

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЦ КДФ В КАТОДНОЙ СТРУЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

Багино Д.В., Золотовский А.И., Смягликов И.П., Шиманович В.Д.

*Институт молекулярной и атомной физики АНБ
220072, Минск, пр. Ф.Скарины, 70, Беларусь
E-mail: imafbel%bas05.basnet.minsk.by@demos.su*

Abstract. The size and velocity distribution functions of particles in cathode plasma flow of argon arc was determined by methods of laser diffraction scattering and speed camera of their radiation.

Введение

С увеличением температуры $T_k(t)$ в зоне контакта нагретой частицы с поверхностью изделия возрастают однородность и адгезия покрытий, получаемых при плазменном напылении порошковыми материалами (Кудинов и др., 1992; Жуков и Солоненко, 1990). Значительное увеличение $T_k(t)$ по сравнению с существующими устройствами может быть достигнуто при нагреве напыляемых частиц плазмой приэлектродных областей дуги, особенно прикатодной, где температура плазмы может достигать 20000 К (Azharonok et al., 1987; Haidar and Farmer, 1993).

В настоящей работе рассматривается поведение частиц КДФ в катодном плазменном потоке дуги ($i=200$ А, $U=25$ В, длина дуги $L=10$ мм, плазмообразующий и транспортирующий газ - аргон). Методами дифракционного рассеяния лазерного излучения на частицах в сочетании со скоростной киносъемкой их излучения определены функции распределения частиц по размерам и скоростям.

Эксперимент

Схема экспериментального стенда приведена на Рис.1. Водоохлаждаемый катодный узел содержит вольфрамовый стержневой катод и сопло для подачи плазмообразующего газа и частиц порошка (бронза БрОФ-10 (90% Cu + 10% Sn), средний размер 90 мкм). Конструкция сопла обеспечивает локальную подачу порошка узким потоком до 2 мм в зону, наиболее близкую к катоду без налипания частиц порошка на поверхность катода и стенок сопла.

На цветных фотографиях дуги с частицами их треки имеют зеленый цвет. Спектральные исследования показали, что в зеленой области на спектр излучения гомогенного потока (без частиц) накладываются интенсивные линии атомов меди CuI 510.5, 515.3, 521.8 нм. Это указывает на то, что частица в плазменном потоке окружена оболочкой сильно излучающего пара материала частицы. Таким образом, регистрация изображения частицы возможна только в спектральной области, свободной от сильных линий атомов меди. Как показали эксперименты, этого условия недостаточно: для изучаемого гетерогенного плазменного потока (ГПП) яркость поверхности частицы меньше

интегральной во времени яркости плазмы прикатодной области. Определенные результаты в визуализации частиц по их собственному излучению, по-видимому, могут быть достигнуты только при регистрации излучения ГПП с временным разрешением.

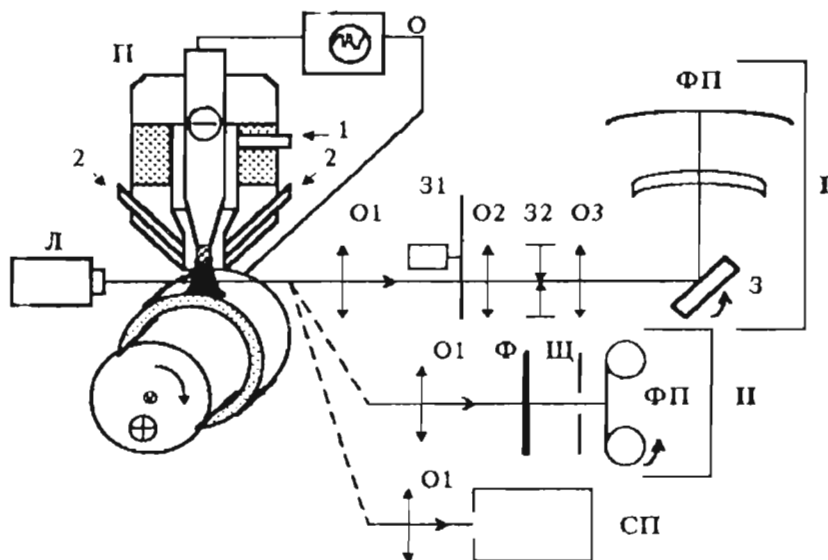


Рис.1. Экспериментальный стенд для изучения поведения частиц КДФ в катодной струе дуги. П- плазматрон (1-ввод плазмообразующего газа, 2- ввод транспортирующего газа и порошка); О- осциллограф; Л- лазер; O1, O2, O3- объективы; 31, 32- затворы; Ф- фильтр; Щ- щель; ФП- фотошленка; I- ВФУ-1; II- СКС-1М; СП- спектрограф.

