

ГЕНЕРАЦИЯ УДАРНЫХ ВОЛН "ВЗРЫВАЮЩЕЙСЯ" ТОКОВОЙ ОБОЛОЧКОЙ

В. С. Комельков, В. И. Модзолевский

В сильноточных импульсных разрядах типа линейных, азимутальных и обратных пинчей токовая оболочка служит поршнем, собирающим газ. Скорость возникающих при этом фронтальных ударных волн целиком определяется магнитным давлением на токовый слой. При давлениях в 1 – 3 жор получены скорости до $(2 \div 3) \cdot 10^7$ см/сек. При больших давлениях они существенно меньше. Обычно два фактора лимитируют получение высоких скоростей при заданных параметрах тока: захват большой массы газа до момента наступления максимума тока и максимума магнитного давления и снижение тока во фронтальном слое из-за токораспределения в пройденной зоне ускорения.

При ускорении плотной плазмы в больших магнитных полях в коротких соплах малого диаметра [1] второй фактор сказывается мало и выход магнитного поршня на торец сопла сопровождается своеобразным, похожим на взрыв, эффектом быстрого расширения токовой оболочки, представляющим несомненный интерес для генерации интенсивных ударных волн. Как было описано в [1], за пределами торца сопла вместе с плазмой движутся токи выноса замыкающиеся через плазму. Внутренний электрод имеет своим продолжением токовый шнур, внешний – плазменную оболочку, как в обычном фонтанирующем пинче, где возникают азимутальные и продольные магнитные поля. Поскольку основная масса ускоренного газа движется по направлению оси электродов со скоростью большей тепловой, то внешняя токовая оболочка оказывается замкнутой через слой невозмущенного газа существенно меньшей плотности и массы, чем масса и плотность выброшенной из сопла плазмы.

Радиальное расширение токовой оболочки происходит со скоростями значительно превосходящими скорость продольного осевого движения. В описываемых экспериментах плазменный поршень выходит на торец сопла в максимуме тока 460 ка. Параметры контура были следующими: напряжение конденсаторной батареи 25 кВ, ее емкость – 33 мкФ, индуктивность – 50 нГн. Рабочий объем, в котором размещались электроды

типа [1], заполнялся водородом при давлении 30 – 760 *тор*. Фоторазвертка разряда производилась в продольном и поперечном направлениях по отношению к направлению движения струи. В последнем случае щель устанавливалась на расстоянии 5 мм от торца сопла. На рис. 1 показаны полученные из фоторазверток границы фронтов токовых оболочек (нижние кривые) и ударных волн (верхние кривые) при разных давлениях газа (у каждой кривой показано давление водорода в мм рт. ст.).

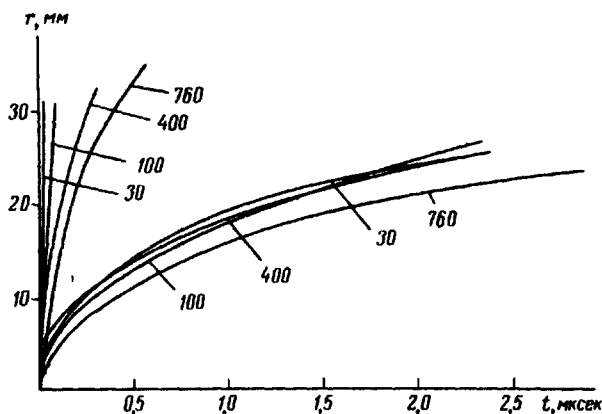


Рис. 1

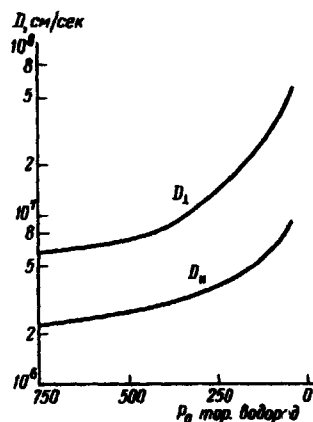


Рис. 2

Токовые оболочки начинают двигаться примерно с такой же скоростью как ударные волны, а затем затормаживаются за счет захвата массы и уменьшения магнитного поля на границе оболочки. Изменения тока в этот момент не происходит, так как индуктивность разряда остается существенно меньшей, чем индуктивность внешней цепи. Нарастание индуктивности разряда тем не менее имеет место и носит монотонный характер. Отсутствуют срывы индуктивности и скачки напряжения, характерные для повторных пробоев. С уменьшением давления начальная скорость токовых оболочек растет, однако не столь быстро, как это можно было бы ожидать, исходя из постоянства магнитного поля при выходе оболочки из сопла. С ростом давления увеличивается затухание ударных волн. При давлениях от 100 *тор* и ниже уменьшение скорости на радиусе 3 см трудно различается, тогда как при 400, 760 *тор* она падает в 2 – 3 раза. Ударные волны достигают стенок камеры спустя 0,2 – 0,5 мксек и, отражаясь от них к центру камеры, сжимают выходящую струю, препятствуя расширению токовых оболочек. Тем не менее процесс расширения наблюдается на протяжении двух – трех мксек, на спадающем токе разряда.

На рис. 2 показаны абсолютные значения скоростей D_1 поперечных ударных волн (верхняя кривая) и для сравнения приведены скорости D_n продольных ударных волн, мало меняющиеся на значительном протяжении (10 – 15 см).

Заметно резкое увеличение скорости с падением давления в рабочем объеме. При 760 *тор* $D_1 = 6,3 \cdot 10^6$ см/сек. Давлению 30 *тор* соответствует скорость $6 \cdot 10^7$ см/сек. Из-за недостаточного временно-

го разрешения фоторазвертки последняя величина, по-видимому, занижена.

Продольные скорости во всем интервале давлений остаются меньше радиальных. Особенно значительна эта разница при давлениях ниже 100 тор.

Оценки температур за фронтом ударной волны по известным соотношениям [2] дают значения 4,0; 7,2; 160 и 360 эв для давлений 760, 400, 100 и 30 тор соответственно.

Если исходить из того, что давление поршня, определяющее скорость ударной волны, равно магнитному давлению азимутального поля, то последнее во всех интервалах давлений лежит в пределах $(2,5 \div 4) \cdot 10^5$ э, что согласуется с данными эксперимента. Эффект "взрыва" токовых оболочек при их выходе на торец электродов, несомненно, имеет место во всех типах коаксиальных ускорителей. При малых давлениях и достаточно больших токах выноса с этим явлением связано образование быстрых частиц и генерация высокотемпературных ударных волн.

Поступила в редакцию
27 декабря 1971 г.

Литература

- [1] В.С.Комельков, В.И.Модзолеевский. ЖЭТФ, 41, 963, 1971.
[2] Я.Б.Зельдович, Ю.П.Райзер. "Физика ударных волн", М., Физматгиз, 1966.
-