

5. D. Desbordes, N. Manson, J. Brossard. Acta Astronaut., 1978, 5.
6. М. А. Садовский. Физика взрыва. № 1. М.: Изд-во АН СССР, 1952.
7. W. E. Baker. Explosions in Air. Univ. of Texas Press, 1973.
8. M. Held. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1983, 8, 1.
9. Г. Броуд. Расчеты взрывов на ЭВМ. М.: Мир, 1976.
10. J. Brossard, J. Duco, T. Gobert e. a. Proceedings of ENSZANS International Topical Meeting on Nuclear Power Reactor Safety. Brussels, 1978.
11. В. П. Кочегаров. Канд. дис. МИСИ, 1980.
12. С. М. Когарко, В. В. Адушкин, А. Г. Лямин. ФГВ, 1965, 1, 2, 22.
13. B. D. Fishburn. Acta Astronaut., 1976, 3, 1049.
14. С. А. Ждан. ФГВ, 1983, 19, 1, 131.
15. D. J. Lewis. Condensed Phase Explosions and Their Blast Characteristics. Euro-mech — 139, Aberystwith, 1981.
16. V. J. Clancey. The Propagation of Shock Waves. London, 1981.
17. Б. Д. Христофоров. ПМТФ, 1961, 5, 175.

ФЕНОМЕНОЛОГИЯ РАЗРУШЕНИЯ И ОТКОЛ

А. Г. Иванов

(Москва)

В механике имеется одна область, где многое неясно и по сей день. Это область разрушения. Так, если задан некий объект (образец материала, простейшая конструкция) и приложенные к нему нагрузки, — вопроса об определении напряженно-деформированного его состояния не существует (конечно, для материалов с известными свойствами). Однако если поставить вопрос о разрушении этого объекта, и тем более в условиях динамического, импульсного нагружения, заранее сказать, какие нагрузки он выдержит, где его слабое место, каков будет характер его разрушения (быстрый, катастрофический, с полным разделением объекта на части или вялый, путем медленно растущих трещин, без полного нарушения сплошности), — на эти вопросы ответа можно и не получить или ответ может быть неоднозначным.

Это указывает не только на отсутствие достаточно надежной теории разрушения, но и на недостаточность исходных данных, необходимых для получения конечного ответа, на физическую необоснованность в ряде случаев наших представлений при описании явления разрушения.

Продемонстрируем сказанное выше на конкретном примере. Известно, что напряженное состояние трубы (или сферического сосуда) из заданного материала и находящейся под внутренним давлением (p_0) или нагруженной импульсно, например взрывом заряда ВВ, зависит только от относительного ее размера и значения p_0 или материала ВВ, но не зависит от их абсолютных размеров¹. Логично предположить, что и ответ на вопросы о несущей способности, наиболее слабом месте и о характере разрушения также должен определяться относительными размерами объекта и заряда ВВ, т. е. напряженным состоянием. Эксперимент опровергает эти предсказания.

На рис. 1 изображен котел высокого давления (КВД) с указанием его относительных размеров, выполненный из котельной стали 22К [1, 2]. Испытывались котлы двух размеров: $R = 1000$ и 100 мм. Нагружение проводили однократно взрывами зарядов ВВ, расположенными в центре. При одинаковом отношении веса заряда ВВ к весу котла ξ или, что тоже самое, при одном и том же относительном радиусе r заряда ВВ интенсивность нагружения и напряженные состояния на сходные моменты времени одинаковы независимо от R .

Рассмотрим прочностные характеристики.

¹ Отличие в поведении материала за счет различия в скоростях нагружения $\dot{\sigma}$ и деформации $\dot{\epsilon}$ невелико. Так, согласно [3], при изменении $\dot{\epsilon}$ в 10 раз величина предела текучести σ_y у сталей изменяется не более $\sim 5\%$.

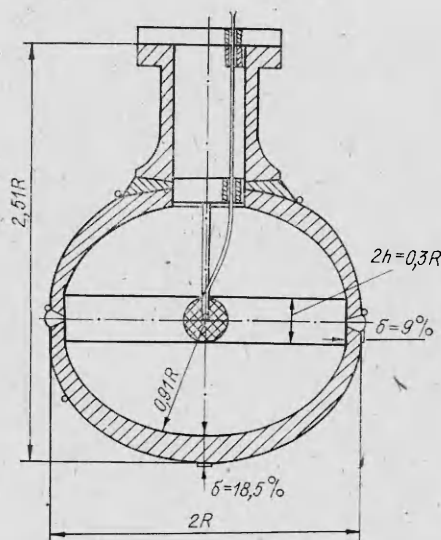


Рис. 1. Схема постановки опытов с КВД [2].

тонкому месту, где максимальны значения ϵ (рис. 2, б). Примечательно, что и при увеличении значения ξ в 1,5 раза от его разрушающего значения полной потери сплошности малого КВД не произошло. Поверхность разрушения по-прежнему имеет вид вязкого разлома, только увеличились трещины и их расхождение.

Этот пример и обширные материалы, приведенные в [4], показывают, что при прочих равных условиях процесс разрушения может в сильной степени зависеть от характерного размера объекта l .

Обратимся еще к одному виду разрушения материала, где могут достигаться экстремально высокие скорости нагружения — отколу. К настоящему времени установлено, что для описания разрушения при отколе недостаточно одной величины — напряжения откола σ_p . Необходимы дополнительные характеристики процесса, например толщины соударяющихся пластин l_0 или время действующих напряжений τ , или скорость изменения нагрузки $\frac{d\sigma}{dt}$ и т. п. Поскольку откольное разрушение происходит при ударно-волновых процессах, где τ (или t) и l_0 связаны через скорость звука, приходим к заключению, что для однозначного описания откола при подобии нагружающих импульсов помимо $\sigma_{отк}$ достаточно указывать еще характерную длину (это может быть толщина ударяющей пластины или длительность нагружающего или растягивающего импульса) [5].

