

КОНВЕКЦИОННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ДВИЖЕНИЕМ ЗАРЯЖЕННЫХ МАКРОЧАСТИЦ В ПОТОКЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ

И.И. Файрушин, А.Р. Шамсутдинов, И.Г. Даутов
Казанский (Приволжский) федеральный университет

fairushin_ilnaz@mail.ru

Аннотация. Проведено исследование электрического разряда в потоке термической пылевой плазмы с частицами оксида алюминия. Показано, что наличие заряженных пылевых частиц оксида алюминия вызывает конвективный электрический ток в направлении движения потока плазмы. Установлено, что частицы несут некоторый положительный заряд.

Смеси твердых или жидких макрочастиц с газами или плазмой широко распространены в природе и используются во многих процессах. В продуктах сгорания различных топлив содержатся мелкие твердые частицы. В МГД-генераторах, плазматронах, ионно-плазменных аппаратах различного назначения плазма содержит различные твердые нагретые частицы. В процессах нанесения антикоррозионных, износостойких, изолирующих и многих других функциональных покрытий на поверхности деталей в поток вводится порошок различных составов. На заряженные частицы в плазменной струе при напылении, а также на частицы и электроны пылевой плазмы, возникающей в процессе горения топлива в двигателях, можно влиять внешним электрическим полем. Это позволяет управлять процессом горения и повышать эффективность работы двигателей.

В связи с вышеизложенным исследование электрического разряда в пылевой плазме становится актуальной задачей.

Эксперименты проводились на экспериментальной установке (принципиальная схема на рис. 1). Ее основными частями являются вольфрамовые электроды 1 и 2, установленные на подвижных платформах 3 и 4. Эксперименты проводились при межэлектродном расстоянии $l = 20$ мм, электродам 1 и 2 специально придавалась форма капли для лучшего обтекания потоком этих электродов. Максимальный диаметр электродов был равен 8 мм, их длина 24 мм. Подвижные платформы служат для регулирования положения электродов 1 и 2 и закрепления подводящих проводов. Они выполнены из керамического изолятора.

Дозатор 8 изготовлен из стеклянного конуса и закреплён на электромагнитном вибраторе 7. Был изготовлен набор конусов с отверстиями, откалиброванными под различные расходы порошков. Фракции отбирались просеиванием через входное сито с диаметром ячеек 0.063 мм и выходное сито с диаметром ячеек 0.04 мм. Плавное изменение расхода порошка достигалось изменением напряжения на вибраторе через потенциометр 9. Напряжение контролировалось с помощью вольтметра Д-566, который подключен к выходу потенциометра.

Горелка 5 с внутренним диаметром сопла 1 мм, служит для получения потока продуктов сгорания пропана в кислороде, имеет подводы от баллонов с пропаном 10 и кислородом 11. Расход газов регулировался по показаниям манометров редукторов (для пропана 12, для кислорода 13) и ротаметров 14 и 15 соответственно. Температура измерялась платино-родиевой термопарой 16, соединённой с милливольтметром 6, кл. точности 1.0 с пределом измерения 0–20 мВ; напряжение разряда – вольтметром 18, кл. точности 2.5, с пределом измерения 0–600 В; сила тока разряда – с помощью микроамперметра 17 типа М2000, класс точности 0,5; цена деления 1 мкА. Разрядное напряжение поддерживалось источником питания 19. Координатное устройство 20 позволяет обеспечивать перемещение зонда и термопары вдоль разрядного промежутка с шагом 1 мм.

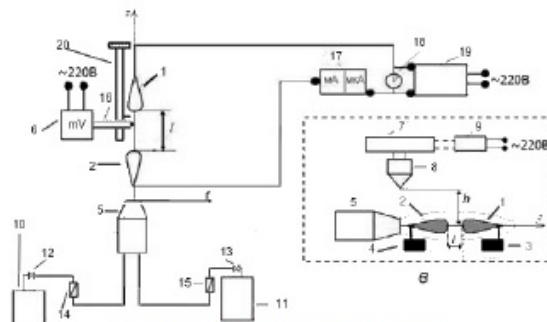


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

При подаче порошка в поток продуктов сгорания газовой смеси образовывалась пылевая плазма. Электрический разряд заигался между электродами 1 и 2. При прямой полярности подключения электродов электрод 1 служил катодом, электрод 2 – анодом. При обратной полярности электрод 1 служил анодом, а электрод 2 – катодом.

Выходное сечение дозатора располагалось на высоте $h = 30$ мм от оси потока. Температура плазмы на оси потока на расстоянии 1 мм от электрода 1 регулировалась от 1500° до 1900° К через 100° К путем изменения расхода кислорода в горелке. При этом расход пропана оставался постоянным и равным $0,024$ г/с.

На рис. 2 изображено распределение напряженности электрического поля у поверхности конденсированной частицы оксида алюминия в потоке пыли-электронной термической плазмы.

