

- [6] Годунов С.К. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1978.
- [7] Бушман А.В., Ломоносов И.В., Форттов В.Е. Препринт ИВТАН № 6-287. 1989. 44 с.
- [8] Баско М.М. // Физика плазмы. 1984. Т. 10. В. 6. С. 1195.

Институт высоких температур
АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
23 августа 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 22

26 ноября 1990 г.

04; 10

© 1990

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ПЛОСКИХ УДАРНЫХ ВОЛН И МЕТАНИЯ УДАРНИКОВ

О.Ю. Воробьев, Б.А. Демидов,
В.П. Ефремов, А.И. Рудаков,
А.Л. Ни, П.В. Морозов,
В.Е. Форттов

Релятивистские электронные пучки (РЭП) широко используются для генерации ударных волн в веществе [1-4]. К достоинствам РЭП можно отнести большие плотности вкладываемой мощности, что позволяет достигать давлений мегабарного диапазона. Это дает возможность моделировать при помощи РЭП высокоскоростной удар [5], а также воздействие термоудара [6]. Ввиду сложности и нелинейности процесса взаимодействия сильноточного РЭП с веществом, исследование ударно-волновых процессов в мишенях целесообразно проводить в комплексе с математическим моделированием. Ввиду простоты интерпретации наибольший интерес представляют опыты с плоскими ударными волнами, однако сейчас выполнено немного таких экспериментов [7-9]. В данной работе параметры пучка и толщина мишени выбирались так, чтобы ударно-волновое течение в мишени было одномерным. Эксперименты проводились на установке „Кальмар” (рис.1). Ток пучка варьировался в пределах 40-60 кА, энергия электронов - от 100 до 480 кэВ, импульс имел длительность 100 нс. Диаметр фокального пятна был равен 20 мм. При таких параметрах пучка давления в мишенях составляют десятки килобар. Луч стационарного He-Ne лазера ЛГ-79(1), проходя через оптическую систему

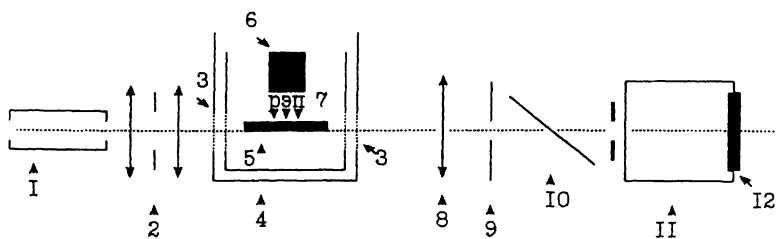


Рис. 1. Схема эксперимента.

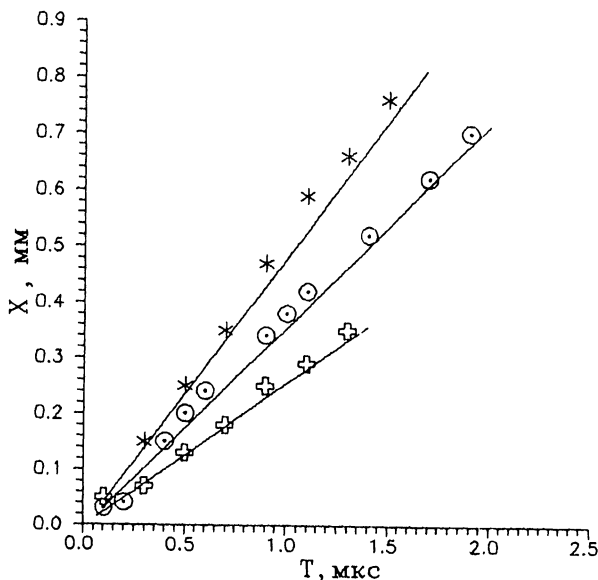


Рис. 2. Расчетное и экспериментальное смещение тыльной поверхности мишени со временем для различных опытов.

(2), идет сквозь окна (3) в вакуумной камере (4) сильноточного импульсного диода ускорителя электронов „Кальмар“. На пути пучка находится алюминиевая мишень (5), закрепленная перед катодом (6) вакуумного диода, инжектирующего РЭП (7). Перемещение тыльной поверхности мишени при выходе волны сжатия регистрировалось с помощью электронно-оптического преобразователя (ЭОПа) (11) с фотоприставкой (12) через линзу (8) с диафрагмой (9) и интерференционный фильтр (10). Экспериментальные эпограммы обрабатывались путем фотометрирования. В результате были получены зависимости перемещения тыльных поверхностей мишеней x от времени t (рис. 2). Погрешность x равна 3%, а t - 1.5%.

