

03;05

Влияние абсорбированного водорода на импульс давления при электрическом взрыве титановой фольги

© А.Н. Григорьев, А.В. Павленко

Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский НИИ технической физики им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Челябинская область
E-mail: grigoriev@snz.ru, dep5@vniitf.ru

Поступило в Редакцию 17 марта 2010 г.

Рассмотрено влияние абсорбированного металлом водорода на импульс давления, генерируемый при электровзрыве титановой фольги. Результаты проведенного эксперимента позволяют сделать заключение о существенном влиянии абсорбированного водорода на величину ударной волны, генерируемой при электрическом взрыве фольги — при взрыве титановой фольги, насыщенной на 0.42 mass.% водородом, происходит увеличение амплитуды давления на 53%.

Электрический взрыв фольг (ЭВФ) в газовых и конденсированных средах позволяет получать ударные волны с различной амплитудой и площадью нагружения [1–4]. Как было показано в работе [4], одним из способов изменения амплитуды импульса давления является регулирование введенной во взрываемую фольгу удельной (на единицу массы) энергии w (импульс давления образуется при уровне введенной энергии $w \geq 0.4 w_c$, где w_c — удельная энергия сублимации металла). Повышение введенной относительной энергии w/w_c позволяет увеличить амплитуду генерируемой ударной волны при ЭВФ. При этом в силу существующих ограничений по изменению параметров разрядного контура не всегда имеется возможность достигнуть требуемой величины введенной в фольгу энергии w/w_c . В связи с чем актуальным является поиск других способов повышения амплитуды давления в ударной волне при ЭВФ.

Как свидетельствуют результаты работ [5], насыщение проволоочки Pd водородом приводит к уменьшению времени нарастания импульса

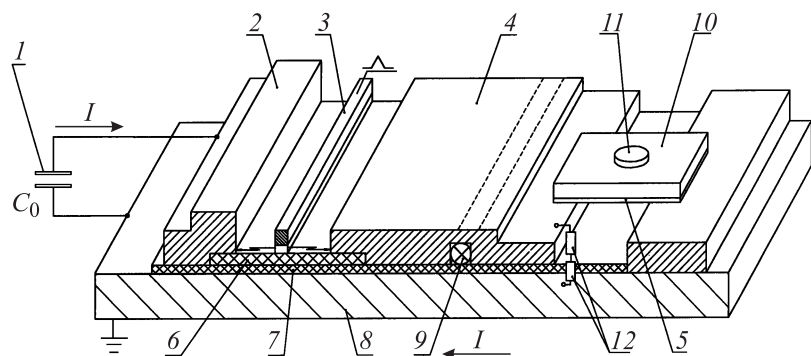


Рис. 1. Схематическое изображение экспериментального стенда: 1 — конденсаторная батарея, 2 — высоковольтный электрод, 3 — управляющий электрод, 4 — коллектор, 5 — взрываемая фольга, 6 — диэлектрик, 7 — изоляция, 8 — обратный токопровод, 9 — пояс Роговского, 10 — диэлектрическая пластина (подложка) из полиметилметакрилата, 11 — датчик давления, 12 — омический делитель напряжения.

напряжения и соответствующему увеличению его амплитуды. Существующая связь между импульсами давления и напряжения при взрыве проволочек [6] позволяет предположить, что в случае насыщения металла водородом также будет увеличиваться и амплитуда генерируемого давления. Поэтому применительно к задаче повышения давления в ударной волне и увеличения коэффициента преобразования электрической энергии контура в энергию ударной волны очень перспективным может оказаться использование металлов, насыщенных водородом.

Цель данной работы — получение экспериментальных данных по влиянию абсорбированного водорода на импульс давления при электрическом взрыве фольги Ti.

Электрический взрыв фольги осуществлялся на экспериментальном стенде (рис. 1) с параметрами: емкость конденсаторной батареи C_0 составляла $23 \mu\text{F}$, индуктивность разрядного контура L_c составляла $\sim 100 \text{ пН}$, зарядное напряжение $U_0 = 30 \text{ kV}$. Стенд собран в виде единого модуля с управляемым разрядником, использующим явление пробоя по поверхности твердого диэлектрика (рис. 1) [7].

Регистрация тока $I(t)$ в контуре осуществлялась с помощью пояса Роговского 9. Падение напряжения $U_f(t)$ на взрывае­мой титановой фольге 5 (длина — 45 mm, ширина — 20 mm, толщина — 90 μm) измерялось с помощью омического делителя напряжения 12. Регистра­ция сигналов проводилась с помощью четырехканального осциллографа Tektronix TDS 3034. Погрешность измерений не превышала 8%.

