

Д. В. ВИННИКОВ, мл. науч. сотр., ННЦ ХФТИ, Харьков;

А. В. САКУН, зам. нач. фак., канд. биол. наук, факультет военной подготовки НТУ «ХПИ»;

А. П. МЕСЕНКО, инспектор, Гостехногенбезопасность, Киев;

К. В. КОРЫТЧЕНКО, нач. НИЛ, канд. техн. наук, факультет военной подготовки НТУ «ХПИ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КУМУЛЯЦИИ УДАРНЫХ ВОЛН, СОЗДАВАЕМЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЗРЫВОМ ПРОВОЛОЧЕК

В работе рассмотрена кумуляция ударных волн, создаваемых при электрическом взрыве проволоки, применительно к задаче метания тел. Установлено влияние потенциала ионизации материала проволоки на максимальную область расширения продуктов взрыва. Получены осциллограммы токов и напряжений для разрядов через взрывающиеся проволоки при разных потенциалах ионизации материала проволоки.

Ключевые слова: кумуляция ударных волн, электрический взрыв проводника, проволока, метание тел.

Постановка проблемы. Развитие авиационно-космической и военной техники, энергетики и других отраслей промышленности вызывает необходимость детального экспериментального изучения возможных направлений применения ударно-волнового воздействия от электрического взрыва проводника (ЭВП) на конструкционные материалы, с целью изменения их свойств, получения новых фазовых состояний, а также возможности линейного ускорения массивных тел, в том числе диэлектрических.

Явление ЭВП представляет значительный интерес для исследований физики конденсированного состояния, физики плазмы, высокотемпературной теплофизики, высоковольтной электротехники и смежных областей науки [1]. Поэтому изучение протекающих при ЭВП процессов и установление неизвестных закономерностей данного явления необходимы как с научной, так и с практической точек зрения.

Процессы, протекающие при ЭВП, исследованы в работах [2-7]. Получены требования к оптимальным режимам взрыва, условиям согласования, выработаны методики расчета параметров электрической цепи и т.д. Вместе с тем, недостаточно изучены процессы, связанные с кумуляцией ударных волн, создаваемых взрывом проводников при их нецилиндрическом расположении. Поэтому требует исследования возможность применения существующих методик расчета ЭВП применительно к задаче метания тел за счет кумуляция ударных волн, создаваемых при электрическом взрыве проволок.

Цель работы. Экспериментальное исследование возможности кумуляции ударных волн при ЭВП, расположенных в воронке конусной формы. Исследование влияния материала ЭВП, отличающегося потенциалами ионизации, и дуговой стадии разряда на усиление ударного действия волн при ЭВП.

Основная часть. Для осуществления поставленных целей был создан лабораторный стенд, принципиальная электрическая схема которого представлена на рис. 1.

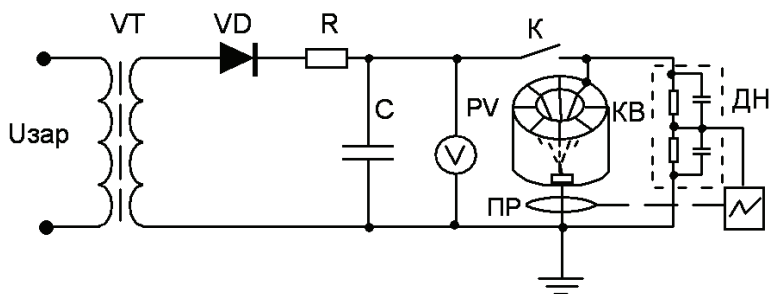


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема установки: VT – высоковольтный трансформатор НОМ – 10; VD – выпрямитель; R – зарядное сопротивление; C – емкостной накопитель; K – ключ; KB – конусная воронка с взрывающейся проволокой; PV – киловольтметр; PP – пояс Роговского; ДН – компенсированный делитель напряжения

В ходе экспериментов применялось следующее диагностическое оборудование: ток измерялся поясом Роговского, с погрешностью измерения 1%, выходное напряжение 1V соответствует току 100A в измеряемой цепи; делитель напряжения Textronix 6015A (1000:1) с возможностью измерения 20kV DC, 40kV в импульсе; делитель напряжения PINTEK_{HVD}-40 максимальное напряжение 28kV AC; мультиметр SANWA CD771; оцифровка данных осуществлялась осциллографом Tektronix TPS2024B с полосой пропускания 200MHz частотой дискретизации 2Gs/s.