В режиме непрерывной фоторегистрации с временным разрешением 50 мкс были получены изображения излучающих плазменных оболочек частиц в виде отдельных треков. По их наклону к направлению временной развертки были определены скорости частиц, величины которых соответствовали диапазону 4-10 м/с. Оцененный по ширине треков размер КДФ значительно превышал средний размер подаваемых в распылитель частиц. В тоже время, сопоставление количества регистрируемых треков с расчетным количеством вводимых в плазму частиц показывает, что увеличение размеров частиц вследствие коагуляции (прилипания друг к другу) будет незначительно. Следовательно, основной причиной уширения треков является существование вокруг движущейся частицы светящейся паровой оболочки.

Изучение структуры плазменной оболочки частиц проводилось с использованием скоростной киносъемки камерой ВФУ-1 с разрешением 1 мкс (Рис.1, I). Для устранения переналожения изображений при регистрации стационарного потока, одновременно с установленным в камере затвором 32 использовался более скоростной затвор 31 с временем срабатывания порядка 1 мс. Оптическая схема обеспечивала пятикратное

увеличение, чего было достаточно для визуализации частицы $d_p = 50$ мкм. На Рис.2а приведены отдельные кадры киносъемки. Видно, что излучающие оболочки частиц имеют вытянутую форму в направлении движения плазменного потока (к аноду). Средний поперечный размер оболочки составляет 0,5-1 мм, что на порядок превышает начальный размер подаваемых в плазму частиц.

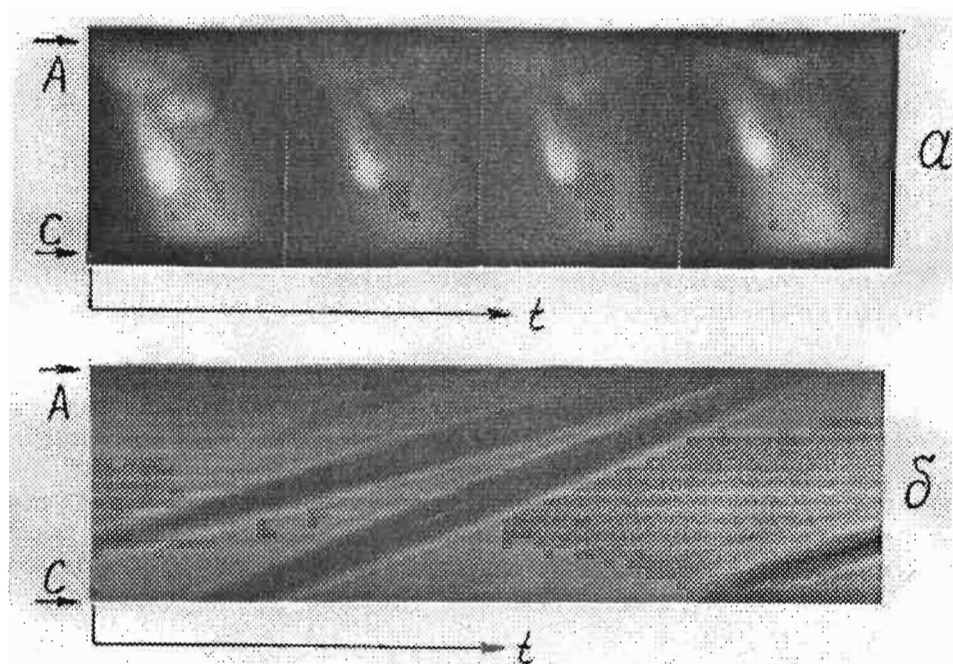


Рис.2. Скоростная киносъемка излучения частиц (а) (время экспозиции кадра 1 мкс, расстояние между кадрами 50 мкс) и непрерывная регистрация дифракционного изображения частиц (б). Стрелками А и С указаны положение анода и среза катодного сопла соответственно.

