

ИЗМЕРЕНИЕ ЯРКОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАЗМЕННОГО ПОРШНЯ В РЕЛЬСОТРОННЫХ УСКОРИТЕЛЯХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

И. А. Стадниченко, Г. А. Швецов

(Новосибирск)

При ускорении макрочастиц в рельсотронных ускорителях в качестве электропроводящего толкающего поршня используется плазма, получающаяся при электрическом взрыве фольги, установленной непосредственно за диэлектрическим телом. Для успешного моделирования взаимодействия этой плазмы с ускоряемым телом и стенками ускорителя необходимо знать пространственно-временное распределение температуры в плазме.

Прямые экспериментальные измерения температуры плазмы в литературе не описаны. Сделаны лишь простые оценки. Так, численные расчеты [1] в зависимости от принятого сопротивления плазмы дают значения температуры от 30 до 60 кК. Численное моделирование, предложенное в [2], оценивает температуру плазмы в 50–60 кК. Оценки температуры [3] по измеренной в плазме скорости звука дают ~50 кК.

В данной работе проведены экспериментальные исследования яркостной температуры плазмы в рельсотроне.

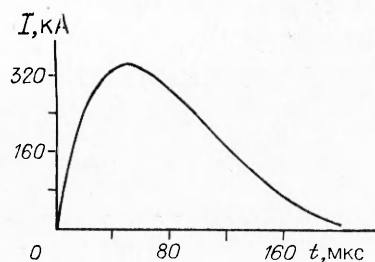
Постановка экспериментов. В опытах по измерению яркостной температуры плазмы использовался модельный рельсотрон с прямоугольным сечением канала 17×9 мм (9 мм — расстояние между рельсами). Плазма создавалась при электрическом взрыве медной фольги толщиной 30 мкм. В одном из боковых изоляторов было изготовлено прозрачное стеклянное окно для проведения оптических измерений. Вместо ускоряемого тела ставилась диэлектрическая заглушка, жестко закрепленная между электродами. В качестве источника энергии использовалась конденсаторная батарея.

Электротехнические параметры цепи подбирались таким образом, чтобы эпюры токов в опытах при измерении яркостной температуры были близки к эпюрам токов в экспериментах по ускорению макрочастиц [4]. Характерные параметры токового импульса: амплитуда ~ 400 кА, время нарастания тока до максимума ≈ 50 мкс. Вид токовой кривой представлен на рис. 1.

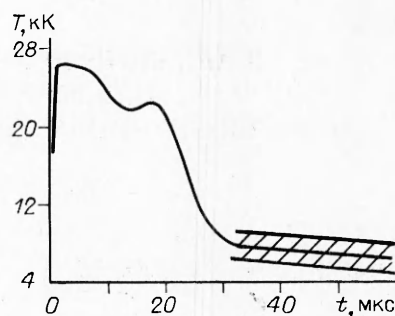
Яркостная температура плазмы определялась фотографическим методом [5], который основан на количественном сравнении яркостей исследуемого объекта и эталонного источника с известной температурой в узком спектральном интервале по соответствующим почернениям фотоматериала. Основной инструмент для измерения высоких температур плазмы — высокоскоростной фотохронограф с вращающимся зеркалом. Узкий спектральный интервал обеспечивался применением интерференционных светофильтров с полушириной пропускания 10 нм. Денситометрическая обработка фотохронограмм выполнялась на фотоэлектрическом микрофотометре.

В качестве эталонного источника с известной температурой использовался фронт воздушной ударной волны, распространяющейся в круглом канале, которая создавалась при детонации трубчатого заряда взрывчатого вещества. При скорости ударной волны 12–13 км/с температура пробки ударно-сжатого воздуха составляла 20–25 кК.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Анализ фотохронограмм показывает, что образующаяся при электрическом взрыве фольги плазма под влиянием электромагнитных и газодинамических сил претерпевает сложные изменения. Под действием протекающего тока плазма быстро (за единицы микросекунд) разогревается до температуры 25–30 кК. Последующее газодинамическое расширение плазмы против сил магнитного поля сопровождается образованием низкотемпературной пленки, примыкающей к высокотемпературной части плазмы. Через 25–30 мкс происходит расслоение плазмы на страты. Картина страт выглядит сложно и нерегулярно. Время жизни отдельных страт колеблется в пре-



Р и с. 1



Р и с. 2

делах 1—10 мкс. Число таких страт в настоящих экспериментах не поддается учету и меняется со временем. Температура плазмы в разных стратах различная, но в целом ниже, чем температура плазмы в начале разряда. Здесь следует отметить, что вопрос о потере прозрачности стекла, через которое велась оптическая съемка, специально не исследовался. Однако анализ многочисленных экспериментов показывает, что стекло остается прозрачным не менее 30 мкс после взрыва фольги в рельсотроне.

На рис. 2 по результатам пяти экспериментов дана зависимость яркостной температуры от времени. Измерения проведены на двух длинах волн: $\lambda = 453$ и 548 нм вдали от резонансных линий излучения меди. С учетом 10 %-ной точности все эксперименты дали одинаковые значения яркостной температуры, что позволяет заключить, что плазма излучает как абсолютно черное тело. Заштрихованная часть кривой отображает среднюю температуру плазмы после момента ее расслоения на страты. Количественное значение температуры в этой части, возможно, занижено вследствие потери прозрачности оптического окна. Полученные экспериментальные значения температуры значительно ниже оценок [1—3].

Из рис. 1 и 2 видно, что временная зависимость яркостной температуры существенно отлична от токовой кривой. Это, видимо, связано с тем, что в начале разряда плазма занимает довольно маленький объем, а к моменту максимума тока ее объем значительно увеличивается. Возможно также отличие температуры плазмы вблизи поверхности от температуры ее внутренней части. Кроме того, как уже отмечалось, вероятно, теряется прозрачность стекла к моменту достижения максимума тока.

При максимальном значении зарегистрированной яркостной температуры эффективный радиационный поток ≈ 3 МВт/см².

ЛИТЕРАТУРА

1. McNab I. R. Electromagnetic macroparticle acceleration by a high pressure plasma // J. Appl. Phys.— 1980.— V. 51, N 5.
2. Powell J. D., Batteh J. H. Plasma dynamics of an arc-driven, electromagnetic, projectile accelerator // J. Appl. Phys.— 1981.— V. 52, N 4.
3. Marshall R. A. Structure of plasma armature of a railgun // Proc. 3rd Symp. on Electromagnetic Launch Technology, Austin, 1986.
4. Швецов Г. А., Титов В. М. и др. Исследование работы рельсотронного ускорителя твердых тел с питанием от взрывного МГД-генератора // Сверхсильные магнитные поля. Физика. Техника. Применение.— М.: Наука, 1984.
5. Модель И. Ш. Измерение высоких температур в сильных ударных волнах в газах // ЖЭТФ.— 1957.— Т. 32, № 4.

Поступила 20/VII 1987 г.