

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕТРОГРАДНОГО ДВИЖЕНИЯ КАТОДНОГО ПЯТНА ВАКУУМНОЙ ДУГИ

Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Согласно существующим физическим представлениям, причиной ретроградного движения катодного пятна во внешнем магнитном поле является «асимметрия магнитного поля» - суммирование внешнего и собственного магнитных полей с одной стороны пятна и их вычитание с другой [1]. Такая асимметрия приводит к движению пятна в направлении максимума индукции магнитного поля. Однако влияние на движение катодного пятна ионизационных процессов в около катодном пространстве, неравномерности прогрева этого пространства и подвижность самой плазменной струи придает случайный характер этому движению по поверхности эрозии. Движение пятна (возникновение нового эмиссионного центра взамен отмирающего) происходит по прямой линии скачкообразно. Расстояние, на которое перемещается катодное пятно и направление движения, являются случайными величинами. Методика расчета траектории движения катодного пятна в отсутствие внешнего магнитного поля приведена в [2].

Цель данной работы – представить разработанный алгоритм и результаты расчета траектории движения единичного катодного пятна вакуумной дуги во внешнем тангенциальном магнитном поле.

Расчет реализован в среде MATLAB с последующей визуализацией результатов расчета. Расчетная схема представлена на рисунке 1. Плоскость рисунка соответствует эродирующей поверхности катода. Вектор силы тока (I) перпендикулярен, а вектор магнитной индукции (B_e) параллелен этой плоскости. Движение пятна идет в направлении перпендикулярном вектору B_e . Новый центр эмиссии наиболее вероятно создаётся на бруствере катодного пятна, однако внешнее тангенциальное магнитное поле препятствует движению пятна в направлении перпендикулярном действующей силы. Угол отклонения от направления движения сильно зависит от величины внешнего магнитного поля:

$$\alpha = \frac{\mu \cdot \pi - \frac{\pi}{2}}{d} = \frac{\pi}{d} \cdot \left(\mu - \frac{1}{2} \right),$$

где d - положительная константа, зависящая от

величины внешнего магнитного поля. За ось отсчета угла берется ось, совпадающая с направлением вектора B_e .

Зная угловую координату при заданном значении внешнего тангенциального магнитного поля можно вычислить угловую координату для нового значения внешнего магнитного тангенциального поля:

$$\alpha_2 = \alpha_1 \cdot \left(\frac{B_{e2}}{B_{e1}} \right)^b,$$

где b – константа, зависящая от тока разряда.



Рисунок - 1 расчетная схема. Поверхность эрозии лежит в плоскости рисунка

Разработана программа расчета случайного направления движения катодного пятна (угол α) в интервале $\pm 90^\circ$ от направления движения катодного пятна и расчета расстояния, на которое переместится пятно на каждом шаге (dr).

Результат расчета представлен на рисунке 2. По горизонтальной оси – угол α в радианах, по вертикальной оси величина dr в метрах.

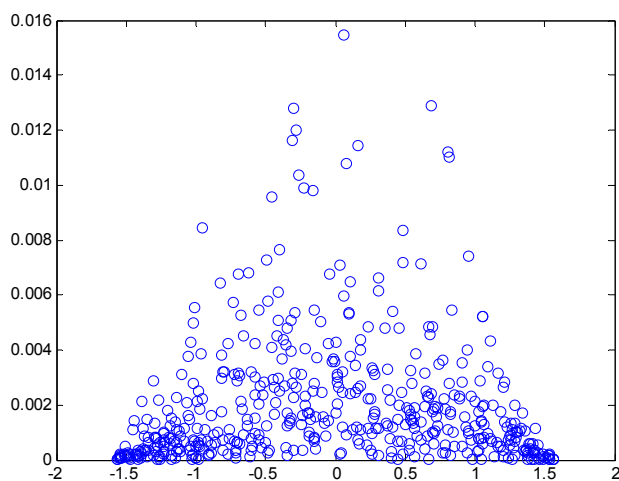


Рисунок – 2 Значение угловой и векторной координаты нового эмиссионного центра.

Выводы. Разработана методика расчета траектории движения катодного пятна электрической дуги во внешнем тангенциальном магнитном поле, что позволяет определять оптимальную конфигурацию внешнего магнитного поля с целью получения требуемой траектории движения и скорости перемещения катодного пятна с целью обеспечить увеличение равномерности испарения поверхности катода-мишени и уменьшения доли капельной фазы в плазменном потоке.

1. Бобров Ю.К., Быстров В.П., Рухадзе А.А. О физической модели обратного движения катодного пятна//Журнал технической физики.- 2006.- том 76.- вып. 5.- С. 35 – 41

2. Иванов И.А. Применение стохастического моделирования к расчету траектории движения катодного пятна электрической дуги// Информационные технологии в образовании, науке и производстве: V Международная научно-техническая интернет-конференция, ноябрь 2017г. [Электронный ресурс]. - <http://www.bntu.by/images/stories/mido/ntik5/ivanov1.pdf>, 2017.