – 296. Список литературы содержит 152 наименований.

Во введении сформулированы цели и задачи диссертационной работы, результаты, выносимые на защиту, состояния дел по каждому из представленных направлений. Обосновывается актуальность проводимых исследований. Описана структура диссертационной работы. Структура Введения соответствует автореферату.

Раздел I Преобразование энергии в задачах магнитной гидродинамики.

В главе I представлены результаты исследований динамики плазменных потоков с T-слоем в дисковом МГД-канале в условиях отбора электрической мощности во внешнюю цепь. Данные работы были выполнены впервые и являются пионерскими.

Для дискового МГД-генератора фарадеевского типа с T-слоем предложено и обосновано использование вогнутых электродных узлов, что позволило достичь максимальной эффективности энергосъема. Экспериментально показано, что спонтанно возникающие T-слои устойчивы в режиме энергосъема в дисковой схеме МГДГ с секционированной электродной вставкой с вогнутыми поверхностями.

Показано, что в случае рабочего тела – плазмы аргона дисковый МГДГ может быть использован в качестве мощного импульсного источника излучения.

Сформулировано предложение о перспективности использования газообразных щелочных металлов в качестве рабочего тела в МГД-генераторах с T-слоем. В результате проведенных численных расчетов и экспериментально показано, что потоке плазмы натрия в МГД – канале возможно спонтанное развитие T-слоев и их инициирование импульсным электрическим разрядом.

В главе II представлены результаты исследований, выполненных на экспериментальных моделях кондукционного МГД – насоса центробежного типа (ЦКН).

Во введении представлен обзор использования МГД – насосов для перекачки проводящих жидких сред в соответствующих технологиях, в том числе металлургическом производстве. Насос, пригодный для работы с расплавами цветных и черных металлов должен удовлетворять следующим требованиям: развивать необходимое давление при минимальном значении параметра $I \cdot B$; допускать возможность замены электродных токоподводящих узлов без разборки канала насоса; износ электродов не должен приводить к снижению эффективности насоса; выходной тракт должен легко стыковаться

с металлотрактом без каких-либо дополнительных переходных узлов. Проведенный анализ показал, что среди возможных схем кондукционных МГД-насосов наиболее перспективной являются дисковая схема центробежного кондукционного насоса (ЦКН), который имеет токи в 1,5 - 2 ниже, чем линейные и допускает вынос электродных токоподводящих узлов из рабочей зоны.

Были спроектированы и построены несколько моделей ЦКН для перекачки расплавленных металлов и сплавов. Проведены сравнения экспериментально полученных характеристик работы ЦКН с результатами численного моделирования. Экспериментально полученные значения коэффициента сопротивления использованы для верификации численной модели ЦКН.

Экспериментально показана возможность применения таких насосов для внесения и равномерного перемешивания в расплаве твердых наночастиц. Продемонстрировано улучшение структуры отливок алюминиевого сплава в результате внесения модифицирующих наночастиц в канал ЦКН.

В главе III предложена оригинальная схема газофазного эндотермического химического реактора, в котором необходимая для протекания химических процессов энергия передается реагенту (или их смеси) в дисковом МГД ускорителе.

Проведены исследования дискового МГД-ускорителя в различных режимах работы – с различными рабочими телами (воздух, аргон, гелий, природный газ, ацетилен, этилен, моносилан и их смесями) при различных давлениях в форкамере, электрических параметрах, временах работы ускорителя. В результате были определены условия устойчивой (в смысле генерации потока) работы ускорителя. Экспериментально была продемонстрирована возможность проведения пиролиза природного газа в реакторе. Химический анализ получаемых газообразных продуктов показал, что при пиролизе не выполняется баланс по углероду (его недостаток). Было обнаружено, что при натекании продуктов пиролиза на преграду на поверхности последней образуется углеродная пленка, что объяснило причину дисбаланса по углероду. Изучение полученной пленки и процессов ее образования позволил предложить новый способ нанесения пленок на поверхности, отличающийся от известных совокупностью качеств - производительностью (более 1мкм/с) при оптическом качестве, низкой себестоимостью и простотой реализации, возможностью изменения исходных реагентов и, соответственно, химического состава покрытия в процессе его нанесения. Показано, что изменением условий нанесения углеродной пленки можно регулировать соотношение G и D фракций в пленке, а также получать наноразмерные алмазы в пленке. Продемонстрирована возможность нанесения пленок из нитрида титана, кремния, карбида и нитрида кремния. Продемонстрирована возможность плазменного травления поверхности кремния потоками плазмы благородных газов, генерируемыми дисковым МГД-ускорителем и продемонстрирован эффект существенного сглаживания поверхностей стекла и кремния при их обтекании углеводородной плазмой.

