

УДК 533.9.07, 537.856, 537-77

DOI: 10.17223/00213411/62/7/124

Н.А. ЛАБЕЦКАЯ¹, В.И. ОРЕШКИН^{1,2}, С.А. ЧАЙКОВСКИЙ^{1,3}, И.М. ДАЦКО¹, Д.В. РЫБКА¹, В.А. ВАНЬКЕВИЧ¹**ОПТИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВ В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ ***

Представлены результаты экспериментов по взрыву алюминиевых и титановых проводников, проводившихся на генераторе МИГ (амплитуда тока около 2 МА, фронт нарастания около 100 нс) в магнитных полях до 3 МГс. Проводники состояли из двух частей: стержня диаметром 3 мм и трубки с таким же внешним диаметром и толщиной стенки 250 мкм. Поверхностная плазма проводника регистрировалась с помощью оптической камеры HSFC Pro. Показано, что неустойчивости на поверхности вещества с высокой проводимостью (алюминий) формируются позже, чем на поверхности вещества с низкой проводимостью (титан). На поверхности трубки неустойчивости появляются раньше, чем на поверхности стержня, и остаются в течение всего процесса более ярко выраженными для обоих материалов проводников. Определены инкременты нарастания крупномасштабных неустойчивостей и проанализирован механизм их формирования.

Ключевые слова: крупномасштабные неустойчивости, электрический взрыв проводников, сильные магнитные поля, сильнооточный импульсный генератор.

Введение

Интерес к исследованиям электрического взрыва проводников (ЭВП) в быстронарастающих мегагауссных магнитных полях, то есть в режиме скинирования тока, связан с различными техническими приложениями. Одной из задач, связанных с исследованиями ЭВП в сильных магнитных полях, является транспортировка электромагнитной энергии на разрабатываемых мультитераваттных генераторах (уровень тока более 30 МА, время его нарастания менее 100 нс) [1–4], которые предполагается использовать для реализации схем управляемого термоядерного синтеза на основе Z-пинчей [5–11]. В этом случае плотность электромагнитной энергии в области нагрузки при таких уровнях токов настолько велика, что может произойти взрыв проводящей поверхности и образование плазмы [12, 13], ведущие к снижению эффективности транспортировки электромагнитной энергии к нагрузке. Другие проблемы: это изучение ЭВП в рамках концепции Magnetized Liner Inertial Fusion [10, 11, 14], в которой предполагается сжатие тяжелых металлических лайнеров для осуществления реакции управляемого термоядерного синтеза; генерация сильных магнитных полей [15, 16] и т.д.

Основными процессами, которыми характеризуется ЭВП в скиновом режиме, являются распространение в веществе проводника ударной волны и волны нелинейной диффузии (ВНД) магнитного поля, а также образование на поверхности проводника низкотемпературной плазмы и развитие крупномасштабных неустойчивостей. Нелинейная диффузия характеризуется аномально большой по сравнению с обычной диффузией скоростью проникновения в проводник электромагнитного поля. Такой рост скорости диффузии связан с уменьшением проводимости металла за счет его нагрева протекающим через него током. Процесс нелинейной диффузии реализуется лишь в достаточно сильном магнитном поле, индукция которого для большинства металлов составляет несколько сотен килогаус [15, 17]. Дальнейший рост тока через проводник и соответственно рост магнитного поля приводит к взрыву поверхности проводника. Значение индукции магнитного поля, при котором на поверхности проводника начинается интенсивное плазмообразование, может быть оценено как [13, 18].

$$B_s \approx \sqrt{8\pi\Lambda_0}, \quad (1)$$

где Λ_0 – плотность энергии сублимации. Значение критического поля B_s для различных металлов лежит в пределах 2.5–4.5 МГс [13, 18].

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант № 19-08-00479.

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>