

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН Института
теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН,
доктор физико-математических наук,
чл.-корр. РАН _____ А.Н. Шиплюк
« 26 » _____ мая _____ 2017г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук по диссертации «Экспериментальные исследования ускорения и нагрева частиц в двухфазных потоках, создаваемых коаксиальными соплами при лазерной наплавке и плазменном напылении» Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН.

В период подготовки диссертации соискатель Сергачев Дмитрий Викторович работала в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук в лаборатории № 9 «Физики плазменнодуговых и лазерных процессов» в должности младшего научного сотрудника.

В 2012 г. окончил физический факультет Новосибирского Государственного Университета по направлению «физика», специализация – «физическая механика жидкости и газа». В 2015г. окончил аспирантуру Новосибирского Государственного Университета по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2015 г. Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

Научный руководитель: Ковалев Олег Борисович, доктор физико-механических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией № 9 «Физики плазменнодуговых и лазерных процессов» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Диссертация посвящена диагностике и экспериментальным исследованиям термодинамических и кинематических характеристик высокоэнтальпийных двухфазных струйных течений, создаваемых коаксиальными соплами, которые используются в аддитивных лазерных и плазменных технологиях получения изделий и покрытий с особыми свойствами.

2. Актуальность темы. Двухфазные течения широко распространены в природе и технике. Особый интерес вызывает поведение частиц конденсированной фазы в газовой среде при наличии концентрированных источников энергии таких, как лазерное излучение и низкотемпературная плазма. Многообразие процессов при этом протекающих и не достаточная их изученность сдерживает систематическое развитие областей техники, где такие источники играют ключевую роль. Одной из главных проблем при нанесении порошковых материалов с использованием лазерных и плазменных источников энергии является управление темпами нагрева и ускорения частиц. Для совершенствования и оптимизации струйных режимов подачи порошка, и получения покрытий с новыми свойствами требуется глубокое понимание процессов и явлений, которые имеют место при воздействии на материалы лазерных и плазменных источников энергии.

Лабораторное моделирование с применением современных средств диагностики и регистрации двухфазных потоков и процессов, сопутствующих действию концентрированных источников энергии на конденсированную фазу при ее транспортировке и нанесении является особенно актуально при получении покрытий или изготовлении изделий из порошка, что является приоритетной задачей в аддитивных лазерных и плазменных технологиях.

3. Научная новизна работы.

Одной из главных проблем нанесения порошкообразных материалов является определение кинематических и теплофизических параметров частиц в струйном газодисперсном потоке, по которым можно прогнозировать свойства и управлять качеством получаемого покрытия. Для измерения параметров частиц и изучения особенностей воздействия на материалы лазерных и плазменных источников энергии, автором диссертации модифицирован и усовершенствован ранее разработанный в ИТПМ СО РАН (в работах Солоненко О.П., Михальченко А.А. и Картаева Е.В.) диагностический комплекс для регистрации скорости и температуры частиц конденсированной фазы в плазменных газодисперсных потоках.

Новыми научными результатами диссертационной работы являются:

1. Усовершенствована аппаратная схема диагностики параметров конденсированной фазы в двухфазных потоках в условиях лазерного и плазменного воздействия, которая основана на использовании времяпролетного метода измерения скорости с двухлучевой лазерной подсветкой и метода трехцветовой пирометрии в приближении серого тела. В отличие от известных аналогов диагностических комплексов, которые строились с использованием дихроичных зеркал, предложена монохроматорная схема и разработан прибор с использованием вогнутой дифракционной решетки, который позволяет увеличить количество длин волн для измерения цветовой температуры частиц без увеличения его габаритов и усложнения оптической схемы, что дает возможность повысить точность измерения. Наличие вогнутой дифракционной решетки позволяет отказаться от использования рассеивающей и собирающей линзы для построения изображения частицы на приемнике излучения ФЭУ.

