

К. Б. АБРАМОВА, В. П. ВАЛИЦКИЙ, Н. А. ЗЛАТИН,  
Б. П. ПЕРЕГУД, И. Я. ПУХОНТО

## ИЗЛУЧЕНИЕ, ВОЗНИКАЮЩЕЕ ПРИ БЫСТРОЙ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИИ МЕТАЛЛОВ

(Представлено академиком В. М. Тучкевичем 31 V 1971)

В работе <sup>(1)</sup> для объяснения некоторых особенностей излучения, сопровождающего электрический взрыв проводников, было высказано предположение о том, что излучение может возникать как результат быстрого разрушения жидкого металла ( $v \approx 1000$  м/сек) магнитогидродинамическими неустойчивостями <sup>(2-4)</sup>. Для проверки этого предположения возникла необходимость осуществить опыты по разрушению металла приблизительно с теми же скоростями, но в отсутствие электрического поля. Настоящая работа содержит описание постановки таких опытов и их результатов.

Триболюминесценция — свечение, сопровождающее разрушение непроводящих твердых тел, является излучением газового разряда, возникающего в трещинах в результате накопления на поверхностях трещин противоположных электрических зарядов <sup>(5-11)</sup>. У металлов триболюминесценция отсутствует <sup>(5-7)</sup>, так как при нарушении металлов на противоположных сторонах трещины не смогут накапливаться электрические заряды вследствие быстрой релаксации их через устье трещины.

Нами были поставлены две серии опытов. В первой делалась попытка обнаружить излучение при скорости деформации и разрушения металла 7 м/сек. С помощью вертикального копра и реверсного механизма разрушались цилиндрические образцы диаметром 3—4 мм. Детектором излучения служил ФЭУ, чувствительный в диапазоне 3000—8200 Å. Предельная чувствительность регистрирующей системы для интегрального потока света составляла  $10^{-9}$  лм или в абсолютных единицах мощности  $10^{-12}$  вт. Опыты проводились с медью, алюминием, молибденом и висмутом. Излучение надежно зарегистрировано не было.

Во второй серии опытов была сделана попытка обнаружить излучение при скорости деформации и разрушения металла, близкой к скорости разрушения жидкого металла в случае электрического взрыва <sup>(12)</sup>. Использовался бесконтактный способ разрушения металлической поверхности — «тыльный откол» <sup>(13, 14)</sup>. Опыт осуществлялся в двух цилиндрических стальных камерах, полости которых одну от другой отделял образец 1 (рис. 1а). В большой камере 2 создавалось давление 1 тор, в малой 3  $10^{-2}$  —  $10^{-2}$  тор. В большой камере разогнался медный боёк 4 (диаметром 15 мм и толщиной 5 мм) до скорости 1200 м/сек. При плоском ударе его по образцу на тыльной стороне образца, образующей торец малой камеры, в результате «тыльного откола» происходило деформирование и разрушение поверхности металла (рис. 2б, в). Излучение фиксировалось ФЭУ 6 через прозрачное окно 7, расположенное в другом торце малой камеры. Для определения скорости деформации металла проводилось теневое фотографирование образца в профиль с помощью четырехкадровой рентгеновской импульсной установки. Рентгеновские трубки располагались в плоскости, проходящей через тыльную поверхность образца. Время экспозиции каждой фотографии составляло  $\sim 100$  нсек <sup>(15)</sup>. На теневых

фотографиях, приведенных на рис. 2а, видно, что весь процесс пластической деформации и разрушения поверхности меди заканчивается через 112 мсек. Скорость деформации металла оказалась равной  $\sim 100$  м/сек. В этих опытах было обнаружено излучение в видимом диапазоне длин волн ( $3000\text{--}8200 \text{ \AA}$ ). На рис. 3а, б показаны осциллограммы сигнала фотомножителя. Осциллограмма рис. 3а соответствует излучению при деформации поверхности меди с последующим ее разрушением, рис. 3б — излу-

