

03;04;12

Химические реакции при высоких температурах как источник импульсного давления

© В.П. Кортхонджия, М.О. Мдивнишвили

Институт физики АН Грузии, Тбилиси

Поступило в Редакцию 13 октября 1998 г.

В окончательной редакции 2 марта 1999 г.

Показано, что, если при взрыве проволоки в жидкости происходит химическая реакция между материалом проволоки и жидкостью, в которой взрывается проволока, основным механизмом создания импульсного давления являются продукты химической реакции.

1. Известен [1,2] способ создания импульсного давления с помощью взрыва проволоки в жидкости. В нем жидкость служит лишь средой, передающей давление, созданное в результате взрыва проволоки. Источником импульсного давления является металлическая плазма, образовавшаяся в результате прохождения импульсного тока большой величины — порядка сотен килоампер через металлический проводник.

2. Как показали эксперименты, параметры импульсного давления существенно зависят от пары проводник–жидкость, в которой взрывается проволока.

Ниже мы попытаемся ответить на ряд вопросов, связанных со взрывом проволоки в жидкости. Основной из них: что является источником создания импульсного давления при наличии химической реакции.

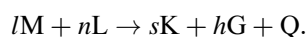
3. При взрыве в воде медной и алюминиевой проволок, если энергия конденсаторной батареи одинакова, ≈ 11 кДж, то массы взрывааемых проволок равны: меди 2.1 г, алюминия 1 г. Развиваемые импульсные давления $\approx 5 \cdot 10^7$ и $\approx 8 \cdot 10^7$ Па, а их длительности ≈ 0.18 и ≈ 0.8 мс соответственно.

Осциллограммы тока разряда и напряжения при взрыве в воде медной и алюминиевой проволок сильно отличаются. В случае медной проволоки [2] наблюдается пик тока разряда, связанный со взрывом медной проволоки. Осциллограмма напряжения показывает, что часть

энергии конденсаторной батареи израсходовалась на взрыв, а часть осталась неиспользованной. В случае же алюминия после импульса тока разряда, связанного со взрывом алюминия, виден более широкий импульс. Осциллограмма напряжения показывает, что вся энергия конденсаторной батареи израсходовалась.

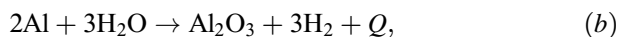
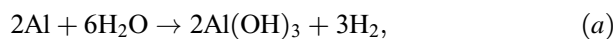
На рис. 1, *a, b* приведены первые 18 кадров, полученных с помощью скоростного фоторегистратора, работавшего в режиме лупы времени взрыва алюминия в воде. Нижний левый крайний кадр — первый, верхний — второй и т. д. Экспозиция соответствует 0.02 ms. Видно, что за ≈ 0.15 ms значительно ослабляется свечение (рис. 1, *a*), связанное со взрывом алюминия, и примерно с 0.16 ms (рис. 1, *b*) начинается яркое свечение, связанное с пробоем продуктов реакции. Это свечение длится примерно 0.8 ms. На рис. 1, *c* приведены осциллограммы тока разряда — верхний луч и напряжения — нижний луч при взрыве алюминия в воде. Левый крайний пик на осциллограмме тока разряда соответствует взрыву алюминия. Длительность тока разряда примерно 0.15 ms. Последующие связаны с пробоем продуктов реакции. Общая длительность тока разряда, связанного со взрывом алюминия, и тока, связанного с пробоем парогазовой смеси, составляет примерно 0.8 ms, что хорошо согласуется с длительностью свечения разряда, зарегистрированного СФР-м.

В общем виде химическая реакция может быть представлена так:



Взаимодействие l атомов металла M с n молекулами жидкости L приводит к образованию s молекул соединения K и h молекул газа G , Q — теплота реакции.

В случае взрыва в воде алюминиевой проволоки температура может достигать температуры испарения алюминия — 2720 К и могут иметь место реакции:



$$Q = -1680 \text{ kJ/m [3].}$$

Химическая реакция происходит и при взрыве циркония в воде [4].