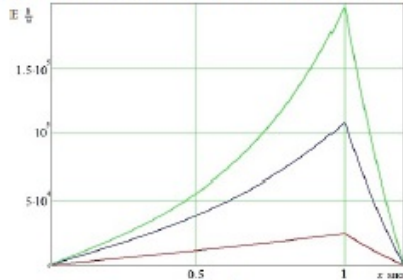


Рис. 2

Как видно из рисунка, на некотором расстоянии от поверхности конденсированной частицы, внешнее электрическое поле становится сильнее поля, связывающего электроны с частицей, в результате чего, они могут свободно перемещаться под действием внешнего поля. «отрыв» электронов приводит к ионизации частицы, она приобретает некоторый положительный заряд [1]. Двигаясь в потоке плазмы, ионизированные пылевые частицы переносят заряд между электродами. Это видно на вольт-амперных характеристиках разряда. Перенос заряда, осуществляемый за счёт переноса заряженных макроскопических тел, называется конвекционным электрическим током.

На рисунках 3 и 4 представлены вольт-амперные характеристики потока пылевой плазмы с частицами оксида алюминия при различных полярностях, т. е. направлении электрического поля в плазме либо совпадало с направлением её движения (прямая полярность), либо было противоположно направленным (обратная полярность) с расходом порошка $4,8$ мг/с.

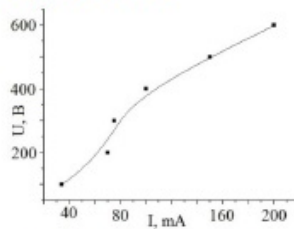


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика потока пылевой плазмы с частицами Al_2O_3 с расходом порошка $4,8$ мг/с. Прямая полярность

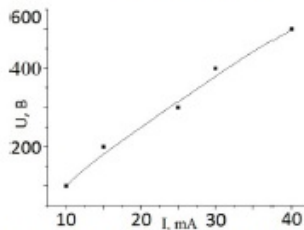


Рис. 4. Вольт-амперная характеристика потока пылевой плазмы с частицами Al_2O_3 с расходом порошка $4,8$ мг/с. Обратная полярность

Из графиков видно, что полярность серьёзно влияет на значения электрического тока в плазме. Разницу между значениями тока можно объяснить наличием в плазме положительно заряженных пылевых частиц, которые являются переносчиками заряда. Следовательно, разность между значениями тока при разных

полярностях и одинаковом напряжении является конвекционной составляющей электрического тока в плазме.

На рисунках 5 и 6 представлены вольт-амперные характеристики потока пылевой плазмы с частицами оксида алюминия (расход порошка 2,4 мкг/с). Как видно из рисунков, при уменьшении расхода порошка в плазме, при одинаковых напряжениях, значение силы электрического тока заметно уменьшается, что можно также объяснить наличием в пылевой плазме конвекционного тока, где носителями заряда выступают частицы оксида алюминия. Следовательно, с уменьшением концентрации носителей заряда, значения тока тоже будут уменьшаться.

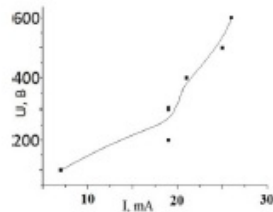


Рис. 5. Вольт-амперная характеристика электрического разряда в пылевой плазме с частицами Al_2O_3 с расходом порошка 24-10-7кг/с. Прямая полярность

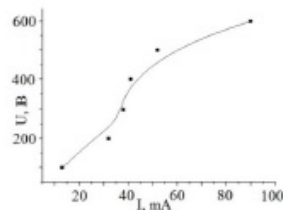


Рис. 6. Вольт-амперная характеристика электрического разряда в пылевой плазме с частицами Al_2O_3 с расходом порошка 24-10-7кг/с. Обратная полярность

Литература

1. Fayrushin I., Dautov I., Shamsutdinov A. // *J. of Physics: Conference Series*. 2014. V. 567. 012007.
2. Dautov G., Fayrushin I., Kashapov N. // *J. of Physics: Conference Series*. 2014. V. 567. 012006.
3. Dautov G., Fayrushin I., Kashapov N., Dautov I. // *J. of Physics: Conference Series*. 2014. V. 567. 012005.
4. *Complex and Dusty Plasmas*, edited by V.E. Fortov and G.E. Morfill (CRC Press, Boca Raton, FL, 2010).
5. Vishnyakov V.I. // *Phys. Rev. E* 85. 2012. 026402.
6. Vishnyakov V.I., Dragan G.S. // *Phys. Rev. E* 73. 2006. 026403.
7. Vishnyakov V.I., Dragan G.S., Evtuhov V.M. // *Phys. Rev. E* 76. 2007. 036402.
8. Smirnov R.D., Pigarov A.Y., Rosenberg M., Krasheninnikov S.I., Mendis D.A. // *Plasma Phys. Controlled Fusion*. 2007. V. 49. 347.
9. Vaverka J., Richteroová I., Vyšínka M., Pavlí J., Šafránková J., Němeček Z. // *Plasma Phys. Controlled Fusion*. 2014. V. 56. 025001.