Раздел II физико-химические эффекты в высокоэнтальпийных плазменных потоках и при их воздействии на твердую поверхность.

Глава IV посвящена изучению импульсного воздействия высокоэнтальпийных плазменных сгустков с твердыми поверхностями с целью модификации приповерхностных слоев материала. Под высокоэнтальпийным потоком понимается поток, обладающий плотностью энергии порядка нескольких электрон-вольт на частицу.

Такой энергией обладает поток с температурой порядка 10000К и скоростью порядка 10 км/с. Малое время воздействия, порядка десяти и менее микросекунд, приводит к малой толщине слоя, подвергающегося изменениям. Кроме того, импульсное воздействие позволяет достигать потоков с большой плотностью энергии. Применение высокоэнтальпийных импульсных плазменных потоков для модификации твердых поверхностей позволяют исследовать поведение тонкого поверхностного слоя различных веществ в условиях высоких давления и температуры, а также интенсивного облучения в широком спектральном диапазоне. Подобное воздействие приводит к изменению структуры поверхностного слоя и химическим превращениям в нем. Изучение этих процессов имеет, кроме фундаментального научного значения, так же большой практический интерес. В диссертационной работе рассматриваю две из практически значимых проблем.

Первая проблема - улучшения покрытий, нанесенных электрохимическим путем, в частности проблема малоизнашиваемых коррозионно-стойких электродов, широко используются во многих электрохимических процессов и конкретно проблема стойкости платинированных титановых электродов.

Вторая проблема - улучшение промышленно используемых технологий плазменного напыления порошков, в частности, нанесения жаростойкого защитного покрытия на лопатки газовых турбин.

В качестве источников плазмы использованы импульсные электродинамические ускорители различных типов. В зависимости от решаемых задач автором были разработаны и изготовлены установки, оборудованные электродинамическими ускорителями плазмы и имеющими возможность нагрева обрабатываемых образцов до заданной температуры.

Результаты экспериментов по воздействию импульсных высокоэнтальпийных плазменных потоков на поверхность исследуемых образцов титана показали:

Воздействие на образцы титана с электролитическим платиновым покрытием при комнатной температуре приводит к отслаиванию последнего. Модификации покрытия и улучшения сцепления его с подложкой возможны при предварительном нагреве образца до уровня температур, определяемых пределом текучести материала и параметрами плазменного потока.

Возможность очистки поверхности с последующим осаждением платины из газовой фазы, что представляет интерес как с точки зрения поиска альтернативных способов нанесения платинированных покрытий, так и с точки зрения дальнейшего электрохимического наращивания Pt-покрытия.

Эксперименты по воздействию потока высокоэнтальпийной плазмы на поверхность жаропрочных материалов продемонстрировали:

Снижение пористости напыленного с помощью плазмотрона слоя;

Возможность удаления загрязнения перед нанесением покрытий;

Возможность выращивания окислов воздействием потока воздушной или кислородной плазмы

Возможность выращивания окислов в серии циклов прокаливания – обработки потоком плазмы, что позволит сформировать на поверхности очень плотной оксидной пленки, устойчивой к термомеханическим напряжениям;

Глава V посвящена плазменному управлению физико-химическими процессами в сверхзвуковом потоке

Среди основных проблем разработки и создания гиперзвукового летательного аппарата можно выделить две – управление воздухозаборником и управление процессами воспламенения и горения топлива в сверхзвуковой камере сгорания. Для решения первой проблемы в ряде работ предлагается использовать магнитно-гидродинамический способ управления сверхзвуковым набегающим потоком. Для эффективного использования этого способа необходимо существенно повысить проводимость и для ионизации потока предлагалось использовать электронную пушку. До настоящего времени опубликованных экспериментальных результатов нет.

