АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXXIII 1987 Вып. 4

ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

УДК 534.232

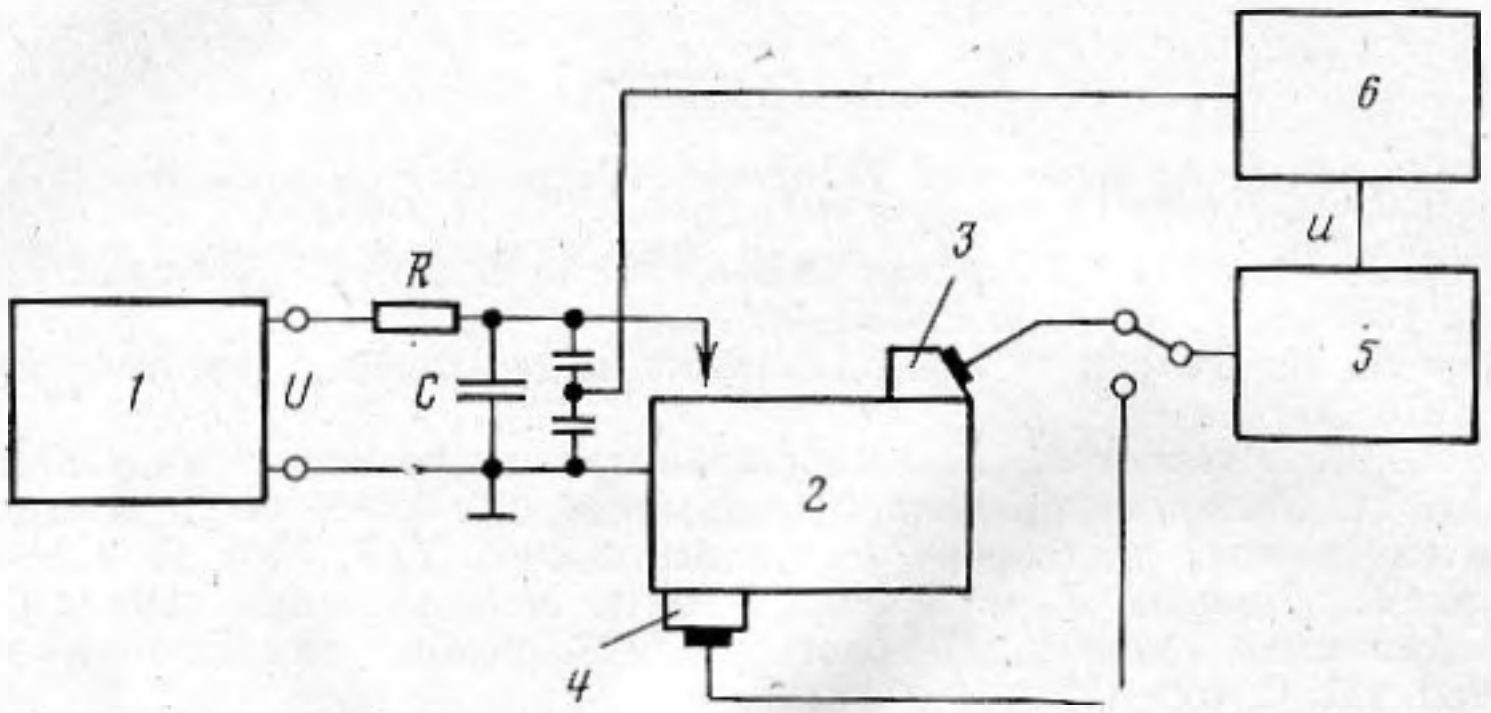
О МЕХАНИЗМЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЗВУКА В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ ПРИ ИСКРОВОМ РАЗРЯДЕ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ

Королев С. В., Красильников В. А., Крылов В. В.

Среди бесконтактных методов возбуждения звука в твердых телах в последнее время значительный интерес вызывает генерация поверхностных и объемных акустических волн в металлах при электрическом пробое газа между разрядным электродом и исследуемым образцом (см., например, [1, 2]). По сравнению с другими бесконтактными методами возбуждения, в частности, с лазерным [3, 4], искровая генерация обладает рядом неоспоримых достоинств, прежде всего простотой реализации и компактностью. Если искровое возбуждение звука в жидкостях исследовано весьма подробно [5], то случай твердых тел практически не изучен. Выполнены лишь предварительные эксперименты, демонстрирующие возможности метода [1, 2], и дано его сопоставление с лазерным возбуждением в режиме, соответствующем разрушению металлической поверхности [2]. Детальные экспериментальные и тем более теоретические исследования искрового метода до сих пор не проводились. Не были установлены и основные присущие ему механизмы возбуждения звука.

В настоящей работе сообщается о результатах экспериментальных исследований возбуждения поверхностных и объемных акустических волн при искровом разряде, предпринятых с целью выяснения преобладающего механизма возбуждения.

