

ГЕНЕРИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЗРЫВОМ ПРОВОДНИКА

А. И. Павловский, В. И. Кашинцов, Б. Л. Глушак, С. А. Новиков
(Москва)

Электрический взрыв проводников стоит в ряду немногих практически используемых методов создания кратковременных (микро- и субмикросекундного диапазонов длительности) интенсивных импульсов давления [1—3]. Исследование процессов формирования и распространения ударных волн, возбуждаемых электрическим взрывом, представляет значительный интерес, например, для изучения механических свойств материалов в экстремальных условиях (высокие давления и скорости деформации) нагружения.

Как и в случае использования ВВ, применение указанного метода позволяет реализовать импульсные силовые нагрузки двумя способами: электрическим взрывом проводника, находящегося в непосредственном контакте с исследуемым материалом [1], и торможением на преграде из исследуемого материала тонкого ударника, ускоренного электрическим взрывом [2, 3].

На практике электрический взрыв оказывается удобным экспериментальным методом получения малых величин импульса. В настоящей работе представлены экспериментальные результаты, полученные первым способом создания импульсов давления. Выполненные исследования содержат две основные группы опытов. В первой из них измерялся удельный механический импульс, сообщаемый толстой преграде электрическим взрывом проводника, а во второй — скорость ударной волны в преграде из ПММА как функция расстояния, пройденного ударной волной.

Экспериментальная установка (рис. 1) состояла из конденсаторной батареи емкостью $C_0 = 60$ мкФ с собственной индуктивностью $L_0 = 8$ нГ и узла нагрузки. Зарядное напряжение могло изменяться от 5 до 30 кВ. Узел нагрузки представляет собой плоский взрывающийся проводник с подводными электродами. В опытах применялась конструкция узла нагрузки с обратным токопроводом. В качестве прямого токопровода использовалась взрывающаяся фольга, а в качестве обратного — медная фольга толщиной 0,1 мм. Прямой и обратный токопроводы разделялись пленочным изолятором из лавсана. Измерительный блок располагался со стороны фольги.

В опытах определялись величины тока и напряжения на фольге и батарее. Ток измерялся поясом Роговского с постоянной времени $(2 \div 4) \cdot 10^{-8}$ с, а напряжение — делителями, собранными из объемных резисторов типа ТВО с постоянной времени $\sim 2 \cdot 10^{-8}$ с.

Для определения величины механического импульса, сообщаемого преграде с известной массой при электрическом взрыве на ее поверхности, электроконтактным методом измерялось время движения преграды на заданной базе. Для защиты электроконтактов от интенсивных электромагнитных наводок применялись тонкие металлические корпуса, в которых они размещались. Время срабатывания такого контакта составляло 0,1 мкс при общей длительности регистрируемого процесса более 10 мкс.

В качестве преграды использовался сплав АМЦ с размерами $6 \times 5 \times 0,3$ см. Между преградой и проводником помещался слой изолятора (лавсановая пленка) толщиной около 0,2 мм. База измерений

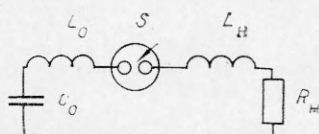


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки.

C_0 — емкость батареи конденсаторов; L_0 — собственная индуктивность; S — вакуумный разрядник; L_H — индуктивность нагрузки; R_H — сопротивление нагрузки.

во всех опытах составляла $\bar{5}$ мм. Минимальное расстояние между свободной поверхностью преграды и первым контактом бралось всегда не менее 10 мм. На таких расстояниях, как показали специальные опыты, отсутствует ускорение преграды продуктами электровзрыва.

Предварительно фотохронографическим методом проведено

исследование симметрии выхода ударной волны из преграды толщиной 2 мм. Измерения показали, что величина одновременности выхода ударной волны по всей площади преграды (щели СФР располагались в двух взаимноперпендикулярных плоскостях) менее 0,1 мкс.

С целью выявления влияния материала проводника на величину импульса преграды проведена серия опытов с электрическим взрывом фольг из Al, Cu, W, Ta. В этих опытах запасаемая энергия батареи конденсаторов составляла 16 кДж. Результаты обработки экспериментальных данных сведены в таблицу, где L , h и δ — длина, ширина и толщина проводника соответственно. Как следует из таблицы, при близкой геометрии взрывающегося проводника и одной и той же величине запасаемой начальной энергии наибольший удельный импульс i_0 преграда приобретает при взрыве проводника из меди. Отметим также, что величина i_0 коррелирует со значением плотности тока j в проводнике в момент взрыва. В связи с этим в дальнейших исследованиях применялась фольга из Cu с размерами $l = 6$ см, $h = 4$ см. Характерное время выделения большей части энергии в проводнике, найденное из обьчета зарегистрированных временных зависимостей разрядного тока и напряжения в фольге, составляет $\sim 0,2$ мкс.