Иницирующее устройство выполнено из диэлектрического материала высотой 35 мм и диаметром 50 мм и представляет собой воронку с выемкой конусной формы (угол конусности 60°), в которой симметричным образом расположены проволоки, длина проволок 20 мм, количество 9 шт., материал Cu, Al.

Эффект кумуляции ударных волн в результате ЭВП из Al выглядит следующим образом.

Отчетливо видна направленность воздействия, что обеспечивается формой воронки. Высота плазменного столба 100...150 мм. В ходе экспериментов силовое воздействие определялось метательной способностью устройства. Метались проводящие и не проводящие тела массой 3...100 гр. Данное устройство позволяет метать диэлектрики, т.к. воздействующим фактором

является ударная волна, образующаяся в результате взрыва проводника, что дает преимущества данного метода перед такими как, например, магнитно-импульсная технология и другими, основанными на электромагнетизме.



Рисунок 2 – Воронка с выемкой конусной формы

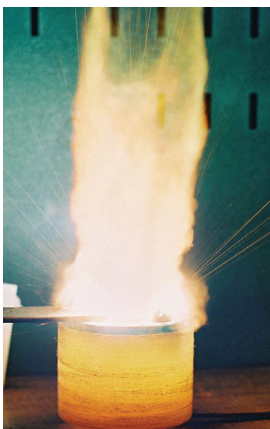


Рисунок 3 – Кумуляция ударных волн

Для повышения эффективности кумулятивного эффекта были рассмотрены геометрические условия согласованного взрыва для алюминиевого проводника, полученные эмпирическим путем, для заданных предварительно энергетических параметров разрядного контура [2]:

$$d_{onm} = 2 \left[\frac{W_0}{z\rho\sigma_0(\lambda + r)} \right]^{1/4}; \quad (1)$$

$$l_{onm} = 2 \cdot 10^{-3} U_0^4 \sqrt{LC}, \quad (2)$$

где d_{onm} , l_{onm} – диаметр и длина проводника в оптимальном режиме взрыва; W_0 – запасенная энергия конденсаторной батареи; ρ – удельная плотность алюминия (2700 кг/м^3), σ_0 – его удельная электропроводность ($37 \cdot 10^6 \text{ см/м}$);

λ – удельная теплота плавления (390 кДж/кг); r – удельная теплота парообразования металла (10900 кДж/кг); z – волновое сопротивление цепи $Z = (L/C)^{1/2}$.

Так для имеющихся параметров $C_0 = 60$ мкФ; $U_0 = 1,5$ кВ, $L_c = 0,1$ мкГн. $d_{онм} = 0,4$ мм; $l_{онм} = 4,8$ мм. Зная длину применяемых в эксперименте проволок, определим оптимальные значения U и C при постоянной $L = 0,1$ мкГн. Пусть $C = 60$ мкФ, тогда $U_{онм} = 6,25$ кВ. Если же мы оставляем $U = 1,5$ кВ, то $C_{онм} = 246$ мкФ.

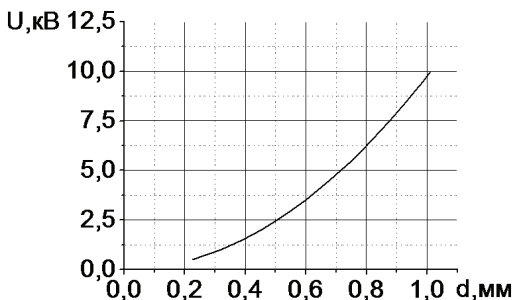


Рисунок 4 – Зависимость d от U при $C = 60$ мкФ, $L = 0,1$ мкГн

Поскольку в наших условиях проще изменять напряжение, то для новых параметров цепи $C_{онм} = 60$ мкФ, $U_{онм} = 6,25$ кВ, $L = 0,1$ мкГн, $d_{онм} = 0,8$ мм. При одновременном использовании 9 проволок диаметр каждой составит 0,08 мм. В настоящей работе эксперименты проводились с проволокой $d = 0,1$ мм, что сравнимо с расчетными данными. В дальнейших экспериментах планируется определить соблюдение условий, описываемых формулами 1, 2, для пакета проволок.

В данной работе рассматривается взрыв проводника без паузы тока. В экспериментах, проводимых с целью метания тел, особое внимание уделялось наличию дуговой стадии разряда, которая начинается после собственно взрыва проводника и характеризуется разрядом по продуктам распада ЭВП. Дуга оказывает на произошедший взрыв сопровождающее действие, обеспечивающее большее расширение разрядного объема. Полагается, что дуговая стадия может усиливать импульс давления, то есть увеличивать метательное действие ЭВП.