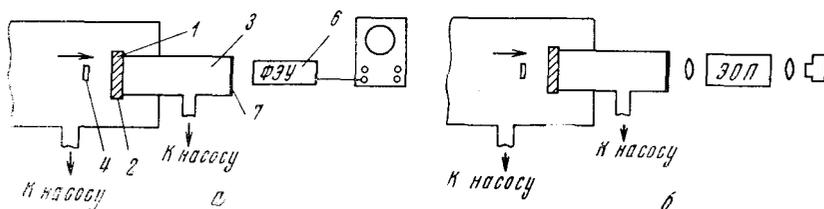


Рис. 1. Схемы экспериментов

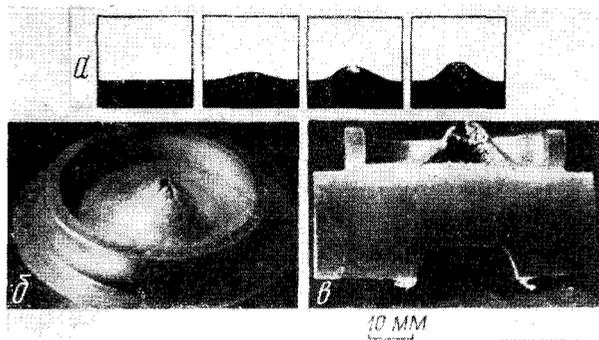


Рис. 2. а — динамика разрушения образца, снимки получены через 0, 26, 68, 112 мсек после начала опыта; б, в — фотографии разрушенного образца

чению при деформации поверхности меди без видимого ее разрушения. Видно, что длительность импульса света составляет 2—2,5 мсек, на заднем фронте импульса есть несколько характерных пиков. Интенсивность света при разрушении поверхности металла в несколько раз (3—8) больше, чем при деформации поверхности металла без видимого ее разрушения. Если толщина образца была достаточной, для того чтобы тыльная его поверхность после удара не деформировалась, излучение фотомножителем не регистрировалось (рис. 3в).

В описанных опытах принципиально могли возникать помехи, для исключения влияния которых на результаты были приняты специальные меры и поставлены контрольные опыты. К их числу относятся:

1) Свечение соударяющихся (из-за зазоров) и трущихся друг о друга частей образца и малой камеры. Использование образца определенной конфигурации и соответствующего ложа на торце малой камеры позволило закрыть трущиеся и соударяющиеся части от фотокатода ФЭУ. Контрольными здесь могут служить опыты с толстыми образцами (см. выше и рис. 3в).

2) Свечение остаточного газа на фронте ударной волны, возникающей у деформирующейся поверхности металла. Скорость деформации металла в проведенных опытах была меньше скорости звука в воздухе при атмосферном давлении, и, следовательно, при давлении  $10^{-3}\text{--}10^{-2}$  мм рт. ст. ударная волна сформироваться не могла.

3) Триболюминесценция пленки окислов на поверхности металлов. На поверхности меди в обычных условиях образуется пленка окисла толщиной порядка десятков или сотен ангстрем. Эта пленка не проводящая и, по-видимому, может триболюминесцировать при деформации и разрушении. Ставились следующие опыты, исключая влияние окисной пленки. В результате «тыльного откола» отслаивалась и разрушалась часть тыльной поверхности образца, при этом вскрывалась свежееобразованная поверхность металла. Через 2—3 мин. образец, тыльная сторона которого находилась все это время при давлении  $10^{-3}$  тор, вновь подвергался удару

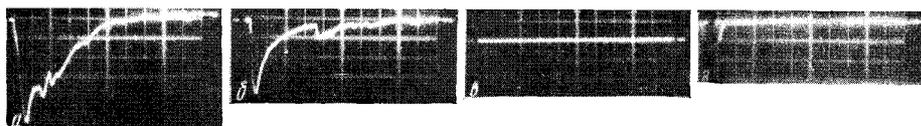


Рис. 3. Осциллограммы излучения, возникающего при быстрой деформации и разрушении медного образца. Скорость бойка  $v = 1200$  м/сек; скорость развертки  $t_{\text{разв}} = 0,5$  мсек/дел., давление в камере  $p = 10^{-2} - 10^{-3}$  тор. *a* — разрыв тыльной поверхности образца; толщина образца  $h = 27$  мм, чувствительность регистрирующей системы  $u = 450$  мв/мм; *б* — деформация тыльной поверхности образца;  $h = 33$  мм,  $u = 110$  мв/мм; *в* — деформация тыльной поверхности образца отсутствует,  $h = 50$  мм,  $u = 110$  мв/мм; *г* — второй удар;  $h = 27$  мм,  $u = 450$  мв/мм

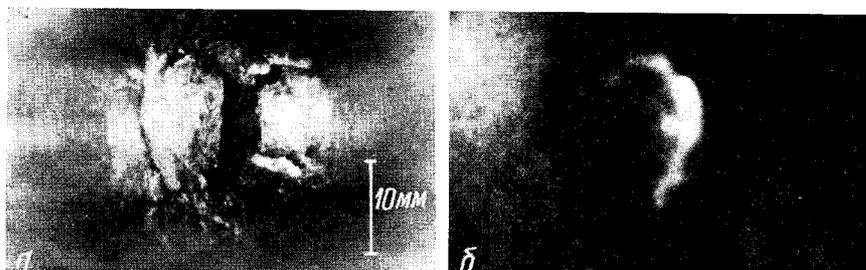


Рис. 4. *a* — разрыв образца; *б* — фотография светящейся трещины, полученная с помощью ЭОП

