Динамика развития катодных пятен на рабочей поверхности протяженного катода

Д.К. Кострин1, А.А. Лисенков2

1Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,
 г. Санкт-Петербург, Россия, dkkostrin@mail.ru
2Институт проблем машиноведения Российской академии наук, г. Санкт-Петербург,
 Россия, lisran@yandex.ru

Одной из важнейших характеристик работы катодов в дуговых разрядах является их результирующее температурное поле. Его роль заключается в поддержании температурного режима работы электрода на уровне, необходимом для обеспечения непрерывности существования разрядного тока между катодом и анодом. В вакуумной дуге, единственным источником необходимой высокой концентрации частиц в катодной области разряда служит испарение материала катода. При этом следует отметить, что вакуумно-дуговой разряд с интегрально-холодным катодом является искусственной формой разряда, поддерживаемой исключительно за счет наличия водяного охлаждения катода. Эмиссионным центром разряда в этом случае является катодное пятно, характеризующееся малыми размерами и являющееся источником первичных электронов и основанием столба дуги.

По своей структуре вакуумная дуга представляет собой следующие структуры: твердое тело (катод); расплав, жидкость (катодное пятно); пар (прикатодная область), ионизированный газ и плазменный поток, выполняющий функции простого газового проводника, соединяющего катодное пятно с поверхностью анода. Область катодного пятна является сосредоточением тепла, в котором за очень короткое время возникает температура, значительно превышающая температуру кипения распыляемого материала, что обуславливает интенсивное испарение материала катода и обеспечивает высокую эффективность генерационных процессов в разряде.

При работе вакуумно-дугового источника плазмы протяженной конструкции в импульсном режиме было установлено, что при токе разряда 200 А максимальное время существования катодных пятен на рабочей поверхности водоохлаждаемого циркониевого катода длиной 0,4 м и диаметром 0,06 м превышало 100 мс. При этом сокращение длительности токовых импульсов до 20 мс было связано с увеличением температуры катода.

В процессе исследований выделено два типа разрядов, характеризующихся различными условиями существования: дуговой разряд на диэлектрических пленках загрязнений, возникающий в первоначальный момент времени, и дуговой разряд с материала катода.

Первый тип разряда, неуправляемый, хаотично перемещающийся и очень быстро охватывающий всю поверхность, возникает на неочищенной поверхности катода. Данный тип разряда существует при более низких значениях разрядного тока, чем основной с материала катода. Разрядный ток определяет количество одновременно существующих пятен на рабочей поверхности катода. На тонкопленочных покрытиях ток, замыкающийся на каждое катодное пятно, имеет порядок всего лишь несколько ампер, отчего и наблюдается увеличение количества существующих пятен. После удаления поверхностных загрязнений в первые токовые импульсы, в последующие импульсы данный тип разряда больше не возбуждался.

При возникновении дугового разряда с материала катода на очищенной поверхности, время переходного процесса от момента возбуждения разряда до установившегося, когда время преодоления катодными пятнами рабочего участка минимально, определяется начальными условиями: типом материала катода, электрической схемой питания и, особенно, первоначальной температурой катода.