Для определения влияния свойств материала проводника на характер разряда были проведены следующие эксперименты. Электрическая схема установки идентична представленной на рис. 1, в качестве нагрузки применялась система с одной проволокой. Способ подключения представлен на рисунке 5 выше

Толщина проволоки из Al $v = 16$ мкм, ширина $h = 0,5 \dots 0,7$ мм (что соответствует $d = 0,11$ мм), длина $l = 10 \dots 25$ мм. Применялась малоиндуктивная

емкость номиналом 7 мкФ (собств. $L = 15\text{нГн}$), общая индуктивность разрядной цепи составила 50 нГн, напряжения заряда емкости равнялось $U = 1,5\text{ кВ}$.

Получены осциллограммы тока, и напряжения ЭВП для заданного способа подключения проволоки. Здесь наблюдается картина характерная с описываемой в литературе [3].

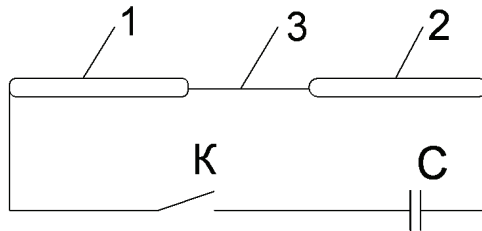


Рисунок 5 – 1,2 – положительный и отрицательный электроды, 3 – проволока, K – ключ, C – конденсатор

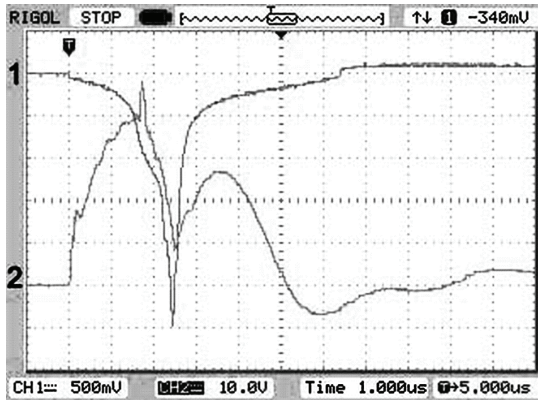


Рисунок 6 – Характерная для ЭВП осциллограмма тока и напряжения: 1 – напряжение, 2 – ток

Видны этапы нагрева проводника (ток и напряжение возрастают), его плавление (небольшой рост кривой напряжения), момент, когда сопротивление растет из-за нарушения металлической проводимости, ток начинает резко падать на фоне резкого скачка напряжения, затем происходит пробой межэлектродного промежутка по продуктам взрыва проводника, горит дуга. Из осциллограмм видно, что время жизни твердой фазы 2...2,5 мкс, время расплавленного состояния 0,2...0,4 мкс, время жизни дугового разряда 2,5...4 мкс. Напряжение в момент скачка превышает напряжение на конденсаторе и составляет $U = 3\text{ кВ}$, $I = 3,5\text{ кА}$.

На рисунках, представленных ниже, отображены результаты статического фотографирования взрывов различных материалов и соответствующие

им осциллограммы тока.

