



Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

О. Б. Наймарк, А. М. Постных, О явлении динамической ветви при отколе и автомодельности процесса накопления микротрещин, *Письма в ЖТФ*, 1984, том 10, выпуск 20, 1247–1251

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.173

25 марта 2025 г., 06:25:13



- [2] Островский И.В. Собственно-дефектный механизм акустолуминесценции кристаллов. - Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 34, в. 8, с. 463-466.
- [3] Громашевский В.Л., Дякин В.В., Сальков Е.А., Скляр Л.М., Хилимова Н.С. Акустохимические реакции в сульфиде кадмия. - УФЖ, 1984, т. 29, № 4, с. 550-554.
- [4] Nielsen R.L., Townsend J.R. - Phys. Rev. Lett., 1968, v. 21, N 5, p. 1749-1752.
- [5] Демиденко А.А., Здебский А.П., Писковой В.Н., Черная Н.С. Резонансные методы исследования электромеханической связи, обусловленной электрострикцией. - Радиотех. и электрон., 1976, т. 21, в. 2, с. 285-289.
- [6] Островский И.В., Лысенко В.Н. Внутреннее трение в CdS при нагружении ультразвуком. - ФТТ, 1984, т. 26, в. 2, с. 531-532.
- [7] Физика и химия соединений A_2B_6 . М.: Мир, 1970, 624 с.
- [8] Gravano A., Luke H. - Journ. Appl. Phys. 1956, v. 27, N 2, p. 583-590 (798-805).
- [9] Корсунская Н.Е., Маркевич И.В., Шаблей И.Ю., Шейнкман М.К. Дрейф междоузельных атомов в электрическом поле в чистых и легированных Li кристаллах CdS . - ФТП, 1981, т. 15, № 2, с. 279-282.
- [10] Kulp W.A., Kelley R.H. - Journ. Appl. Phys., 1960, v. 31, N 6, p. 1057-1061.
- [11] Elsbury C.N., Meese J.M. - IEEE Trans. Nucl. Science. 1974, NS - 21, N 6, p. 14-20.

Институт полупроводников
АН УССР,
Киев

Поступило в Редакцию
11 июня 1984 г.

Письма в ЖТФ, том 10, вып. 20

26 октября 1984 г.

О ЯВЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЕТВИ ПРИ ОТКОЛЕ
И АВТОМОДЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА
НАКОПЛЕНИЯ МИКРОТРЕЩИН

О.Б. Наймарк, А.М. Постных

Развитие отклонных разрушений при нагрузках микросекундной длительности также, как и при других силовых воздействиях, сопровождается зарождением и ростом под действием растягивающих напряжений различных наплывностей [1-3]. Разделение тела на части происходит лишь тогда, когда число, размер микротрещин и их

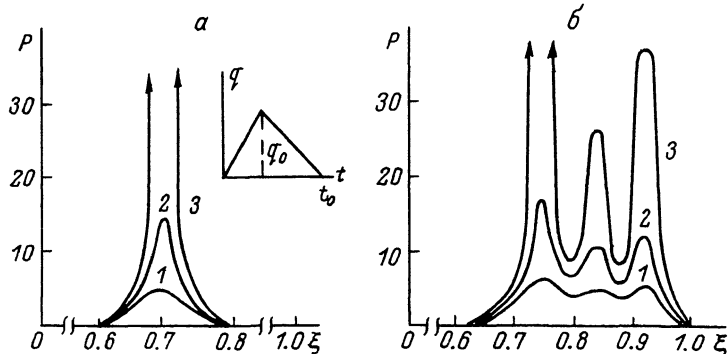


Рис. 1. Кинетика формирования очагов макроскопических трещин.
 а - $q_0 = 9.0 \cdot 10^9$ Па; 1 - $\tau = 3.05$, 2 - $\tau = 3.08$, 3 - $\tau = 3.09$.
 б - $q_0 = 1.1 \cdot 10^{10}$ Па; 1 - $\tau = 3.01$, 2 - $\tau = 3.025$, 3 - $\tau = 3.03$.

взаимодействие между собой обеспечивают условия для зарождения макроскопических трещин.

Явлению откола посвящено значительное число работ и интерес к нему продолжает оставаться устойчивым, что связано с возможностью изучения разрушения при очень малых временах действия растягивающих напряжений.