2. С помощью разработанного прибора впервые проведены одновременные измерения температуры и скорости частиц порошков (со средними размерами: Mo – 45 мкм, Ni – 100 мкм, Al – 50 мкм, Al₂O₃ – 34 мкм) в несущем газовом потоке под действием постоянного (с мощностью до 2,5 кВт) и импульсного (с частотой 60 кГц и мощностью в импульсе 117 кВт) СО₂-лазерного излучения. Зарегистрированы эффекты лазерного (за счет давления отдачи паров) ускорения частиц, которые зависят от теплофизических свойств материалов и характеристик излучения. Благодаря одновременным измерениям температуры и скорости частиц, удалось экспериментально подтвердить ранее предсказанные (в теоретических работах С.И. Анисимова) режимы лазерного испарения материалов: «медленного» (при интенсивности в пучке меньше порогового значения $I < I_p$) и «быстрого» (при интенсивности в пучке выше порогового значения $I > I_p$), которые легли в основу разработанной модели ускорения частиц в световом поле лазера.

3. С помощью разработанного прибора получены количественные оценки эффективности проплавления частиц порошка оксида алюминия Al₂O₃, вводимых коаксиально в поток воздушной плазмы, создаваемой плазмотроном мощностью 50 кВт, что позволило усовершенствовать геометрию коаксиального сопла и впервые получить высокоплотные корундовые покрытия с пористостью не превышающей 1%.

4. Достоверность результатов подтверждена сравнением с результатами численного моделирования, анализом погрешности измерения, а также

повторяемостью результатов при использовании единой методики измерений и сопоставлением данных, полученных другими независимыми экспериментальными методами.

5. Научная и практическая значимость работы. Разработанная и использованная автором приборная схема оптической диагностики позволяет измерять высокотемпературную динамику частиц в диапазоне от 1800 до 4000 К и регистрировать изменение скорости от 1 до 800 м/сек для порошкообразных материалов из металлов и керамики с широким спектром теплофизических свойств, используемых в лазерных и плазменных аддитивных технологиях.

На основе проведенных экспериментальных исследований разработан плазмотрон с узлом радиально-кольцевого ввода порошка, с помощью которого удалось существенно повысить эффективность плазменного напыления за счет повышения до 98% коэффициента проплавления порошка в плазменном потоке. Таким плазмотроном оснащена разработанная в ИТПМ СО РАН установка «Термоплазма 50-01», которая внедрена на ряде промышленных предприятий России.

6. Личный вклад автора. Автор лично принимал участия на всех этапах работы, как при разработке оптического прибора, так и при подготовке и проведении экспериментов, где отвечал за функционирование оптического диагностического комплекса, обработку и интерпретацию результатов. Самостоятельно разработал систему автоматизированной обработки данных, и принимал участие в написании статей и докладов на конференции.

7. Автором представляется к защите:

Модернизация и приборная реализация оптической схемы диагностики ориентированной для исследования особенностей транспорта порошкообразных материалов и количественной оценки степени термической обработки частиц в двухфазных потоках в присутствии концентрированных источников энергии: сопутствующего лазерного излучения и низкотемпературной воздушной плазменной струи.

Результаты измерения кинематических и термодинамических параметров частиц порошков из металлов и керамики: молибдена Mo, никеля Ni, алюминия Al, оксида алюминия Al₂O₃, с размерами от 28 до 150 мкм, транспортируемых в струйном потоке

газа, создаваемого коаксиальными соплами в присутствии излучения CO₂-лазера до 3 кВт мощности с длиной волны излучения 10,6 мкм, и действующего в непрерывном и импульсном режимах.

Результаты измерения скорости и температуры напыляемого порошка корунда Al₂O₃ (размеры частиц 24-40, 40-63, 63-80, 80-100 мкм) в двухфазных потоках, создаваемых плазмотроном мощностью от 35 до 60 кВт, с КПД 55-64% и расходом плазмообразующего воздуха 1.2 г/с, подаваемого через коаксиальное сопло, и отличающиеся тем, что измерения коэффициента проплавления проведены с учетом статистики частиц, интенсивность излучения которых ниже порога чувствительности ФЭУ.