В связи с выше изложенным, основные определения параметров частиц КДФ были проведены путем наблюдения непрерывных разверток дифракционных изображений отдельных частиц, (Рис.1, II). Трек на пленке образовывался вследствие затенения частицей лазерного пучка и имеет вид чередующихся светлых и темных полос, расположенных симметрично центральной светлой полосе (Рис.2б). Размер частицы восстанавливался по расстоянию между первыми максимумами вне геометрической тени частицы. Градуировка измерительной системы осуществлялась по дифракционным изображениям препятствий известных размеров в диапазоне 50-200 мкм. С применением данной методики были рассчитаны значения скоростей и размеров нагретых частиц по длине дугового канала и холодных частиц в газовой струе (Рис.3). Относительная погрешность определения скорости и размера отдельной частицы не превышала 3 и 15% соответственно.

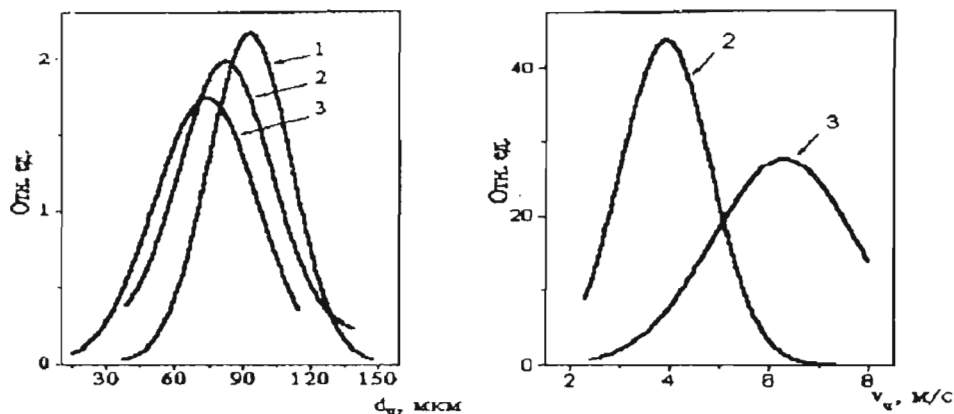


Рис.3. Распределение частиц КДФ по размерам и скоростям.
 1- газовая струя $L=5$ мм; 2 и 3- плазменная струя $L=5$ и 9 мм.

Обсуждение результатов

Время нахождения частицы в канале дуги по данным скоростных исследований не превышает 2 мс. Если предположить, что в течение этого времени температура поверхности частицы не превышает 2400 К, то диаметр частицы должен уменьшиться из-за испарения в соответствии с Буткевич и др. (1978) не более чем на 7 мкм. Таким образом, регистрируемое в эксперименте изменение диаметра $\Delta d=20$ мкм не может быть обусловлено только испарением. По-видимому, значительный унос массы происходит вследствие сдува потоком плазмы субмикронных капелек с расплавленной поверхности частицы. Это предположение согласуется с вытянутой в сторону анода контрагированной формой оболочки вокруг частицы.

Предложенный метод визуализации частиц, основанный на непрерывной фоторегистрации их дифракционных изображений, является перспективным для определения параметров частиц в гетерогенных плазменных потоках. Основным достоинством его является возможность проведения исследований абляции частиц в потоке.

Литература

Azharonok V.V., Zolotovskiy A.I., Lizunkov G.P., Shimanovich V.D. ISPC-8. Tokyo, 1987, P.1906-1911.
 Haidar J., Farmer A.J.D. J.Phys.D: Appl. Phys. 26 (1993) 1224-1229.
 Буткевич Г.В., Белкин Г.С., Ведешенков Н.А., Жаворонков М.А. Электрическая эрозия сильноточных контактов и электродов. М., 1978.
 Жуков М.Ф., Солоненко О.П. Высокотемпературные запыленные струи в процессах обработки порошковых материалов. Новосибирск. 1990.
 Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. Москва. "Металлургия". 1992.