бойка, в результате чего деформировалась и разрушалась свежееобразованная поверхность меди. При этом также фиксировался импульс света той же интенсивности, но более короткий (100—500 мсек, рис. 3г). Как известно (<sup>16</sup>), при давлении  $10^{-5}$  тор свежееобразованная поверхность меди не окисляется в течение нескольких часов, поэтому можно ожидать, что при давлении  $10^{-3}$  тор за 2—3 мин. окисная пленка не успевает образоваться. Кроме того, свежееобразованная поверхность образца специально подвергалась действию воздуха при атмосферном давлении и затем деформировалась и разрушалась. И в этом случае длительность и характер фиксируемого импульса света оставались такими же, как и в случае неокисленной поверхности.

4) Тепловое излучение, возникающее в результате локального разогрева металла в области трещины. С помощью использованных средств тепловое излучение могло быть зарегистрировано, только если температура излучающей области превышала бы температуру плавления металла. На фотографиях макро- и микротрещин, выполненных с увеличением  $250\times$ , никаких признаков оплавления краев трещин обнаружено не было.

Опыты, подобные описанным, приведенные с дюралюминиевыми образцами, дали аналогичные результаты.

Чтобы окончательно убедиться, что излучение света происходит в деформируемой и разрушаемой области образца, с помощью электронноопти-

ческого преобразователя (рис. 1б) была получена фотография светящейся трещины на меди в «собственном» излучении (рис. 4б). На рис. 4а показана фотография трещины на меди, образовавшейся в результате «тыльного откола». Как видно из сравнения этих фотографий, контур свечения хорошо совпадает с контуром трещины.

Таким образом, нам удалось обнаружить излучение, возникающее при деформации и разрушении металлов и обладающее главными признаками люминесцентного излучения<sup>(17)</sup>: оно является избыточным над тепловым излучением тела при данной температуре и имеет длительность, значительно превышающую период световых волн.

Авторы выражают признательность Л. Э. Гуревичу, С. Н. Журкову, Б. П. Захарчене, Д. Н. Наследову, С. И. Пекару, В. И. Перелю и В. М. Тучкевичу за стимулирующие и плодотворные обсуждения.

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе  
Академии наук СССР  
Ленинград

Поступило  
24 V 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> К. Б. Абрамова, Б. П. Перегуд, ЖТФ, 46, № 10 (1971). <sup>2</sup> К. Б. Абрамова, В. П. Валицкий и др., ДАН, 167, 778 (1966). <sup>3</sup> К. В. Абрамова, V. P. Valitskii et al., Phys. Lett., 18, 286 (1965). <sup>4</sup> К. В. Абрамова, V. P. Valitskii et al., Proc. VII Intern. Conf. Ion. Phen. Gas, Beograd, 1965. <sup>5</sup> Б. Линденер, Изв. Импер. АН, 4, 999 (1910). <sup>6</sup> Von G. Wolf, G. Gross, J. N. Stranski, Zs. Elektrochem., 56, 4, 420 (1952). <sup>7</sup> Н. Риль, Люминесценция, ИЛ, 1946. <sup>8</sup> Л. М. Беляев, В. В. Набатов, Ю. Н. Мартышев, Кристаллография, 7, 4, 576 (1962). <sup>9</sup> Л. М. Беляев, В. В. Набатов, Кристаллография, 8, 6, 927 (1963). <sup>10</sup> Л. М. Беляев, Ю. Н. Мартышев, Прикладная спектроскопия, 6, 1, 114 (1967). <sup>11</sup> Л. М. Беляев, В. В. Набатов и др., Кристаллография, 10, 5, 767 (1965). <sup>12</sup> К. Б. Абрамова, Диссертация, ФТИ им. А. Ф. Иоффе АН СССР, 1969. <sup>13</sup> Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер, Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений, «Наука», 1966. <sup>14</sup> Ф. Ф. Витман, М. И. Иванов, Б. С. Иоффе, Физ. мет. и металловед., 18, 5, 717 (1964). <sup>15</sup> Н. А. Златин, Г. С. Пугачев, ЖТФ, 40, 10, 2242 (1970). <sup>16</sup> И. Н. Шклярский, Л. А. Агеев и др., ФТТ, 10, 10, 3097 (1968). <sup>17</sup> С. И. Вавилов, Собрание сочинений, 2, М., 1952, стр. 185.