

УДК 533.9.07, 537.856, 537-77

DOI: 10.17223/00213411/62/7/130

С.А. ЧАЙКОВСКИЙ^{1,2}, В.И. ОРЕШКИН^{1,3}, Н.А. ЛАБЕЦКАЯ¹, И.М. ДАЦКО¹,
Д.В. РЫБКА¹, В.А. ВАНЬКЕВИЧ¹, Н.А. РАТАХИН¹

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПЛОСКИХ ПРОВОДНИКОВ В РЕЖИМЕ СКИНИРОВАНИЯ ТОКА *

Экспериментально исследовано распространение волны нелинейной диффузии магнитного поля, возникающей при электрическом взрыве плоских проводников в режиме скинирования тока. На тераваттном генераторе МИГ проведены эксперименты по электрическому взрыву медной фольги толщиной 100 мкм и шириной 5 мм при амплитуде тока до 2.5 МА и времени его нарастания 100 нс. Было показано, что в данных условиях на продольной оси фольги примерно к 75 нс от начала тока формируется плазменный канал. Оценки, проведенные с учетом усиления магнитного поля на краях фольги, показали, что для распространения волны нелинейной диффузии магнитного поля от края фольги к ее центру требуется примерно 70–80 нс. Хорошее согласие экспериментальных данных и оценок позволило сделать вывод о том, что формирование плазменного канала связано со схождением волны нелинейной диффузии к продольной оси фольги.

Ключевые слова: электрический взрыв проводников, сверхсильные магнитные поля, нелинейная диффузия магнитного поля, импульсный генератор тока, плотная низкотемпературная плазма.

Введение

Интерес к исследованиям электрического взрыва проводников (ЭВП) в режиме скинирования тока связан с различными приложениями. Одна из проблем связана с транспортировкой электромагнитной энергии в передающих магнито-изолированных линиях на разрабатываемых в настоящее время мультитераваттных генераторах [1–5] с уровнем тока 30–50 МА и временем нарастания менее 100 нс. Подобные генераторы предполагается использовать для реализации схем управляемого термоядерного синтеза на основе Z-пинчей [6–12]. При уровне токов, характерных для мультитемегаамперных генераторов, плотность магнитной энергии в области нагрузки настолько велика, что может произойти взрыв поверхности электродов передающих линий, что влечет за собой образование в межэлектродном пространстве плазмы, ведущее, в свою очередь, к снижению эффективности транспортировки электромагнитной энергии к нагрузке. Другой задачей является изучение ЭВП в рамках концепций MAGO/MTF (Magnetized Target Fusion [9, 10]) и MagLIF (Magnetized Liner Inertial Fusion [11–13]). В этих концепциях предполагают сжатие изначально нагретой дейтериево-тритиевой смеси металлическим лайнером. Следует отметить и другие проблемы, такие, как генерация сверхсильных магнитных полей, как путем обжатия металлических оболочек [14–16], так и при взрыве одновитковых соленоидов [17, 18], а также и электромагнитное ускорение тел [19, 20], в частности ускорение плоских металлических пластин в экспериментах по изучению ударных волн [см., например, 21–26].

Основными процессами, протекающими при ЭВП в режиме скинирования тока, являются совместное распространение в веществе проводника ударной волны и волны нелинейной диффузии (ВНД) магнитного поля [24, 25] и, уже отмечавшееся, образование на поверхности проводника, к которой прикладывается магнитное поле, плотной низкотемпературной плазмы. Нелинейная диффузия магнитного поля характеризуется аномально большой скоростью проникновения в проводник электромагнитного поля (по сравнению с обычной диффузией). Возрастание скорости диффузии магнитного поля связано с увеличением удельного сопротивления металла за счет его нагрева протекающим током. Для большинства металлов удельное сопротивление растет с ростом температуры T , поэтому для удельного сопротивления можно записать следующее приближенное выражение:

$$\delta(Q) = \delta_0 (1 + \beta Q), \quad (1)$$

* Работа частично поддержана Программой фундаментальных исследований Президиума РАН, проект «Исследование взрывных процессов, инициированных импульсным воздействием сильных магнитных полей».

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>