В данной работе численно исследуются закономерности накопления повреждений в материале при откольном разрушении однородной пластины импульсом давления. Изучение особенностей разрушения при отколе проводилось на основе уравнений состояния, полученных в работах [4, 5] методами статистической и неравновесной термодинамики при рассмотрении поведения ансамбля субмикротрещин в твердых телах. При длительностях нагружений $\tau \sim 10^{-6}$ с можно пренебречь пластической релаксацией напряжений и рассматривать развитие процесса разрушения в упругой среде с микротрещинами.

Система уравнений, описывающая деформирование и разрушение слоя (рассматривается одномерная плоская волна), имеет следующий вид [6]:

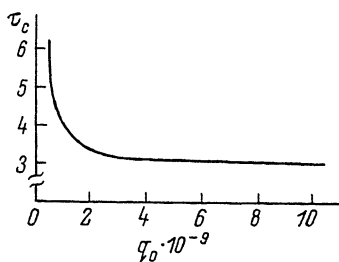
$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial \xi}(\rho v) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial \xi}(\rho v^2 - \sigma) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial \tau} = \frac{\partial v}{\partial \xi}, \quad (3) \quad \frac{d\rho}{d\tau} = -L \frac{\partial F}{\partial \rho}, \quad (4)$$

где $\xi = \frac{x}{h}$, $\rho = \frac{\rho'}{\rho_0}$, $\sigma = \frac{\sigma_{xx}}{\rho_0 c_e^2}$, $c_e = \sqrt{\frac{3K+4M}{3\rho_0}}$, $\tau = \frac{c_e t}{h}$,
 $v = \frac{v_x}{c_e}$.

Рис. 2. Зависимость времени образования очага макроскопической трещины τ_c от амплитуды импульса напряжения.



Здесь ρ', ρ_0 - текущая и начальная плотность материала; $\rho = \rho_{xx}$ - компонента тензора плотности микротрещин ρ_{ik} , характеризующего их концентрацию и преимущественную ориентацию; $\sigma_{xx}(x, t)$, $v_x(x, t)$ - напряжение и скорость в направлении оси x ; t - время; c_e - продольная волновая скорость; μ и k - соответственно модуль сдвига и всестороннего сжатия; L - кинетический коэффициент.

Выражение $\partial F / \partial \rho$ характеризует скорость изменения свободной энергии F упругой среды с микротрещинами при увеличении объемной концентрации последних.

В [7] экспериментально исследован механизм микроразрушения, заключающийся в ускорении роста имеющихся микротрещин и в зарождении новых в результате сброса энергии упругой деформации, выделяющейся при разрушении микрообъема. Этот механизм позволил в [5] предположить модель разрушения, основанную на вычислении энергии упругой деформации, выделяющейся в локальном объеме при трещинообразовании. При величинах напряжений и длительностях импульсов, соответствующих появлению откольных разрушений, можно не рассматривать режимы накопления микротрещин, характерные для квазистатических нагружений. В этом случае, как показано в [6], выражение $\partial F / \partial \rho$ для растягивающих напряжений хорошо аппроксимируется соотношением $\sigma^2 \exp(\beta \rho)$, где β - параметр материала. В волне сжатия скорость накопления микротрещин полагается равной нулю.

Решение системы уравнений (1) - (4) с учетом начальных $v(\xi, 0) = \sigma(\xi, 0) = \rho(\xi, 0) = 0$, $\rho(\xi, 0) = 1$ и граничных условий

$$\sigma(1, \tau) = 0, \quad \sigma(0, \tau) = \begin{cases} -q(\tau), & \tau < \tau_0 \\ 0, & \tau > \tau_0 \quad (\tau_0 = c_e t_0 / h) \end{cases}$$

осуществлялось методом конечных разностей по явной разностной схеме. Численное моделирование разрушения в алюминиевой пластине проводилось при следующих значениях параметров материала и нагрузки $c_e = 5.62 \cdot 10^3$ м/с, $\beta = 10^{-2}$, $L = 10^{-14}$, $h = 10^{-2}$ м, $t_0 = 7.5 \cdot 10^{-7}$ с. На рис. 1 показана кинетика образования очагов макроскопических трещин.

Формирование последних в ходе нелинейного процесса роста микротрещин связано с развитием так называемых диссипативных структур [8] - областей локализации трещинообразования с резко увеличенной скоростью зарождения и роста микротрещин. Кинетика

роста микротрещин в очаге соответствует так называемым режимам обострения [9]. Так как скорость накопления микротрещин в структуре и вне ее может отличаться на несколько порядков, то естественно интерпретировать появление таких очагов как зарождение макроскопических трещин. В момент зарождения макроскопической трещины и разделения тела на части импульс напряжения расщепляется. Увеличение амплитуды растягивающих напряжений приводит (см. рис. 1, б) к множественному появлению очагов (множественный откол [10]). На рис. 2 изображена зависимость времени обострения τ_c - времени зарождения очага макроскопической трещины - от амплитуды импульса.

