

УДК 537.528

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПРОВОДНИКОВ В ЖИДКОСТИ

ГАСАНОВ И.С., ГУСЕЙНОВ Э.К., *САЛМАНОВ В.М., АГАЕВА А.А.

*Институт Физики АзАН, *Бакинский Государственный Университет*

Изучались условия создания высокого давления в жидкости (H₂O) при взрыве металлических проволок электрическим током. Разработано и создано экспериментальное устройство с импульсным разрядом конденсаторной батареи посредством тригатрона. Наиболее высокое давление (2,3·10⁸ Па) достигнуто при взрыве алюминиевой проволоки. Данный способ компрессии жидкости может быть использован для испытания на прочность различных конструкций, локального разрушения горных пород, имитации сейсмической активности и т.п.

Электрический взрыв в жидкости

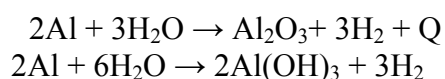
Одним из способов создания давления величиной порядка 10⁸ Па является импульсный электрический разряд в жидкости. Подобного рода разряд применяется в промышленности при технологических операциях по штамповке, пробивке отверстий, формовке деталей и т.п. [1]. Однако, этот метод требует высоких напряжений величиной десятки киловольт между электродами, находящимися на значительном расстоянии друг от друга.

Приведенная выше величина давления достигается также аккумуляцией энергии посредством многоочагового электрического разряда. Пробой жидкости происходит в узком зазоре между электродами в форме сегмента сферы; поверхность одного из электродов покрыта остриями малой высоты. В таком устройстве, применяемом в медицине, было получено давление 2,6·10⁷ Па с длительностью импульса около 1 мкс при напряжении 10 кВ [2]. Данный метод требует специальной технологии изготовления электродов; получаемые импульсы имеют очень малую длительность.

Оптимальным методом сжатия жидкости представляется электрический взрыв проводников, так как в этом случае достигается большее давление при меньшем энергозатрате. Последнее объясняется тем, что в результате экзотермической реакции испаряющегося металла с продуктами разложения жидкости, увеличивается как амплитуда давления, так и длительность импульса [3,4].

Сказанное можно проиллюстрировать путем сопоставления характеристик взрывов алюминиевой и медной проволок, проведенных в одинаковых условиях.

Если проводник протянут вдоль оси цилиндрической камеры, то при взрыве температура паров алюминия в приосевой области может достигать 3000 К [3]. В результате возможны химические реакции:



Выделяемая в первой реакции удельная теплота достаточно велика: Q = 1680 кДж/кг. Энергия экзотермической реакции приводит к дополнительному нагреву ее продуктов до высокой температуры, и они развивают большое давление. Влияние на возрастание давления оказывает также образующийся в обеих реакциях водород.

При взрыве медной проволоки химическая реакция не происходит и после взрыва в осадок выпадает порошок чистой меди. В указанных экспериментах при взрыве алюминия давление в воде оказалось в два раза выше, чем при взрыве меди.

Химические реакции приводят также к заметному увеличению длительности импульсного давления. Это происходит вследствие электрического пробоя парогазовой смеси при ее ионизации ультрафиолетовым излучением, которое сопровождает взрыв проволок. Как показывают осциллограммы разряда, после сгорания проволоки между электродами еще остается некоторое напряжение, тем большее, чем больше начальное напряжение. Взрыв медной проволоки протекает за период не более 0,2 мс, определяемый электрической цепью разряда. В случае же алюминиевой проволоки длительность импульса давления достигала 2 мс.

Экспериментальное устройство и измерения

Разрядная камера представляет собой толстостенную трубу с внутренним диаметром 60 мм и длиной 150 мм; объем камеры 420 см³ (рис.1). С торцов камера 1 соединялась с прочными фланцами. В качестве уплотнения между соединяемыми деталями использовалась свинцовая прокладка. Электроды изолировались от корпуса посредством прочного термостойкого диэлектрика-капролона. Взрываема проволока протягивалась вдоль оси камеры, ее активная длина составляла $l=130$ мм.

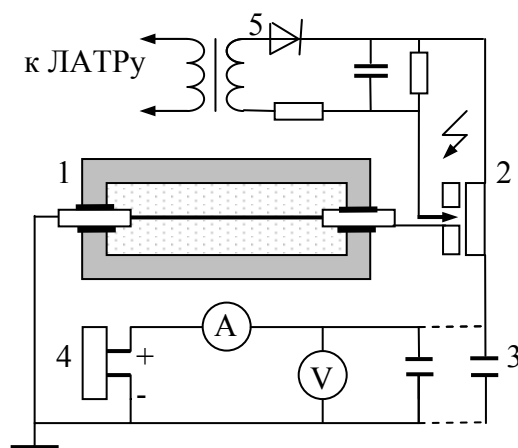


Рис.1. Схема разряда в жидкости:

- 1-камера с проволокой; 2-электронный ключ-тригatron;
- 3-батарея конденсаторов; 4-источник высокого напряжения;
- 5-схема запуска тригatronа.