Были проведены численные расчеты взаимодействия РЭП с мишенями. Расчеты выполнялись по методу Годунова [10] в подвижной сетке с выделением фронта ударной волны. Уравнения движения конденсированной среды замыкались широкодиапазонными уравнениями состояния [11,12]. Для описания откола применялась модель мгновенного разрушения [5]: при достижении растягивающими напряжениями предела прочности 8 кбар среда разрушалась. Давление в разрушенном элементе среды считалось равным нулю, и в дальнейшем среда не сопротивлялась растяжению. В указанном диапазоне плотностей тока при расчете поглощения энергии пучка материалом мишени можно использовать одночастичное приближение [3]. Толщина мишени в условиях эксперимента в несколько раз превышает характерную глубину поглощения электронов. Это позволило использовать интерполяционные формулы, предложенные в работе [13] для полубесконечной мишени, которые хорошо согласуются с расчетами по методу Монте-Карло. В используемой модели не учитывался перенос энергии теплопроводностью, так как в рассматриваемом диапазоне мощностей за время действия импульса РЭП тепловая волна распространяется на расстояния малые по сравнению с зоной поглощения энергии.

На рис. 2 сплошными линиями отмечены результаты численных расчетов воздействия РЭП на двухмиллиметровую алюминиевую мишень для двух значений плотности потока энергии: 300 Дж/см^2 (кружки) и 200 Дж/см^2 (крестики). В экспериментах с алюминиевой мишенью наблюдался откол со стороны тыльной поверхности. Измеренная толщина сохраняемой в экспериментах откольной пластины составляла 128 мкм. Выделение энергии в алюминиевой мишени использовалось для метания тефлоновых ударников, которые накатывались на тыльную сторону мишени толщиной 1 мм при помощи вакуумной смазки. Толщина ударника равнялась 200 мкм. В экспериментах наблюдался отрыв такого искусственного откольного элемента. При энергокладе 300 Дж/см^2 скорость тефлоновой пластины составила 480 м/с. Результаты эксперимента, изображенные на рис. 2 звездочками, согласуются с расчетом (сплошная линия). Экспериментально определенный размер плоской части у летящего ударника равнялся 5 мм. Полученный таким образом летящий тефлоновый ударник с известными массой и скоростью можно использовать в дальнейшем для генерации ударных волн и калибровки импульсомеров. Результаты сравнения расчетных и экспериментальных данных свидетельствуют об адекватности используемой в расчетах математической модели, которая может найти применение при выборе оптимальных условий для генерации плоских ударных волн и метания тонких ударников, а также подробной интерпретации экспериментальной информации.

- [1] Аккерман А.Ф., Бушман А.В., Демидов Б.А. и др. // ЖЭТФ. 1985. Т. 89. С. 852.
- [2] Романов Г.С., Сузденков М.В. // ДАН БССР. 1982. Т. 26. № 6. С. 496-499.
- [3] Аккерман А.Ф., Баско М.М., Демидов Б.А. и др. Применение сильнооточных пучков заряженных частиц в динамической физике высоких давлений. Черно-голова. Препринт ОИХФ. 1989.
- [4] Perry F.C., Widner M.M. // J. Appl. Phys. 1976. V. 47. N 1. P. 127-134.
- [5] Бушман А.В., Канель Г.И., Ни А.Л., Форттов В.Е. Теплофизика и динамика интенсивных импульсных воздействий. Черноглова. 1988. 200 с.
- [6] Волков В.Г., Гайнулин К.Г. и др. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез. 1981. В. 1(7).
- [7] Peugnet C., Roche M. et al. // J. Appl. Phys. 1980. V. 51. N 8. P. 4169-4177.
- [8] Perry F.C. // J. Appl. Phys. 1970. V. 41. N 12. P. 5017-5022.
- [9] Oswald R.V., Jr.f.b. McLean, Schallhorn D.R., Buxton L.D. // J. Appl. Phys. 1971. V. 42. N 9. P. 3467-3473.
- [10] Годунов С.К. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1978.
- [11] Бушман А.В., Ломоносов И.В., Форттов В.Е. Препринт ИВТАН. 1989. № 6-287. 44 с.
- [12] Бушман А.В., Воробьев О.Ю., Ломоносов И.В. и др. Численное моделирование воздействия импульса рентгеновского излучения на конденсированную среду. Черноглова. Препринт ОИХФ. 1990.
- [13] Tabata T., Ito R. // Nucl. Sci. Eng. 1974. P. 226-239.

Институт высоких
температур АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
19 июля 1990 г.