Для регистрации импульса давления использовался цилиндрический кварцевый датчик давления 11, работающий в токовом режиме [8]. Для этого на фольгу с одной стороны наклеивалась пластина (подложка) 10, выполненная из полиметилметакрилата (толщина 3 ± 0.05 mm), на свободную поверхность которой крепился датчик давления 11. Датчик устанавливался в центральной области сборки. Диаметр датчика давлени­я составлял 15 mm. Толщина датчика 5 mm позволяла регистрировать импульс давления длительностью до 0.85 μs . При проведении каждого опыта датчик и подложка разрушались в отраженной от свободной поверхности волне растяжения.

Введенная в фольгу энергия рассчитывалась по осциллограммам тока и напряжения:

$$E(t) = \int U(t)I(t)dt,$$

где $U(t) = U_f(t) - L_f dI/dt$ — активное падение напряжения на взрывае­мой фольге. При этом предполагалось, что индуктивность фольги L_f постоянна и не зависит от времени.

При подготовке к насыщению водородом титановые фольги пред­варительно отжигались в вакууме при температуре 650°C в течение 60 min, затем насыщались водородом под давлением 0.65 atm. Тем­пература насыщения составляла 650°C, время насыщения — 20 min. В результате насыщения фольги водородом ее начальное сопротивление увеличивалось несущественно — в пределах 5% — с 12 до 12.5 m Ω . Незначительное изменение сопротивления титана при насыщении его водородом, вероятно, связано с тем обстоятельством, что гидриды титана имеют преимущественно металлический тип связи [9].

На рис. 2, *a–b* приведены амплитудно-временные профили тока $I(t)$, напряжения $U_f(t)$ и давления $P(t)$, зарегистрированные при взрыве обычной (Ti) и насыщенной водородом (Ti–H, 0.42 mass. %) титановых фольг (энергия, введенная в фольгу Ti–H до ее взрыва, несколько меньше энергии, введенной в фольгу Ti, рис. 2, *c*). Как видно из рис. 2,

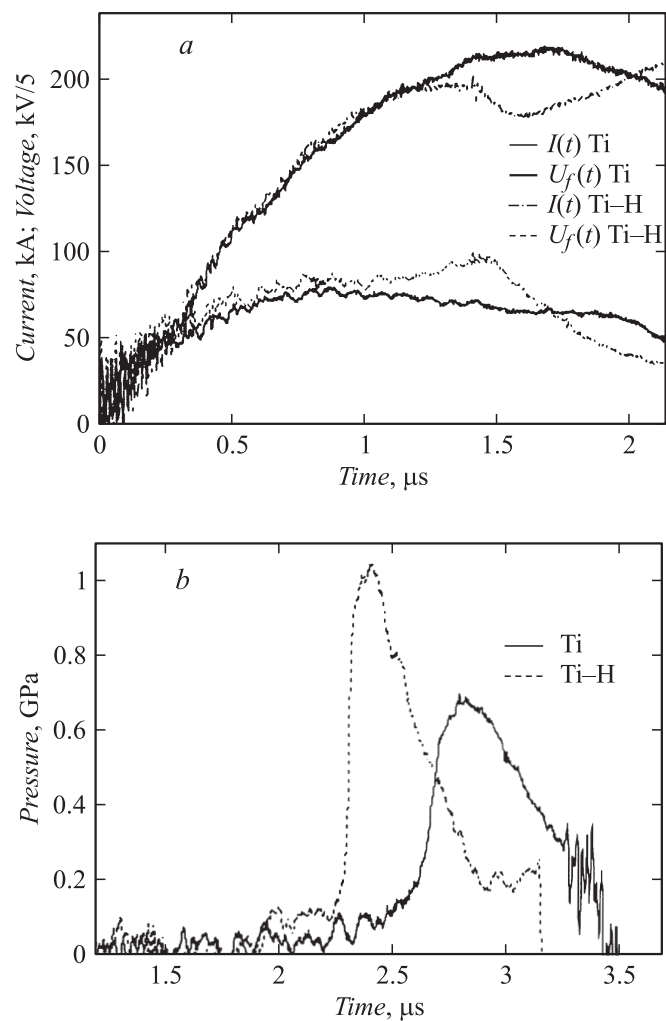


Рис. 2. Амплитудно-временные зависимости тока в контуре $I(t)$, напряжения на взрывающейся фольге $U(t)$ (a), давления (b) и введенной в фольгу энергии (c) при взрыве обычной и насыщенной водородом титановых фольг. Насыщение водородом 0.42 mass. %.