В представленной диссертационной работе в экспериментах, моделирующих полет плоского клина с углом при вершине 30° на высоте 20 км с числом Мах $M=8$, было впервые экспериментально продемонстрирована возможность осуществления управления обтеканием посредством ионизации воздушного потока перед клином электронным пучком при наложении внешнего магнитного поля, поперечного потоку. Впервые была предложена схема электронной пушки, основанная на применении эффекта убегающих электронов в канале прямолинейного сильноточного электрического разряда. Пушка способна генерировать пачки импульсов (более 10 импульсов в пачке) электронного тока с амплитудой в несколько сотен ампер (до 1 кА) с длительностью импульсов порядка нескольких десятков микросекунд при начальном давлении в разрядном промежутке порядка и менее 10 Па. Угловая апертура генерируемого пушкой пучка близка к 180° , что позволяет облучать потоки с сечением порядка 100×100 мм². Работоспособность пушки сохраняется при давлении в разрядном промежутке до 1000 Па, что позволяет инжектировать сильноточный электронный пучок в сверхзвуковой поток.

Наличие пушки, как нового инструмента, позволило развить новые направления исследований.

Экспериментально и расчетно - теоретически показана возможность инициирования сильноточным электронным пучком низкой энергии реакции горения водорода в кислороде при различных концентрациях смеси.

Продемонстрировано инициирование горения широкоапертурным электронным пучком в покоящейся смеси и в сверхзвуковом воздушном потоке струи природного газа.

Продемонстрировано, что облучение таким электронным пучком сверхзвукового потока в модели камеры сгорания способно инициировать горение.

Проведено сравнение двух способов инициирования горения в сверхзвуковом потоке – с помощью объемного воздействия электронным пучком и с помощью воздействия плазменным сгустком, генерируемым рельсотроном. Измерение распределения давления не показало воспламенения природного газа с помощью рельсотрона во всем сечении канала. Наблюдалось локальное повышение давления в каверне и на некотором удалении от нее в расширяющейся части канала.

Актуальность, достоверность и научная значимость полученных результатов сомнений не вызывают. Работа выполнена на высоком научном уровне. Следует отметить вклад автора в развитие экспериментальной техники — разработку и создание дискового МГД-ускорителя плазмы и сильноточной газоразрядной электронной пушки на эффекте «убегающих электронов».

Поздняков Г.А., безусловно, является ведущим специалистом в представленных областях механики жидкости, газа и плазмы. Материалы диссертационной работы достаточно полно опубликованы в рецензируемых центральных научных журналах по списку ВАК соответствующего профиля. Результаты исследований доложены на многочисленных всероссийских и международных конференциях и семинарах.

Диссертация Позднякова Г.А. является законченной научно-исследовательской работой, результаты которой квалифицируются как крупный вклад в научном направлении - МГД преобразования видов энергии. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

Диссертационная работа Поздняков Г.А. «Экспериментальное изучение методов генерации и управления проводящими потоками» соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней п.9, утверждённом постановлением Правительства РФ от 24.09.13 г. №842, а её автор заслуживает присуждения ему степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Ведущий научный сотрудник лаборатории № 4
«Физика быстропротекающих процессов»
ФГБУН Института теоретической и прикладной механики
им.С.А.Христиановича СО РАН
доктор физико-математических наук,
профессор
Кацнельсон Савелий Семёнович

ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики
им.С.А.Христиановича СО РАН
Адрес: 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, д. 4/1,
Телефон: 8 (383) 330-42-75.
e-mail: savelii@itam.nsc.ru
<http://www.itam.nsc.ru/>

Подпись ведущего научного сотрудника
ИТПМ Кацнельсона С.С. заверяю,
ученый секретарь ИТПМ СО РАН

Кратова Юлия Владимировна