Апробация работы проведена в российских журналах “Теплофизика и аэромеханика”; “Известия вузов: физика”; “ДАН: химические технологии”; “Известия ТулГУ: технические науки”. Основные результаты диссертационной работы докладывались на российских и международных конференциях. В том числе на международных конференциях LANE-2014 (Германия, Фюрт, 2014), EFRE (Томск, 2014), XIII Азиатском симпозиуме по визуализации ASV13 (Новосибирск, 2015). А так же – на X Всероссийской конференции молодых ученых, «Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии» (Новосибирск, 2014), на V, VI Всероссийских конференциях «Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине» (Новосибирск, 2013 и 2015).

8. Публикации. Основные результаты диссертации представлены в 14 печатных работах, 5 из которых находятся в списке ВАК РФ.

1. Михальченко А.А., Кузьмин В.И., Сергачев Д.В., Картаев Е.В., Иванчик С.Н., Иванчик И.С. Исследования динамики нагрева и ускорения частиц Al₂O₃ в осесимметричном гетерогенном потоке плазмотрона с межэлектродными вставками (МЭВ) // Теплофизика и аэромеханика, Том 21, №4, 2014, сс. 537-549.
2. В.И. Кузьмин, А.А. Михальченко, Д.В. Сергачев, Е.В. Картаев. Экспериментальное исследование нагрева и ускорения частиц Al₂O₃ в потоке термической плазмы при распределенном вводе порошка // Изв. вузов. Физика. – 2014. - No 3/3. – С. 203-206.

3. Сергачев Д.В., Кузьмин В.И., Картаев Е.В., Наливайко В.И. Лазерно-оптическая диагностика частиц в технологиях плазменного напыления и лазерной наплавки // Изв. вузов. Физика. 2014. №10/3 (57), сс. 254-258.
4. Швейкин Г.П., Руденка Н.А., Соколова Н.В., Кузьмин В.И., Картаев Е.В., Сергачев Д.В. Сверхзвуковая плазма и износостойкие покрытия из никелевых сплавов // ДАН: химическая технология, 2015, том 463, № 3, с.309-312.
5. Сергачев Д.В., Картаев Е.В., Ковалев О.Б., Кузьмин В.И. Применение лазерно-оптической диагностики для исследования аддитивных технологий // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. Вып. 6. Ч. 2. С.252-262.

Учитывая вышеизложенное, постановили:

Диссертация Сергачева Д.В. «Экспериментальные исследования ускорения и нагрева частиц в двухфазных потоках, создаваемых коаксиальными соплами при лазерной наплавке и плазменном напылении» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Опубликованные по теме диссертации научные работы отражают ее содержание.

Диссертация «Экспериментальные исследования ускорения и нагрева частиц в двухфазных потоках, создаваемых коаксиальными соплами при лазерной наплавке и плазменном напылении» Сергачева Дмитрия Викторовича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05. – механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение принято на заседании семинара «Теоретическая и прикладная механика» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук. На заседании присутствовали: чл.-корр. РАН Шиплюк А.Н., академик РАН Фомин В.М., д.ф.-м.н. Гапонов С.А., д.т.н. Лебига В.А., к.ф.-м.н. Краус Е.И., д.т.н. Баев В.К., д.ф.-м.н. Ковалев О.Б., д.ф.-м.н. Федоров А.В., и другие, всего 10 сотрудников с учёной степенью. Результаты голосования: "за" – 10 чел., "против" – 0 чел., "воздержалось" – 0 чел., протокол № 34 от 17 февраля 2017 г.

Председатель семинара

Акад. РАН

В. М. Фомин

Секретарь семинара

к.ф.-м.н.

Е.И. Головнева