

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук Юрченко Ирины Ивановны на диссертационную работу Чаплыгина Алексея Владимировича «Экспериментальное исследование теплообмена пластин в струях высокоэнтальпийных газов высокочастотных индукционных плазмотронов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05. – Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертационная работа Чаплыгина А.В. посвящена исследованию теплообмена пластин под углом атаки в струях высокоэнтальпийных газов высокочастотных индукционных плазмотронов.

Чаплыгин А.В. в процессе своей исследовательской работы затронул тематику, связанную с физикой процессов в высокочастотных индукционных плазмотронах, в том числе с изучением параметров течений плазмы из щелевых сопел с учетом возможного влияния дозвукового течения в щелевом сопле на устойчивость индукционного разряда в плазмотроне.

Автор подошел к решению этой задачи путем экспериментальных исследований, в результате которых накоплены базы данных по режимам плазмотронов и параметрам обтекания струями плазмы, выходящей из щелевых сопел, пластин из материалов с различными каталитическими свойствами, расположенных под различными углами атаки. В настоящее время такие базы данных не могут быть получены с помощью расчетных методов в силу сложности математического моделирования явлений, возникающих при истечении через щелевые сопла закрученного потока плазмы. Актуальность проведенного исследования подтверждается необходимостью определения термостойкости теплозащитных покрытий в космонавтике и авиации в условиях обтекания высокотемпературной плазмой на гиперзвуковых участках полета летательных аппаратов планирующего спуска с обширными боковыми

аэродинамическими поверхностями, что моделируется обтеканием образцов в конфигурации пластины под углом атаки.

Научные положения, выносимые на защиту, базируются на экспериментальных данных, полученных в результате измерений параметров потока плазмы и температур поверхности пластин, которые проведены различными известными способами и показали хорошее согласование.

Первая глава содержит обзор работ различных авторов по исследованию теплообмена пластин и плиток в струях индукционных и электродуговых плазмотронов, представлены характеристики и схемы работы высокочастотных индукционных плазмотронов ИПМех РАН. В ней рассмотрены некоторые особенности режимов работы высокочастотного индукционного плазмотрона и течения плазмы при использовании щелевых сопел. Отмечено, что стендовая база института находится на мировом уровне, а задача моделирования теплового воздействия плазмы на конструкцию является актуальной.

Вторая глава диссертации посвящена изучению некоторых особенностей режимов работы высокочастотных индукционных плазмотронов и параметров течения плазмы при использовании щелевых сопел. Автором были определены области существования разряда используемых плазмотронов в зависимости от мощности анодного питания высокочастотного генератора в плазмотроне и давления в разрядном канале для различных размеров щелевых сопел. Измерено распределение динамических давлений в струях, создаваемых щелевыми соплами при различных параметрах работы установки, оценена скорость потока за выходным сечением щелевого сопла, проведены эксперименты по измерению избыточных давлений на поверхности пластины, обтекаемой под различными углами атаки. Зафиксирована остаточная закрутка потока при выходе из щелевого сопла. С помощью предложенного автором метода визуализации линий тока в течении плазмы посредством вдува в пограничный слой ацетилена или пропана, измерены углы отклонения линий тока, вызванные влиянием закрутки. Показано, что с ростом подводимой мощности угол наклона факелов (а значит, и линий тока) уменьшается, имеет место слабый рост отклонения

линий тока с увеличением давления в барокамере. В результате накоплены данные для выбора оптимальных режимов работы установок ВГУ-4 и ВГУ-3 и конфигурации эксперимента при исследовании теплообмена пластины под углом атаки, которые позволяют подобрать параметры наилучшим образом и уменьшить погрешности в силу отклонения струи от вертикальной оси из-за закрутки потока и ее недостаточной дальности.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию теплообмена в струях высокоэнтальпийных газов высокочастотных индукционных плазмотронов на поверхностях материалов с различными каталитическими свойствами. В результате проведенных экспериментов в дозвуковых струях высокоэнтальпийного воздуха ВЧ-плазмотронов ВГУ-3 и ВГУ-4 исследован теплообмен ряда металлов (меди (Cu), серебра (Ag), тантала (Ta), молибдена (Mo), бериллия (Be), ниобия (Nb), золота (Au)) и кварца высокой химической чистоты (SiO_2). Разработана шкала каталитичности исследованных материалов. Получены данные по тепловым потокам для различных щелевых сопел и различного размера пластин, представляющие собой матрицу возможностей для испытаний на термостойкость теплозащитных материалов различной каталитичности. Показан способ определения температуры нагреваемой в диссоциированном потоке воздуха поверхности образца из теплозащитного материала с низкокаталитическим покрытием с помощью спектральной пирометрии. Проведена оценка интегральной излучательной способности поверхности материала в условиях эксперимента. Зафиксирован эффект сверхравновесного нагрева на стыке материалов с разной степенью каталитичности.