При достаточно высоких значениях амплитуды напряжений кривая становится более пологой и ее наклон слабо зависит от q_0 . Подобная зависимость была обнаружена экспериментально в [11, 12] и получила название динамической ветви при отколе. Этот результат становится понятным, если учесть вид источника в уравнении (3): начиная с определенных значений параметра β процесс роста концентрации микротрещин протекает существенно быстрее, чем нарастание растягивающих напряжений. Это приводит к „поджиганию“ очага макроскопической трещины при напряжениях, меньше амплитудных. Объяснением этой ситуации является возможность выхода решения нелинейного уравнения (3) на автомодельный режим, соответствующий промежуточной асимптотики. Время до разрушения определяется в этом случае временем выхода системы на автомодельное решение [6].

Л и т е р а т у р а

- [1] Воловец Л.Д., Златин Н.А., Пугачев Г.С. Кинетика разрушения полиметилметакрилата в плоской короткой волне растягивающих напряжений. - В кн.: Проблемы прочности и пластичности твердых тел. Л.: Наука, 1979, с. 35-42.
- [2] Varbee T.W., Seamon L., Grewson R., Curran D.R. Dynamic fracture criterion for ductile and brittle metals. - J. of Materials., 1972, vol. 7, N 3, p. 393-401.
- [3] Инденбом В.Л., Орлов А.Н. Долговечность материала под нагрузкой и накопление повреждений. - Физика металлов и металловедения, 1977, т. 43, в. 3, с. 469-492.
- [4] Наймарк О.Б. О деформационных свойствах и кинетике разрушения полимеров с субмикротрещинами. - Механика композитных материалов, 1981, в. 1, с. 16-22.
- [5] Наймарк О.Б., Давыдова М.М., Постных А.М. О деформировании и разрушении гетерогенных материалов с микротрещинами. - Механика композитных материалов, 1984, в. 2, с. 271-278.
- [6] Наймарк О.Б. О термодинамике деформирования и разрушения твердых тел с микротрещинами. Препринт ИМСС УНЦ АН СССР, Свердловск, 1982, 50 с.

- [7] Лексовский А.М., Баскин Б.Л., Горенберг А.Я., Усманов Г.Х., Регель В.Р. Исследование развития микротрещин в полимерах методом РЭМ *INSITU*. - Физика твердого тела, 1983, т. 25, в. 4, с. 1096-1103.
- [8] Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979, 512 с.
- [9] Змитренко Н.В., Курдюмов С.П., Михайлов А.П., Самарский А.А. Возникновение структур в нелинейных средах и нестационарная термодинамика режимов обострения. - Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР, № 74, 1976.
- [10] Breed B.R., Mader C.L., Venables D. Technique for the determination of dynamic - tensile - strength characteristics. - J. Appl. Phys., 1967, vol. 38, N 8, p. 141-149.
- [11] Евсеенко Е.П., Зильбербранд Е.Л., Златин Н.А. и др. Динамическая ветвь временной зависимости прочности полиметилметакрилата. - Письма в ЖТФ, 1977, т. 3, с. 684-687.
- [12] Воловец Л.Д., Златин Н.А., Пугачев Г.С. Возникновение и развитие субмикротрещин в полиметилметакрилате при динамическом растяжении (отколе). - Письма в ЖТФ, 1978, т. 4, № 18.

Поступило в Редакцию
1 июня 1984 г.

Письма в ЖТФ, том 10, вып. 20

26 октября 1984 г.

НАБЛЮДЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ В ЕМКОСТНОМ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ РАЗРЯДЕ

С.А. К а з а н ц е в, А.В. С у б б о т е н к о

Несмотря на длительный период исследований, до настоящего времени особенности кинетики электронов и физические механизмы, обеспечивающие передачу энергии от внешнего генератора в плазму емкостного высокочастотного разряда низкого давления, остаются предметом дискуссий [1]. В ряде работ высказывалось предположение об определяющей роли в этом процессе пучков быстрых электронов, однако до настоящего времени существовало лишь единичное экспериментальное указание на их образование в разряде с внутренними электродами [2]. В настоящей работе сообщается о наблюдении в наиболее чистых условиях разряда с внешними электродами регулярных пучков электронов, образующихся в приэлектродных областях.