Особенности образования структуры керн–корона при быстром электрическом взрыве тонких проводников из различных материалов

В.М. Романова, Г.В. Иваненков, А.Р. Мингалеев, С.А. Пикуз, А.Е. Тер-Оганесьян, Т.А. Шелковенко

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия, vmr@inbox.ru

Характер наносекундного электрического взрыва тонких проводников (ЭВП) определяется в конечном итоге тем, какое количество энергии удалось сообщить веществу при его быстром нагреве. Наиболее значимые параметры ЭВП, от которых зависит вложение энергии, — плотность тока и скорость его нарастания, а также электро- и теплофизические свойства используемого материала. Превышение определённого уровня локального энерговклада приводит к тому, что вся картина взрыва (скорость расширения и структура керна, качество окружающей его короны даже локализация шунтирующего пробоя) резко изменяется.

Экспериментальные данные, полученные на установках различной мощности, с использованием проволочек из металлов с существенно разной проводимостью и температурой парообразования, показывают, что наиболее общим сценарием быстрого электровзрыва у материалов всех типов является формирование жидкостенного трубчатого цилиндрического керна, окружённого слоем вещества в непроводящем пенообразном состоянии. Однако в зависимости от условий взрыва конечный результат может оказаться сильно неодинаков, что позволяет говорить о нескольких сценариях ЭВП.

Фазовый взрыв вещества при ЭВП, являясь центральным процессом для этого явления, протекает существенно по-разному на поверхности и на оси проволочки. У легкоплавких и хорошо проводящих металлов (медь, серебро, алюминий) доминирует фазовый взрыв «поверхностного типа»: волна расширения очень быстро достигает оси проволочки, и продукты взрыва расширяются столь резко, что полноценная «трубка» может не успеть образоваться ― вплоть до того, что «внешний слой» занимает весь объём керна. При ЭВП тугоплавких резистивных металлов, для которых характерно раннее шунтирование (вольфрам, молибден), наоборот, толщина слоя, образованного в ходе «поверхностного» фазового взрыва, довольно невелика. Формирование трубчатого керна происходит в результате фазового взрыва иного типа — «кавитационного». В промежуточном, «никелевом», сценарии ЭВП оба типа фазового взрыва относительно равноправны, внутренняя трубка окружена толстым непроводящим слоем взорванного вещества, а шунтирующий пробой идёт между этими областями, по поверхности внутреннего керна.

Какой из сценариев будет реализован, определяется, как мы предполагаем, тем, было ли сообщено проводнику в ходе ЭВП определённое критическое значение энергии. Увеличение энерговклада, происходящее, например, при помещении проволочки из вольфрама или из меди в момент разряда в изоляцию или в плотную среду, не изменяет кардинально характер их взрыва, т.е. на шкале энерговклада «вольфрамовый» и «медный» типы ЭВП относительно этого граничного значения занимают достаточно далёкие положения. У «промежуточного» никеля, наоборот, даже незначительное увеличение энерговклада может оказаться критическим; это объясняет, почему характер ЭВП у всех подобных никелю материалов в воздухе и в вакууме резко отличен.

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 12-02-01372 и 11-02-01210.