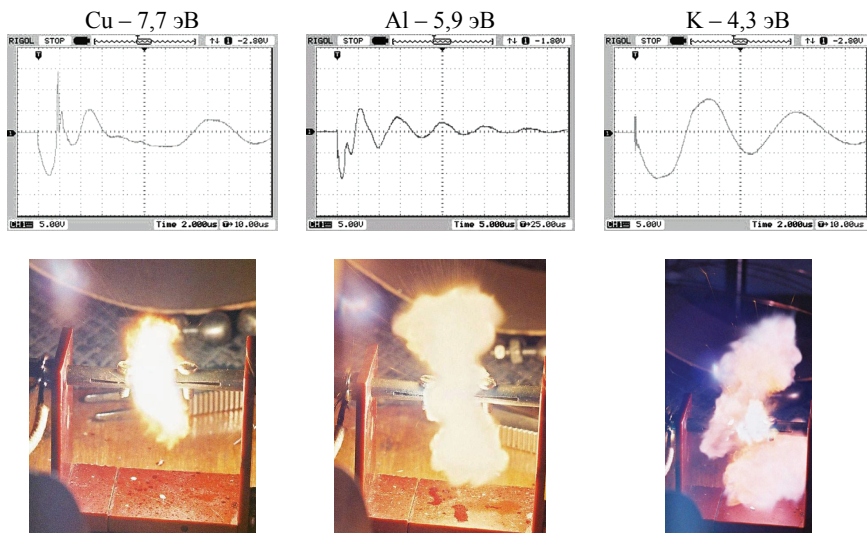


Рисунок 7 – Осциллограммы тока и соответствующие им фотографии ЭВП

Фотосъемка производилась фотоаппаратом ФЭД, в затемненных условиях, при открытом в момент взрыва затворе, так что на пленке фиксировались конечная стадия ЭВП, соответствующая максимальному расширению светящейся области. По нашему мнению характер взрыва зависит от материала проводника, а именно от его потенциала ионизации. Он самый низкий у калия, что приводит к более быстрому созданию и нагреву плазмы, что видно из осциллограммы. На фото видно, что в данном случае газодинамическое расширение наибольшее у калия, при прочих равных параметрах.

Выводы:

1. На основании предварительных экспериментальных исследований считается целесообразным применение эффекта кумуляции ударных волн, создаваемых при взрыве проволоки для метания тел.

2. Экспериментально установлено влияние потенциала ионизации материала проводника на газодинамическое расширение. Получено, что в случае снижения потенциала ионизации материала ЭВП при прочих равных параметрах разрядной цепи, со снижением потенциала ионизации возрастает конечная область расширения продуктов взрыва, уменьшается время задержки перехода к дуговой стадии. На основании полученных результатов полагается, что усиление ударного действия волн при ЭВП может быть достигнуто за счет применения материалов ЭВП с низким потенциалом ионизации.

Список литературы: 1. Григорьев А.Н. Автореферат. Исследование электрического взрыва про-

водников как источника импульсного давления. <http://www.referun.com/n/issledovanie-elektricheskogo-vzryva-provodnikov-kak-istochnika-impulsnogo-davleniya>. 2. С.А. Хайнацкий Условия реализации оптимального электрического взрыва проводников в жидкости // Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев. 3. Ю.А.Котов Электрический взрыв проволоки – метод получения слабоагрегированных нанопорошков // Институт электрофизики УрО РАН. 620016, Екатеринбург, ул.Амундсена, 106, e-mail:kotov@ier.uran.ru. 4. Д.Б.Кучер, Т.В.Зонтова Длительность механизма быстрого электрического взрыва проводников под воздействием токов спирального взрывоманитного генератора // Академия военно-морских сил имени П.С.Нахимова, ул. Дыбенко 1А, Севастополь, 99028. 5. С.Ю.Давыдов О соотношении потенциала ионизации и работы выхода: металлы // Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет, 197376 Санкт-Петербург, Россия. 6. А.Н. Григорьев Потери энергии в разряднике и его коммутационная характеристика при электрическом взрыве проводника // НИИ высоких напряжений Томского политехнического университета. 7. В.И.Орешкин, С.А.Баренгольц, С.А. Чайковский Численные исследования интегрального удельного действия тока при электрическом взрыве проводников // Институт силовоточной электроники СО РАН 634055 Томск, Россия; институт общей физики РАН 119333 Москва, Россия; Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН 119991 Москва, Россия.

Поступила в редколлегию 19.10.2012

УДК 621.746.044.4.001.57

Экспериментальное исследование кумуляции ударных волн, создаваемых электрическим взрывом проволочек / Д. В. Винников, А. В. Сакун, А. П. Месенко, К. В. Корытченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2012. – № 52 (958). – С. 42-48. – Бібліограф.: 7 назв.

У роботі розглянута кумуляція ударних хвиль створюваних при електричному вибуху дроту, у тому числі для метання тіл. Встановлено вплив потенціалу іонізації матеріалу дроту на кумуляцію ударних хвиль. Отримані вольт амперні характеристики розрядів дротів. Визначені оптимальні геометричні розміри дроту. Встановлена можливість метання тіл, що проводять струм, так і діелектричних тіл. Потрібно продовжити дослідження впливу дугової стадії розряду на метання тіл.

Ключові слова: кумуляція ударних хвиль, електричний вибух провідника, дріт, метання тіл.

Shock waves cumulation created by the electrical wire explosion for the throwing of objects has been considered. Ionization potential influence produced by the wire material on the shock waves cumulation has been established. Current – voltage curves of wire discharges have been obtained. Optimal geometric dimension of wires have been determined. The throwing capability of conductors and non – conductors have been established. The arc stage of discharge influence on object throwing requires further research.

Keywords: Shock wave cumulation, electrical wire explosion, wire, object throwing.