

## Механизм образования центров взрывной электронной эмиссии ( эктонов ) при протекании электрического разряда в вакууме.

В настоящее время среди специалистов нашла признание нестационарная, циклическая модель процессов в катодном пятне вакуумной дуги. За время  $10^{-9}$ -  $10^{-8}$ с. в объемах на поверхности катода с линейными размерами  $10^{-5}$ -  $10^{-4}$ см. происходит бурное выделение энергии со скоростью  $10^{13}$ -  $10^{12}$ дж. с.<sup>-1</sup> г.<sup>-1</sup>. Этот процесс сопровождается эрозией катода со скоростью истечения массы  $10^9$ -  $10^8$ А. см.<sup>-2</sup> в электрическом эквиваленте и прохождением электрического тока с плотностью  $10^9$ -  $10^8$  А. см.<sup>-2</sup>, который замыкается на ток дуги. Продукты эрозии превращаются в прикатодную плазму. Совокупность описанных выше явлений носит кратковременный характер. В результате эрозии линейные размеры области локализации тока увеличиваются, плотность тока и скорость выделения энергии падают, процесс прекращается. Согласно принятой терминологии, имело место возникновение и функционирование центра взрывной эмиссии или эктона. Для поддержания условий существования дуги необходимо образование нового, повторного эктона и так далее.

На данный момент нет устоявшегося мнения относительно механизмов доставки и концентрации энергии на катоде в количестве, достаточном для образования центра взрывной эмиссии.

### **Физическая модель образования центра взрывной эмиссии**

Плазма отделена от катода слоем пространственного заряда или слоем катодного падения потенциала  $\varphi$ . В плазме запасена энергия, в основном в электронной компоненте, с плотностью  $nkT_e$ ,  $n$  - концентрация,  $k$  - постоянная Больцмана,  $T_e$  - электронная температура. Плазма эмитирует в сторону катода поток электронов с плотностью тока  $j_e \approx en(kT_e/2\pi m_e)^{1/2} \exp(-e\varphi/kT_e)$ , поток ионов с плотностью тока  $j_i \approx en(kT_e/2\pi m_i)^{1/2}$ , поток излучения. Каждый плазменный электрон приносит на катод энергию  $\varepsilon_e \approx e\varphi_e + 2kT_e$ ,  $\varphi_e$  - эмиссионная работа выхода катода. Плазменный ион приносит на катод энергию  $\varepsilon_i \approx e\varphi + e(\varphi_i - \varphi_e) + 3/2kT_i + kT_e$ ,  $\varphi_i$  - потенциал ионизации иона,  $T_i$  - температура плазменных ионов. Второе и четвертое слагаемые в последней формуле обусловлены зарядовой нейтрализацией иона на катоде и ускорением иона в плазменном предслое (условие Бома). С катода происходит эмиссия электронов и тяжелых частиц в виде нейтральных атомов и ионов. Плотность тока эмиссии электронов с катода описывается сложными формулами, в зависимости от соотношения между напряженностью электрического поля на катоде и температурой электронов в катоде (автоэлектронная, холодная или  $E$ - $T$  эмиссия, термоэлектронная, горячая или  $T$ - $E$  эмиссия)[1,3]. При автоэмиссии электрон оставляет в катоде энергию  $\varepsilon_{E-T} \approx 2kT_{inv}$ ,  $T_{inv}$  - температура инверсии (эффект Ноттингама), при термоэмиссии электрон уносит с катода энергию  $\varepsilon_{T-E} \approx e\varphi_e + 2kT_{ec}$ ,  $T_{ec}$  - температура электронов в катоде. Эмиссию тяжелых частиц или скорость испарения можно оценить по формуле  $V_c \approx V_{\perp} \exp(-\varepsilon_c/kT_e)$ ,  $V_{\perp}$  - поперечная скорость звука, определяемая энергией связи и энергией, вложенной в вещество катода,  $\varepsilon_c$  - энергия связи на один атом вещества катода. В слое между плазмой и катодом имеют место электромагнитные поля, обусловленные излучением из плазмы и зарядами и токами частиц, эмитированными из плазмы и катода. Их роль определяется плотностью потока энергии поля (вектором Умова-Пойнтинга)  $j_w = c/4\pi[\vec{E}\vec{H}]$ , поступающего на катод. Этот вектор удобно

рассматривать как суммарный, включающий в себя энергию излучения из плазмы, токи электронов и ионов, привносимые на катод и благодаря джоулевой диссипации изменяющие внутреннюю энергию вещества катода. Это еще удобно и потому, что источник питания дуги имеет электромагнитную природу, энергия на катод доставляется потоком энергии электромагнитного поля, слой при этом играет роль своеобразного волновода. Не надо также делать многочисленные предположения относительно токов, переносимых электронами и ионами. Достаточно более или менее правдоподобная оценка величины полей в слое. Для амплитуды электрического поля представляется разумной оценка  $E \leq \sqrt{4\pi n k T_e}$ . Магнитное поле можно оценить, исходя из уравнений Максвелла.

Уравнение баланса энергии, записанное для выделенного объема у поверхности катода, имеет следующий вид

$$\frac{d}{dt} \int_u \varepsilon du = \oint \vec{j}_\varepsilon \cdot d\vec{s} \quad (1)$$

Слева записана суммарная энергия, включающая внутреннюю энергию вещества катода, энергию дрейфа материала катода, которая мала, энергию электромагнитного поля в катоде. Справа записан суммарный поток энергии, поступающий на катод. С учетом определений, введенных выше, уравнение (1) позволяет проследить изменение внутренней энергии вещества катода. Представление поступающей энергии в виде потоков позволяет естественным образом сравнивать объемный, джоулевский источник тепла с поверхностными, обусловленными бомбардировкой катода частицами и эмиссией. Соотношение (1) записано для объема, который должен обладать способностью концентрировать и преобразовывать поступающую энергию таким образом, чтобы обеспечить максимальный рост внутренней энергии вещества катода. В этом направлении можно рассматривать следующие возможности. Хорошие вакуумные условия и чистая поверхность катода. Катодное пятно локализуется на одном месте. Центры взрывной эмиссии возникают в непосредственной близости друг от друга. В месте нахождения пятна образуется ванна расплавленного металла, из которой выплескиваются струи, образуя, в свою очередь, микроострия с большим отношением площади боковой поверхности к объему. Это случай перетяжек или усиления по плотности тока, если пользоваться принятой терминологией. При плохих вакуумных условиях поверхность катода загрязнена, на ней находятся островки вещества, по своим свойствам резко отличающиеся от металла катода. Возникают «тройные точки» или «контакт металл-диэлектрик-вакуум». Такие области могут концентрировать и усиленно поглощать энергию электромагнитного поля благодаря явлению экстинции или резонансного поглощения. И, наконец, из области катодного пятна летят микрочастицы. Эти микрочастицы могут интенсивно поглощать энергию электромагнитного излучения и взрываться.