Искровой разряд создавался по традиционной схеме (см. фиг. 1) – заряд емкостного накопителя энергии C от высоковольтного источника постоянного напряжения U через сопротивление R и последующий пробой газоразрядного промежутка. Однако, в отличие, например, от работы [2], сопротивление зарядной цепи R выбиралось относительно небольшим (~1 МОм), что позволяло осуществить периодически повторяющийся разряд при работе описанного разрядного устройства в режиме релаксационных автоколебаний (роль нелинейного элемента при этом играл разрядный промежуток). Период следования импульсов тока разряда определялся постоянной времени заряда конденсатора $\tau = RC$ и напряжением пробоя $U_{пр}$, зависящим от радиуса острия электрода a и ширины разрядного промежутка d. В эксперимен-

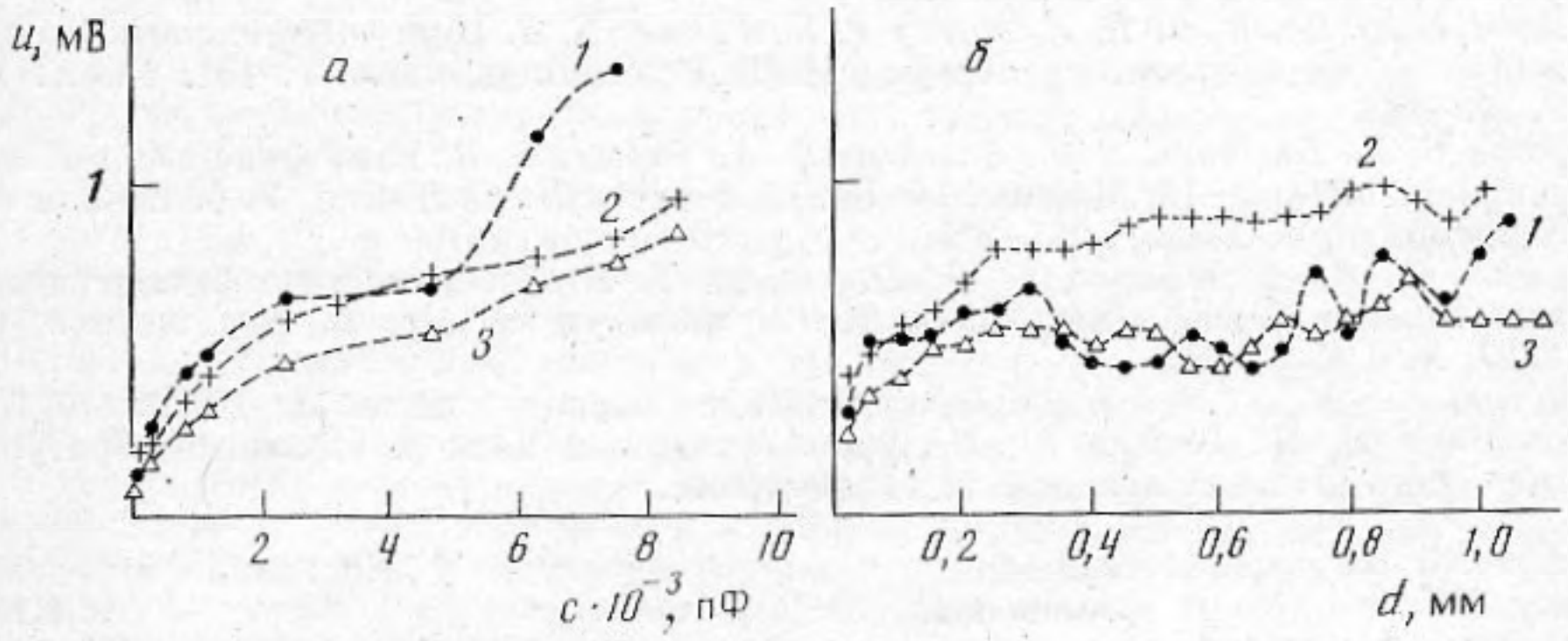


Фиг. 1. Схема эксперимента: *1* – источник постоянного высокого напряжения, *2* – исследуемый образец, *3* – приемник поверхностных волн, *4* – приемник объемных волн, *5* – усилитель, *6* – осциллограф

тах напряжение высоковольтного источника было равно 2,7 кВ, радиус a составлял ~0,3 мм, величина d варьировалась с помощью микрометрической подачи от 0,05 до 2 мм, емкость C, представляющая собой батарею параллельно включенных конденсаторов, менялась в пределах 60–10 000 пФ. Соответственно период повторения разряда составлял 0,05–10 мс, что позволяло использовать для регистрации возбуждаемых акустических волн обычный (незапоминающий) осциллограф, развертка которого запускалась разрядным импульсом с емкостного делителя. В качестве приемников генерируемых волн использовались продольно колеблющиеся пьезокерамические пластинки диаметром 1,5 см с резонансными частотами 2,04 МГц, нанесенные на плексигласовый клин – для регистрации поверхностных волн Рэлея, и на

плексигласовую пластинку – для приема продольных объемных волн. Механический контакт датчиков с образцом осуществлялся через эпоксидную смолу. При этом на экране осциллографа уверенно наблюдались радиоимпульсы генерируемых волн с частотами заполнения ~2 МГц и амплитудами (при стократном усилении) ~1–3 мВ.

