анализ движения оптических неоднородностей  
 с целью измерения скорости затопленных плазменных струй

Чиннов В.Ф., Горячев С.В., Хромов М.А., Мордынский А.В., Саргсян М.А.

Объединенный Институт Высоких Температур Российской Академии Наук, Москва, Россия, [m.khromov.work@gmail.com](mailto:m.khromov.work@gmail.com)

Широкое применение низкотемпературных затопленных плазменных потоков в научных исследованиях и технологиях вызывает потребность определения одной из основных характеристик течения плазмы – ее скорости. Применение развитых в гидродинамике методов определения скорости течений в экспериментах, где объектом исследования являются плазменные потоки, встречает трудности, обусловленные высокой температурой плазменной среды *Т*=5000÷20000К. Контактные (зондовые) методы определения скорости [1] требуют проведения дополнительных измерений температуры плазмы и оснащения помещаемых в поток датчиков системами охлаждения, что увеличивает возмущающее действие на поток, а также обладают большой погрешностью в случае малой скорости потока. Бесконтактные методы, основанные на определении перемещения засеиваемых в поток микрочастиц [2], зачастую недоступны в лабораторных условиях ввиду сложности применения и дороговизны.

Нами предлагается способ определения скорости затопленных плазменных струй, в котором источником частиц-маркеров является аблирующая (или испаряющаяся) под воздействием плазмы поверхность стержня из тугоплавкого материала малого диаметра, устанавливаемого поперек плазменного потока в плоскости его диаметрального сечения. Перемещение продуктов абляции может быть зарегистрировано высокоскоростными видеокамерами, что позволит определить локальные значения скорости плазменной струи. Высокая температура плазмы при таком подходе является благоприятным, а не проблемным фактором, как в зондовых методах. Способ позволяет построить пространственные распределения скорости потока, являясь при этом наименее затратным по сравнению с другими бесконтактными методами.

С целью реализации метода нами создан экспериментальный стенд, включающий электродуговой плазмотрон, генерирующий поток азотной плазмы с температурой *Т*≈12000 К в выходном сечении сопла-анода, электромагнитный привод, подающий графитовый стержень с диаметром *d*rod=0.7 мм в плазменный поток, и высокоскоростную камеру, регистрирующую область распространения плазменной струи протяженностью в несколько калибров с частотой кадров υ≤5·104 с-1, в масштабе M=1:5 и пространственным разрешением 170 мкм/пиксел. В процессе апробации метода установлено, что продукты абляции имеют характерный размер *d*p≤10 мкм. Время динамической релаксации таких частиц в потоке плазмы азота составляет τ≤10 мкс, поэтому можно утверждать, что они хорошо увлекаются потоком. Частицы материала стержня образуют долгоживущие светящиеся сгустки (оптические неоднородности) с контрастными границами. Для анализа перемещения границ сгустков нами был разработан и реализован алгоритм распознавания и покадрового сравнения границ оптических неоднородностей с применением фильтров, образованных совокупностями критериев геометрического подобия сравниваемых объектов на каждой паре кадров. Результатом работы программы являются значения локальной скорости перемещения оптических неоднородностей, что позволяет построить поле продольной составляющей скорости плазменного потока. Работа выполняется при частичной поддержке РФФИ по проекту №17-08-00816.

Литература.

1. Каренгин А.Г. Плазменные технологии переработки веществ.- 2008.
2. Дубнищев Ю. Н. и др. Оптические методы исследования потоков. – Directmedia, 2013.