В заключении сформулированы основные положения и выводы по работе, которые в полной мере обоснованы.

Достоверность научных положений, представленных в работе, подтверждается четкой постановкой экспериментов с использованием апробированных методов регистрации с помощью двух и более независимых средств измерений, повторяемостью результатов и всесторонним анализом

научных результатов с привлечением расчетных и экспериментальных данных других авторов.

Научная и практическая значимость работы заключается в развитии возможностей исследований в высокочастотных индукционных плазмотронах при применении полученных автором данных о параметрах течений, которые помогут сократить число промежуточных этапов и обеспечивают требуемую для теплозащиты гиперзвуковых летательных аппаратов нагрузку и температурные режимы для поверхностей с различной степенью каталитичности. В условиях сложности разработки математических моделей обтекания теплозащитных материалов потоком плазмы, генерируемым плазмотроном, полученная автором база данных по параметрам струй и температурам образцов является основой для валидации математических моделей.

Новизна научных положений работы заключается в расширении возможностей ВЧ-плазмотронов ВГУ-3 и ВГУ-4, для которых были определены и обоснованы диапазоны параметров теплообмена и возможные геометрические конфигурации экспериментов для моделей различной формы и габаритов, а также каталитических свойств; в предложенном автором оригинальном методе визуализации течения воздушной плазмы у поверхности пластины под углом атаки, основанном на вдуве в пограничный слой ацетилена или пропана; в реализации метода спектральной пирометрии, позволившем определить температуру нагреваемой поверхности образца из теплозащитного материала с белым низкокatalитическим покрытием, измерение которой традиционными методами оптической пирометрии затруднено; а также в фиксации явления сверхравновесного нагрева пластины в потоке плазмы при скачкообразном изменении каталитических свойств поверхности.

К наиболее существенным научным результатам, полученным лично автором, следует отнести постановку и проведение всех экспериментальных исследований, обработку и анализ их результатов; разработку и применение

новых методов визуализации течения и измерений температуры образцов; фиксацию явления свехравновесного нагрева.

На основе анализа материалов диссертации можно сделать ряд замечаний:

1. Неясным осталось, как оценивалась степень диссоциации рабочего вещества, и проводилась ли оценка его влияния на экспериментальные данные.

2. Как учитывалась при калориметрических измерениях степень черноты поверхности калориметра, которая может вносить дополнительную составляющую в тепловой баланс.

3. Оценивалась ли лучистая компонента теплового воздействия потока плазмы на пластину.

4. На странице 40 в ссылке на результаты пересчета параметров теплообмена в дозвуковой струе диссоциированного воздуха, истекающей из конического сопла, на условия входа затупленного тела в атмосферу Земли не указаны размеры тела, а именно, радиус носка, который определяет скорость изменения давления и скорости в лобовой точке, и, как следствие, тепловой поток.

5. На странице 42 перепутаны обозначения (в) и (г) в тексте надписи к рисунку 2.10.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы, выполненную на высоком научном и техническом уровне.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, отражает основные положения и выводы. Результаты исследований достаточно полно опубликованы в статьях автора и докладывались на научно-технических конференциях.

На основании изложенного следует, что диссертация Чаплыгина А.В. является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение научной задачи получения новых экспериментальных данных фундаментального характера о теплообмене сложных пространственных течений диссоциированных газов с плоскими поверхностями, обладающими различными каталитическими свойствами, имеющей существенное значение для развития авиационно-космической отрасли страны.

Работа отвечает требованиям ВАК РФ, установленным Положением о присуждении ученых степеней (п. 9), утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842, к кандидатским диссертациям, а ее автор Чаплыгин Алексей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности “Механика жидкости, газа и плазмы” (01.02.05).

Я, Юрченко Ирина Ивановна, даю согласие на обработку своих персональных данных.

Главный научный сотрудник
Акционерного общества
«Государственный научный центр
Российской Федерации -
«Исследовательский центр имени М.В.
Келдыша»,
доктор технических наук
по специальности 05.07.01
 (“Аэродинамика и процессы теплообмена
летательных аппаратов”) и 05.07.07
 (“Контроль и испытания летательных
аппаратов и их систем”)
14.09.2021 г.


Юрченко
Ирина Ивановна

Почтовый адрес: ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438
Контактный телефон: (495) 456-64-85
Адрес электронной почты: kudinov@kerc.msk.ru

Подпись Юрченко И.И. удостоверяю:
заместитель генерального директора по
кадрам
АО ГНЦ «Центр Келдыша»



Михеев
Сергей Николаевич

Почтовый адрес: ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438
Контактный телефон: (495) 456-61-56
Адрес электронной почты: kerc@elnet.msk.ru
14.09.2021 г.