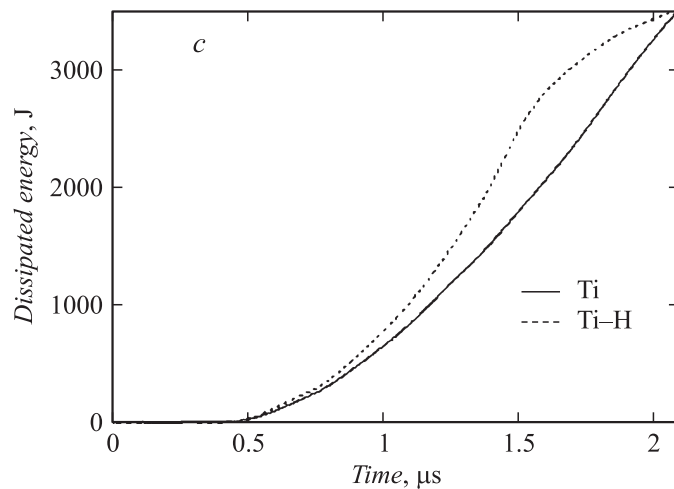


Рис. 2 (продолжение).

при взрыве титановой фольги, насыщенной водородом, происходит увеличение амплитуды импульса напряжения, взрыв происходит раньше и амплитуда давления возрастает на 53%.

Известно [10,11], что кристаллическая решетка переходных металлов за счет сорбции водорода приобретает дополнительную внутреннюю энергию, что приводит к уменьшению энергии связи матричных атомов металла. Поэтому наиболее вероятными причинами увеличения амплитуд импульсов напряжения и давления являются более высокое сопротивление и низкая энергия сублимации w_c насыщенной водородом фольги Ti.

Также следует отметить, что легирование алюминия Li (2.5 mass.%) приводит к изменению характеристик ударной волны и снижению доли энергии, введенной во взрываемую проволочку [6]. Так, в области введенных энергий порядка энергии сублимации w_c происходит увеличение амплитуды и уменьшение длительности фронта ударной волны.

Таким образом, для повышения давления в ударной волне и увеличения коэффициента преобразования электрической энергии контура в энергию ударной волны перспективным является использование металлов, насыщенных водородом. Экспериментальные результаты с

титановой фольгой, насыщенной на 0.42 mass.% водородом, позволяют сделать заключение о существенном влиянии абсорбированного водорода на величину ударной волны, генерируемой при электрическом взрыве титановой фольги.

Поскольку насыщение металла водородом увеличивает амплитуду генерируемого давления, целесообразно продолжить исследования по возможности получения предельных импульсов давления при использовании различных металлов с соответствующим поиском оптимальных концентраций водорода.

Авторы благодарны А.М. Лидеру за насыщение фольг водородом и В.С. Седому за ценные замечания.

Список литературы

- [1] *Острик А.В., Петровский В.П.* // ПМТФ. 1993. № 1. С. 133–137.
- [2] *Афанасьев В.Н., Галицкий М.В.* и др. // Экстремальные процессы и состояния: Труды V Забабахинских научных чтений. Снежинск, 1999. С. 127–128.
- [3] *Keller D., Penning J.* // Exploding wires. V. 2 N.Y.: Plenum Press. 1962. P. 259.
- [4] *Григорьев А.Н., Павленко А.В.* // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 35. В. 18. С. 65–72.
- [5] *Кульгавчук В.М.* // ЖФХ. 1962. Т. 36. № 8. С. 1713–1716.
- [6] *Lee W.M., Ford R.D.* // J. Appl. Phys. 1988. V. 64. № 8. P. 3851–3854.
- [7] *Grigoriev A.N., Pavlenko A.V.* // IEEE Trans. on Dielectric and Electr. Insul. 2007. V. 14. N 4. P. 964–967.
- [8] *Graham R.A., Neilson F.W., Benedick W.B.* // J. Appl. Phys. 1965. N 5. P. 1775–1783.
- [9] *Корнилов И.И.* Титан. Источники, составы, свойства, металлохимия и применение. М.: Наука, 1975. 308 с.
- [10] *Пискунов Н.В., Синякин Ю.Т., Кульгавчук В.М.* и др. // Инженерно-физический журнал. 2001. Т. 74. № 5. С. 120–122.
- [11] *Синякин Ю.Т.* // Экстремальные процессы и состояния: Труды VII Забабахинских научных чтений. Снежинск, 2003. С. 89.