

УДК 622.235

УСЛОВИЕ ВОЗНИКОВЕНИЯ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА ПРИ РАЗРУШЕНИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Мальшин А. А., к.т.н., доцент,

Янина Т. И., к.т.н., доцент

Ильин Н. А., Сардарян Р. С., студенты НЭб-211, I курс ИЭ

Кузбасский государственный технический университет

имени Т. Ф. Горбачева

г. Кемерово

При деформации твердых тел выделяется электромагнитное излучение в широком диапазоне (от радио до светового) [1]. Это излучение возникает при изменении величины зарядов, возникающих при образовании микротрешин внутри твердых тел.

Существуют различные гипотезы, объясняющие возникновение зарядов на стенках трещины. Наблюдаемую мозаику зарядов на свежих поверхностях скола можно объяснить появлением облаков заряженных точечных дефектов или локальным обнажением заряженных граней, в то время как образование избыточного среднего заряда можно связать с перемещением заряженных дислокаций. Эти заряды могут создавать газовый разряд в полости трещин.

Рассмотрим условия возникновения газового разряда в полости трещины в твердых телах. Предположим, что в процессе распространения трещины со скоростью V_{\max} в ее вершине возникает заряд с поверхностной плотностью δ_0 , который релаксирует в зависимости от расстояния r от вершины (рис.) по закону

$$\delta = \delta_0 \cdot e^{-\frac{x}{V_{\max} \tau}},$$

где τ – время релаксации заряда.

Считаем, что на начальном этапе релаксация заряда может происходить лишь за счет токов проводимости вблизи поверхности трещины (вплоть до момента поджига разряда). Известно, что газовый разряд в полости начинается при достижении критической напряженности электрической составляющей поля, то есть при $E = E_{kp}$ [2].

По Г. И. Сканави пробивная напряженность метана в тонких слоях имеет значения $(1 \div 7) \cdot 10^7$ В/м при изменении толщины слоя от 10^{-4} и до $5 \cdot 10^{-4}$ м соответственно. Поэтому условием начала газового разряда является достижение напряженностью поля в точке на расстоянии x от вершины, куда к это-

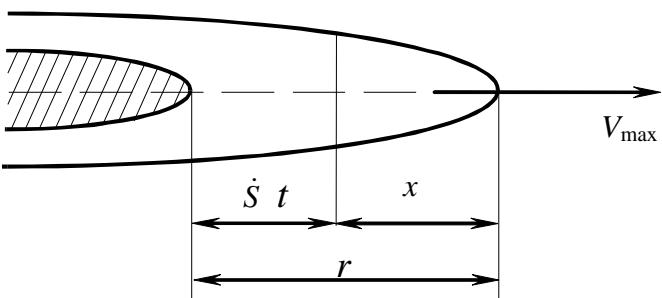


Рис. К расчету возникновения газового разряда в полости трещины

му моменту доходит фронт звуковой волны, критического значения. За время распространения вершины трещины из исходного состояния фронт звуковой волны распространяется на расстояние

$$x = \frac{\dot{S} r}{V_{\max}} - \dot{S} t.$$

Если считать, что $\dot{S} < V_{\max}$, что чаще всего наблюдается на практике, то тогда $r > \dot{S} t$. На расстоянии x от вершины трещины, то есть в той точке, куда к моменту t дошел фронт звуковой волны, напряженность поля, вычисленная в приближении плоского конденсатора, будет равна

$$E = \frac{\delta}{\epsilon_0} = \frac{\delta_0}{\epsilon_0} \cdot e^{-\frac{x}{V_{\max} \tau}}. \quad (1)$$

Найдем расстояние x от вершины трещины, на котором начинается разряд:

$$x = V_{\max} \tau \cdot \ln \frac{\delta_0}{\epsilon_0 E_{kp}}. \quad (2)$$

Из (1) видно, что при $E_{kp} = \frac{\delta_0}{\epsilon_0}$ газовый разряд невозможен, поскольку

$x = 0$, а в вершине трещины – вакуум, так как фронт волны не успевает дойти до вершины трещины ($\dot{S} < V_{\max}$). Ясно также, что при $\dot{S} > V_{\max}$ («медленное» распространение трещины) и при (2) разряд всякий раз будет начинаться в вершине трещины. Но этот случай имеет место в очень редких условиях (пластичный материал, большие потери тепла и т. д.). Пользуясь (1), можно найти расстояние r , которое успеет «пробежать» вершина трещины до начала разряда:

$$r = x + \dot{S} t = \frac{V_{\max} \tau \cdot \ln \frac{\delta_0}{\epsilon_0 E_{kp}}}{1 - \frac{\dot{S}}{V_{\max}}}.$$

Считая, что в процессе распространения напряжение σ равно критическому (стартовому) по Гриффитсу напряжению, получим раскрытие трещины в точке начала газового разряда равное:

$$d = \frac{4\sigma(1-v^2)}{E} \cdot \sqrt{a^2 - (a-x)^2} = 4 \sqrt{\frac{0.2 r_0}{\pi a_0}} \cdot \sqrt{a^2 - (a-x)^2},$$

где $2a_0$ – стартовый размер трещины; $2a$ – ее текущий (конечный) размер, тогда окончательное выражение для $x = \frac{V_{\max} \epsilon_0}{2\gamma_1} \cdot \sqrt{\frac{5\pi a_0}{r_0}} \cdot \ln \frac{\delta_0}{\epsilon_0 E_{kp}}$.

Пробег трещины r в течение времени до достижения начала газового разряда $r = \frac{V_{\max} \epsilon_0}{2\gamma_1 (1 - \frac{\dot{S}}{V_{\max}})} \cdot \sqrt{\frac{5\pi a_0}{r_0}} \cdot \ln \left(\frac{\delta_0}{\epsilon_0 E_{kp}} \right)$.

Очевидно, что при $E_{kp} > \frac{\delta_0}{\varepsilon_0}$ разряд в трещине невозможен, следователь-

но, только при поверхностной плотности, удовлетворяющей условию $\delta_0 > \varepsilon_0 E_{kp} \approx 6 \cdot 10^{-4} \frac{Кл}{м^2}$, возможен газовый разряд.

Поэтому газовый разряд не наблюдается при разрушении щелочно-галоидных кристаллов LiF, NaCl, KCl, а наблюдается свечение, обусловленное электролюминесценцией, так как у них максимальная поверхностная плотность $\delta_0 < 3,2 \cdot 10^{-4} \frac{Кл}{м^2}$ [3]. В то же время газовый разряд возможен в магматических горных породах – гранодиорите, плагиограните, кварцевом диорите, у которых содержание кварца SiO_2 выше 65 %.

Список литературы:

1. Исследование разрушения твердых тел методом регистрации импульсного электромагнитного излучения / П. В. Егоров, Л. А. Колпакова, А. А. Мальшин, В. М. Колмагоров, В. А. Коноваленко : монография. – Кемерово : Кузбассвузиздат, 2001. – 201 с. – Текст : непосредственный.
2. Сканави, Г. И. Физика диэлектриков. – Москва : ГИФМЛ, 1958. – 909 с. – Текст : непосредственный.
3. Дырдин, В. В. О характеристиках электромагнитного излучения при деформировании и разрушении твердых тел / В. В. Дырдин, А. А. Мальшин, Т. И. Янина // Вестник КузГТУ. – 2010. – № 1. – С. 22–24. – Текст : непосредственный.