На фиг. 2 приведены зависимости амплитуд поверхностных (*1*) и объемных (*2*) акустических волн, возбуждаемых соответственно в алюминиевых образцах размерами 17×4×3 см³ и 7×2×1,5 см³ от емкости C и от ширины разрядного промежутка d (объемные волны возбуждались вдоль бóльшей стороны образца и регистрировались в направлении нормали к поверхности). Из-за нестабильности разряда при некоторых значениях C и d статистический разброс в ряде случаев достигал ~20%, поэтому приведенные данные являются усредненными. Видно, что как для поверх-



Фиг. 2. Зависимости амплитуд возбуждаемых поверхностных – *1* и объемных – *2* волн в алюминии и поверхностных волн в стекле – *3* от емкости C – *а* (d=0,2 мм) и от ширины разрядного промежутка d – *б* (C=2350 пФ)

ностных, так и для объемных волн измеренные зависимости имеют сложный нелинейный характер и не дают однозначного ответа на вопрос о преобладающем механизме возбуждения среди возможных в случае металлической поверхности – теплового расширения, бомбардировки заряженными частицами, магнитного давления, давления плазмы и т. д. В целях выяснения основного механизма возбуждения были проведены эксперименты по искровой генерации поверхностных волн в более простой среде – диэлектрике (стеклянной пластинке размерами 12×3×0,5 см³). Искра создавалась между изогнутым параллельно поверхности острием разрядного электрода и расположенным сбоку плоским металлическим заземленным контактом, акустически изолированным от поверхности стеклянного образца. Как и в случае металлической поверхности, проводились измерения зависимостей амплитуд принимаемых акустических сигналов от емкости C и от величины разрядного промежутка d. Измерения показали, что уровни сигналов при переходе к стеклянному образцу менялись незначительно, а характеры зависимостей оставались прежними (см. кривые *3* на фиг. 2).

Отмеченное сходство может быть объяснено, если предположить, что в обоих случаях превалирует один и тот же механизм возбуждения, а именно – воздействие на поверхность твердого тела ударной волны, создаваемой в окружающем воздухе расширяющейся разрядной плазмой. Для проверки этой гипотезы измерялись зависимости времени задержки $t_з$ регистрируемой рэлеевской волны и ее амплитуды u от величины возвышения разрядного промежутка h над поверхностью стекла. По измеренным значениям задержки рассчитывалась средняя скорость v распространения ударной волны в воздухе на соответствующих участках изменения h. Полученные результаты сведены в таблицу. Как нетрудно видеть, значения и закон

h, мм	$t_з$, мкс	u, мВ	v, м/с	M
0	0	0,5	–	–
0,2	0,2	0,3	1000	3,0
0,4	0,5	0,15	670	2,0
0,6	1,0	0,12	400	1,2
0,8	1,6	0,08	330	1,0
1,0	2,2	0,05	330	1,0

спадания скорости v с расстоянием вполне определенно свидетельствуют о том, что основной причиной возбуждения звука в рассмотренных случаях действительно является сильная расходящаяся ударная волна (с числами Маха M, достигающими трех), распространяющаяся в воздухе [6] и оказывающая нормальное давление на поверхность. Время нарастания давления определяется скоростью v и шириной ударного фронта. Данное обстоятельство, по-видимому, и является причиной того, что длительности импульсов акустических волн, возбуждаемых искрой в твер-

дом теле, оказываются очень малыми (порядка нескольких наносекунд [2]) и практически не зависят от параметров разрядного контура (емкости C, паразитной индуктивности L и сопротивления разрядного промежутка R_a [5]). Отмеченное свойство рассмотренного механизма возбуждения а также его универсальный характер имеют существенное значение с точки зрения использования искрового метода в ультразвуковой спектроскопии твердых тел и в технике неразрушающих испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Jones M. P., Green R. E., jr., Hsu N.* Comparison of simulated acoustic emission sources.— In: Ultrason. Int. 83; Conf. Proc. Halifax, 12–14 July, 1983. Borough Green, Sevenoaks, 1983. P. 319–323.
2. *Cooper J. A., Dewhurst R. J., Moody P. S., Palmer S. B.* High-voltage spark discharge source as an ultrasonic generator // IEEE Proceedings. 1984. V. 131. Pt. A. № 4. P. 275–281.
3. *Scruby C. B., Dewhurst R. J., Hutchins D. A., Palmer S. B.* Laser generation of ultrasound in metals.— In: Research techn. in nondestructive testing. V. 5. London e. a.: Academic press, 1982. P. 281–327.
4. *Крылов В. В., Пономарев Е. П., Штенцель Т. В.* Особенности термооптического возбуждения звука в металлах // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физика. Астрон. 1986. Т. 27. № 6. С. 43–48.
5. *Наугольных К. А., Рой Н. А.* Электрические разряды в воде. М.: Наука, 1971.
6. *Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П.* Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.

Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова,
физический факультет

Поступило в редакцию
16.III.1987