На рис. 2 представлены зависимости удельного механического импульса преграды от толщины проводника при двух значениях запасенной энергии батареи конденсаторов W_0 : 16 (1) и 10,8 (2) кДж. В исследованном диапазоне толщины фольги от 0,0015 до 0,004 см для обоих значений W_0 величина i_0 , т. е. скорость движения преграды, возрастает с увеличением δ . Величина i_0 для заданного δ при $W_0 = 16$ кДж существенно превышает значение i_0 при $W_0 = 10,8$ кДж, что качественно согласуется с результатами работы [2], в которой зарегистрировано линейное возрастание скорости тонких пластин от начального напряжения конденсаторов.

При измерениях волновой скорости в ПММА определялось время

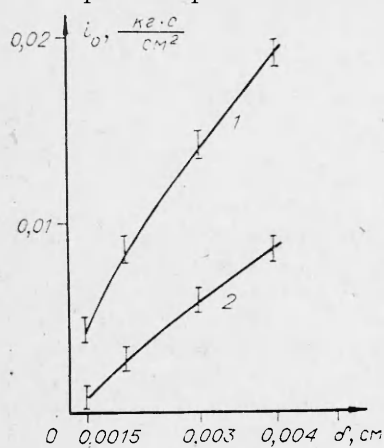


Рис. 2. Зависимость удельного механического импульса преграды от толщины проводника.

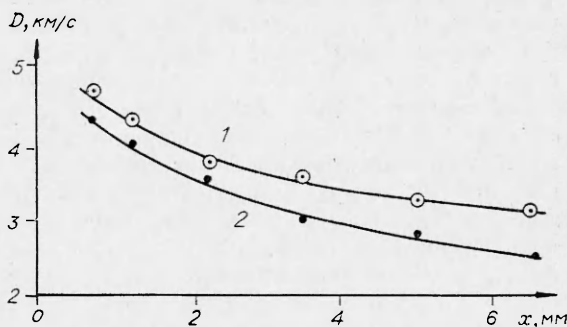


Рис. 3. Зависимость волновой скорости от расстояния ($l = 6$ см, $h = 4$ см, $\delta = 0,04$).

W_0 , кДж: 1 — 16, 2 — 10,8.

дартный пьезоэлемент имел форму диска толщиной 0,3 и диаметром 4,5 мм и размещался для защиты от электромагнитных наводок в тонком металлическом корпусе. Сигналы с пьезодатчиков регистрировались осциллографами типа СУР с рабочей частотой меток 10^7 Гц. Имея в виду малость базы измерения, предполагалось, что средняя волновая скорость совпадает с ее мгновенным значением на середине базы измерения. Координаты середины баз, для которых выполнены измерения волновой скорости D , равны 0,75; 1,25; 2,25; 3,50; 5,00 и 6,50 мм (начало координат совмещено с поверхностью взрыва).

На рис. 3 приведены зависимости волновой скорости от расстояния, пройденного волной. Наиболее вероятная статистическая погрешность определения величины D составляет 2—3%. Как следует из рис. 3, скорость волны в ПММА уменьшается с расстоянием, пройденным волной, т. е. ударная волна затухает. Наиболее сильное затухание ударной волны наблюдается на малых расстояниях от плоскости взрыва, что свидетельствует о кратковременности действия импульса давления на нагружаемой поверхности образца из ПММА.

Результаты выполненных исследований показывают, что осуществление электровзрыва тонкого проводника в контакте с преградой позволяет сообщить ей удельный механический импульс величиной $0,001 \div 0,02$ кг·с/см². При этом максимальные давления в преграде могут достигать величины в несколько десятков кбар.

Поступила в редакцию 26/VIII 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Келлер, Дж. Пеннинг.— В кн.: Электрический взрыв проводников. Т. 2. М.: Мир, 1965.
2. А. Гензер, Д. Вунш, Т. Соунс.— В кн.: Электрический взрыв проводников. Т. 2. М.: Мир, 1965.
3. В. К. Чернышев, В. А. Иванов.— В кн.: Физика импульсных давлений. Тр. ВНИИФТРИ, вып. 44 (74). М., 1979.

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ ЛАЗЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЧАСТИЦ, МЕТАЕМЫХ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНОЙ

*В. М. Бойко, Т. П. Гавриленко, В. В. Григорьев,
А. А. Карнаузов, Ю. А. Николаев, А. Н. Папырин*

(Новосибирск)

В настоящее время большое внимание уделяется детонационно-газовому методу нанесения покрытий на различные инструментальные и конструкционные материалы. Перспективность этого метода обусловлена высокими эксплуатационными свойствами покрытий, которые по ряду параметров существенно превышают свойства покрытий, получаемых газопламенным, плазменным, электродуговым и другими методами [1, 2].

Теоретический анализ проблемы детонационного напыления представляет значительные трудности ввиду большой совокупности сложных физико-химических процессов, имеющих место при ускорении двухфазного потока и его взаимодействии с подложкой. В связи с этим особое значение на современном этапе исследования этой проблемы приобретает постановка новых экспериментов, направленных в первую очередь на исследование физических закономерностей взаимодействия дисперсной фазы с нестационарным потоком газа за фронтом детонационной волны, а также измерение основных параметров двухфазного потока, натекающего на преграду. В частности, одной из наиболее важных задач является разработка методики, позволяющей с высокой точностью