Батарея конденсаторов 3 с общей емкостью 1,5 мФ заряжалась посредством высоковольтного источника 4 до напряжения 3 кв. При этом максимальная энергия батареи $W = CU^2/2$ составляла 6,75 кДж.

Замыкание цепи осуществлялось с помощью тригatronа 2, в котором происходит ионизация воздуха между двумя плоскими графитовыми шайбами диаметром 50 мм. Зазор между шайбами составлял 1-2 мм. Импульс напряжения запуска амплитудой до 1,5 кВ задавался от выпрямителя с однопериодной схемой выпрямления 5. Указанная величина амплитуды импульса определяется напряженностью поля пробоя воздуха, которая при обычных условиях составляет 30 кВ/см. После зарядки батареи запуск тригatronа происходил в результате искрения в центральном отверстии одной из шайб между стенкой канала и изолированной вольфрамовой проволокой диаметром 1 мм.

В разрядную камеру 1 заливалась дистиллированная вода.

Для измерения давления в жидкости в центральной части боковой стенки было просверлено отверстие диаметром 8 мм. Датчиком давления служили крешеры длиной 10 мм и диаметром 6 мм, изготовленные из отожженного медного прутка. Импульс силы передавался от жидкости к крешеру через стальной цилиндр диаметром 10 мм, не допускавшего вытекания жидкости из камеры. Для получения градуировочной кривой крешеры из одной партии подвергались статическому сжатию под прессом марки ПГПр, усилие которого измерялось динамометром ДОСМ-3. Величина укорочения крешеров определялась микрометром ; градуировочная кривая показана на рис.2.

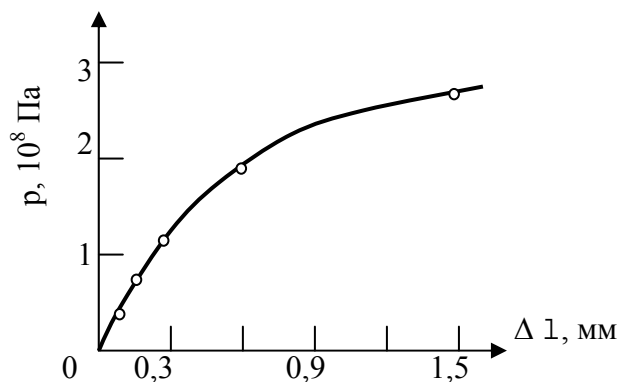


Рис.2. Зависимость продольного сжатия крешеров от статического давления.

Из вышеизложенного следует, что давление, развиваемое при взрыве, определяется несколькими параметрами разряда. При фиксированной энергии батареи максимальное давление должно достигаться при вполне определенном диаметре проволоки, что следует из баланса омического нагрева и релаксации выделившейся теплоты. В экспериментах оптимальный диаметр алюминиевой проволоки оказался равным 1 мм (рис.3) при энергии батареи 2,4 кДж. Как видно из графика, достигнутое максимальное давление составляло $2,3 \cdot 10^8$ Па.

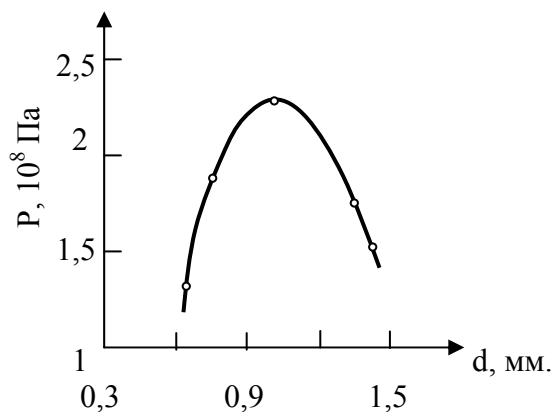


Рис.3. Зависимость давления в жидкости от диаметра взрывающей проволоки: алюминий, $W = 2,4$ кДж, $l = 130$ мм.