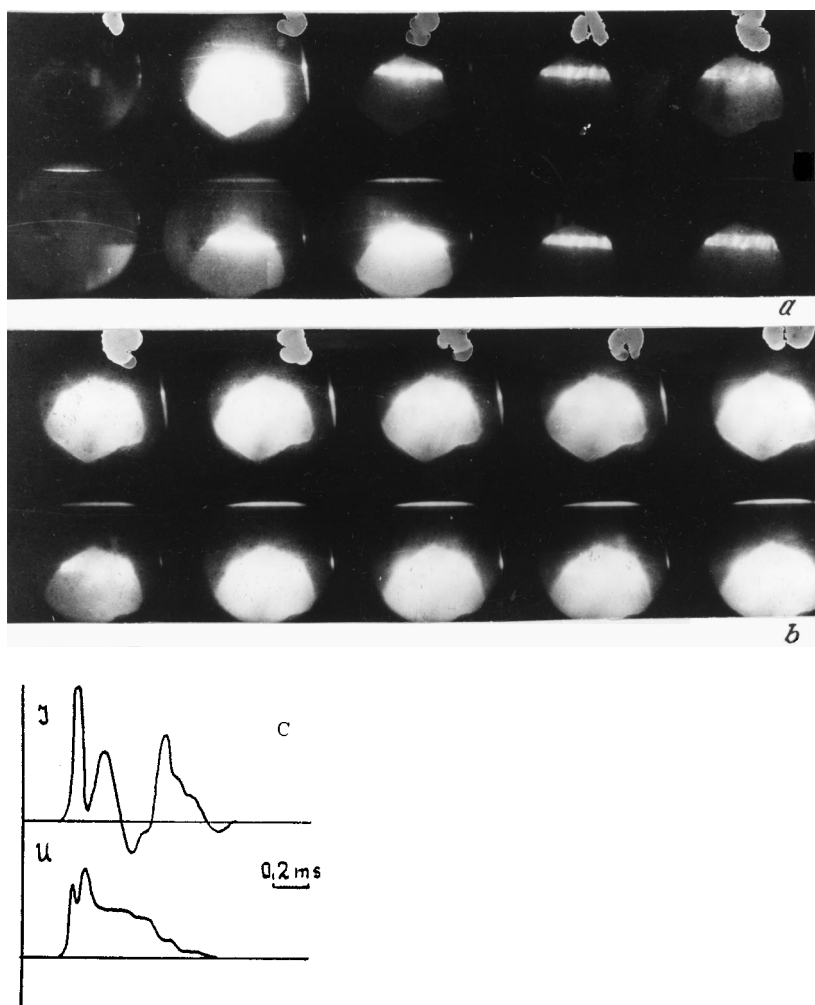


Рис. 1. СФР-грамма взрыва алюминиевой проволоки в воде (*a, b*); осциллограмма тока разряда — верхний луч и напряжения — нижний луч при взрыве алюминия в воде (*c*). Разрядное напряжение $U = 5$ kV.

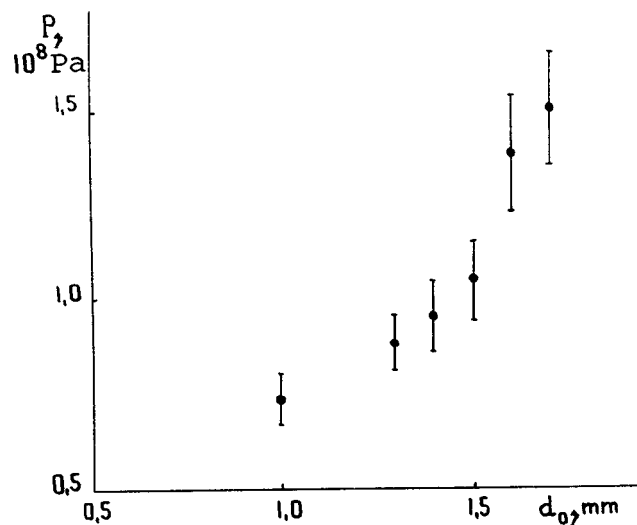
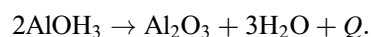


Рис. 2. Зависимость амплитуды импульсного давления от диаметра взрывающейся в воде алюминиевой проволоки d_0 . Разрядное напряжение $U = 5$ kV.

Если преимущественно идет реакция (а), то ввиду высокой температуры она завершается переходом



В результате этой реакции образуется парогазовая смесь, которая ионизируется мощным ультрафиолетовым излучением, сопровождающим взрыв проволоки. Поскольку на разрядном промежутке остается достаточно напряжения для пробоя парогазовой смеси, то происходит ее пробой. Он происходит тем раньше, чем больше напряжения приложено к разрядному промежутку. С этим связано происхождение более широкого импульса тока разряда, о котором речь шла выше. При взрыве меди химическая реакция не происходит и после взрыва в осадок выпадает порошок чистой меди. В случае же взрыва в воде алюминия получается взвесь Al_2O_3 в воде, и если масса алюминия ~ 1 г, то выделяется тепло ~ 15 кДж. Вода массой 700 г нагревается на 20°C . Если бы вся энергия конденсаторной батареи ~ 5.4 кДж ушла на нагрев этого количества воды, то ее температура повысилась бы на 8°C .

Выделение большого количества энергии 1680 кДж/м около канала разряда в результате экзотермической химической реакции приводит к нагреву ее продуктов до высокой температуры ($\sim 7.8 \cdot 10^3$ К), и они развивают большое давление. Подробнее об этом в статье, которая будет опубликована.

На рис. 2 представлены экспериментальные результаты измерения зависимости амплитуды импульсного давления от диаметра d_0 взрываемой в воде алюминиевой проволоки, ее длина равна 320 мм. Амплитуда импульсного давления измерялась у стенки цилиндрического сосуда, диаметр сечения которого $d = 5.5$ см.

Химическая реакция, которая является процессом более медленным, чем электрический взрыв проволоки, и пробой газообразных продуктов этой реакции увеличивают длительность импульса давления, в результате чего она может в случае взрыва в воде алюминиевой проволоки достигать нескольких миллисекунд. В случае же взрыва проволоки в жидкости без химической реакции эта длительность определяется длительностью тока разряда и в нашем случае при взрыве медной проволоки в воде не превышает 0.2 мс.

4. Таким образом, если при взрыве проволоки в жидкости имеет место химическая реакция между взрывающейся проволокой и жидкостью, в которой происходит взрыв, основным источником создания импульсного давления являются газообразные продукты химической реакции.

Список литературы

- [1] *Кривицкий Е.В.* Динамика электровзрыва в жидкости. Киев: Наук. думка, 1986. 400 с.
- [2] *Кортхонджия В.П., Мдивнишвили М.О., Тактакишвили М.И.* // ЖТФ. 1999 (в печати).
- [3] *Кэй Дж., Лэби Т.* Таблицы физических и химических постоянных / Пер. с англ. Под ред. К.П. Яковлева. С. 172. М.: Физматгиз, 1962. 247 с.
- [4] *Электрический взрыв проводников* / Пер. с англ. Под ред. А.А. Рухадзе и И.С. Шпигеля. С. 239–259. М.: Мир, 1965.