Представляет интерес сопоставление энергетических возможностей взрываемых проводников из разных металлов. С этой целью были испытаны алюминиевая и медная проволоки с одинаковым диаметром 1 мм. Эксперименты подтвердили существенное преимущество алюминия в отношении давления взрыва. Для получения одинакового

давления в случае медной проволоки требуется приблизительно в 3 раза больший запас энергии, чем при взрыве алюминиевой (рис. 4).

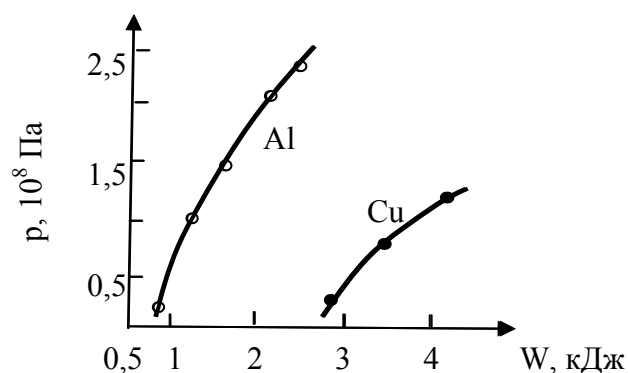


Рис.4. Зависимость давления в жидкости от энергии батареи для разных материалов проволоки: $d=1$ mm, $l=130$ mm.

Следует отметить, что из-за компактности разрядной камеры, затраты энергии для взрыва сравнительно невелики. Так, для получения рабочего давления в воде 10^8 Па в случае алюминиевой проволоки диаметром 1 мм требуется энергия 1,2 кДж.

Разработанная конструкция устойчива к ударным воздействиям, срабатывание всех узлов системы надежное, параметры электрического взрыва воспроизводимые.

Заключение

Электрический взрыв проводников является простым и эффективным способом компрессии жидкости. Как показали эксперименты, увеличением энергии батареи возможно получение больших давлений при достигнутом его значении 2300 атм. Импульсную энергию разряда можно как распределить на большой поверхности, так и аккумулировать в малом объеме. Недостатком метода является необходимость замены проводника после каждого взрыва.

Исследованная методика может быть применена для испытания на прочность различных (например, сварных) конструкций, пробивания отверстий в прочных материалах, создания ударных нагрузок, разработки специальной медицинской техники.

1. Ю.П.Рязанцев. Электрический разряд в жидкости и его использование в металлообработке. М., ИНИИ "Электроника", (1990), стр.40.
2. В.С.Тесленко, А.И.Жуков, В.В.Митрофанов, А.П.Дрожжин. Генерация и фокусировка ударно-акустических волн в жидкости многоочаговым электрическим разрядом, ЖТФ, (1999), том 69, вып.4, с.138-140.
3. В.П.Кортхонджия, М.О.Мдивнишвили, М.И.Тактакишвили. О создании импульсного давления в жидкости с помощью металлической плазмы и измерения его некоторых характеристик. ЖТФ, (1999), том 69, вып.4, с.41-43.
4. М.О.Мдивнишвили, В.П.Кортхонджия. Химические реакции при высоких температурах как источник импульсного давления. Письма в ЖТФ, (1999), том 25, вып.13, с.10-14.

MAYEDƏ KEÇİRİCİLƏRİN ELEKTRİK PARTLAYIŞININ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

HƏSƏNOV İ.S., HÜSEYNOV E.K., SALMANOV V.M., AĞAEVA A.A.

Elektrik cərəyanla metalik məftillərin partlayışı zamanı mayedə (H_2O) yüksək təzyiqin yaradılmasının şəraitləri öyrənilmişdir. Triqatronla kondensator batareyasının impulsu boşalması ilə eksperimental qurğu işlənilib yaradılmışdır. Ən yüksək təzyiq ($2,3 \cdot 10^8$ Pa) aluminium məftilin partlayışında əldə edilmişdir. Mayenin verilən komperssiya üsulu müxtəlif konstruksiyaların möhkəmliyə görə sınınilması, süxurların lokal dağıdılması, seysmik fəallığın təqlid edilməsi üçün istifadə oluna bilər.

PECULIARITIES OF ELECTRICAL EXPLOSION OF CONDUCTORS IN A LIQUID

GASANOV I.S., HUSEYNOV E.K., SALMANOV V.M., AGAEVA A.A.

The condition of creation of high pressure in a liquid (H_2O) was studied by an explosion of metallic wires by an electrical current. It is worked and assembled the experimental system with a pulse discharge of capacitor battery by a trigatron. The highest pressure ($2,3 \cdot 10^8$ Pa) is reached by the explosion of aluminum wire. The given method of liquid compression may be used for durability testing of various constructions, for local destruction of rocks, for imitation of seismic activity and e. c.