Выше приведены два примера динамического разрушения геометрически подобных объектов. Но напряжение разрушения ($\sigma_{вр}$ — временное сопротивление разрушению) и при статических испытаниях геометрически подобных образцов также зависит в сильной мере от их размера, особенно при разрушении в упругой области [4, 6]. Так, согласно [6], увеличение l всего в 4 раза при изгибе образцов из твердых сплавов приводит к падению прочности в 1,4—1,5 раз. Задача заключается в отыскании физически обоснованного подхода к проблеме в целом, в попытке за многообразными деталями и особенностями явления понять, хотя бы на уровне феноменологии, основные главные причины, вызывающие разрушение. Рассмотренные примеры с разрушением геометрически подобных объектов убедительно показывают существенную роль характерного размера объекта при его разрушении.

До недавнего времени за главную характеристику прочности принимались $\sigma_{отк}$, $\sigma_{вр}$ и т. п. — величины размерности удельной силы. Разру-

1. Значения ξ , ϵ и σ , при которых произошло разрушение малых КВД, соответственно больше в 5, 6 и 2 раза, чем у большого КВД, т. е. разрушающие величины этих параметров существенно зависят от характерного размера l КВД. В данном случае за l может быть принята величина R .

2. Наиболее слабым местом большого котла оказалась область сложного напряженного состояния, «концентратор» напряжения — горловина, а для малых КВД — его цилиндрическая наиболее тонкая часть. И здесь прослеживается зависимость от R .

3. Существенно разным оказался и характер разрушения больших и малых котлов: большой (рис. 2, а) разрушился в упругой области хрупко на пять осколков посредством быстро распространяющихся ветвящихся трещин. Старт трещин — от горловины; малый — по наиболее

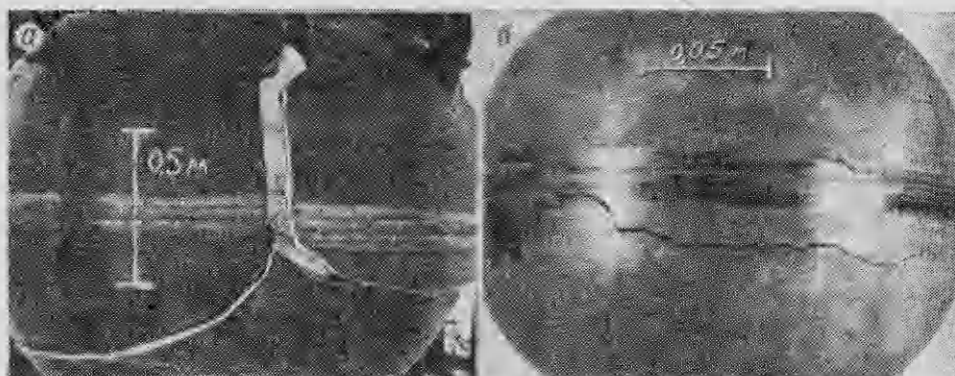


Рис. 2. Внешний вид большого ($R = 1,0$ м) (а) и малого КВД ($R = 0,1$ м) (б) после разрушения.

шение, расчленение объекта на части есть совершение работы, естественно, что оно должно описываться величиной размерности удельной (на единицу поверхности) энергии, работы. Наиболее объективно эту характеристику отражают испытания по определению ударной вязкости в области так называемой хладноломкости, когда разрушение происходит хрупко, и в упругой области без существенной затраты энергии на пластическое течение материала образца в целом.

Непосредственным источником энергии при разрушении является упругая энергия, возникающая при воздействии внешних сил на объект. Какая часть работы внешних сил перейдет в упругую энергию, зависит от конкретных условий нагружения и свойств объекта.

Если процесс расходования упругой энергии (разрушения) протекает существенно быстрее, чем ее пополнение под действием внешних сил, что характерно, например, при импульсном (взрывном) воздействии или при хрупком катастрофическом разрушении объекта, или при одновременном протекании этих событий, то разрушение может произойти только тогда, когда запас упругой энергии в объекте будет не меньше работы, необходимой для его разрушения. Это — необходимое условие разрушения [4, 5]

$$l^3 \sigma_p^2 / 2E \geq l^2 \lambda \quad (1)$$

или

$$\sigma_p^2 \geq 2E\lambda/l. \quad (1')$$

В (1) — слева запас УЭ (по порядку величины), справа — работа разрушения; E — модуль Юнга; λ — удельная работа разрушения. Если условие (1) не выполнено, разрушение невозможно, тогда пребывание материала под нагрузкой может приводить к возникновению и развитию дефектов структуры.

Если возникающие дефекты структуры имеют большие характерные времена релаксации, будет идти накопление дефектов структуры, «старение» материала, характеризуемое ростом внутреннего трения θ , изменением прочностных характеристик материала (σ_s — предел текучести, λ), которое в конечном счете приведет к выполнению условия (1). Заметим, что увеличение θ вместе с ε может резко ограничить область, откуда черпается упругая энергия на развитие трещины и разрушение объекта.

Таким образом, логически приходим к двум стадиям процесса [4, 5]: 1) накопление дефектов структуры, повреждений в объеме материала и 2) разрыв, разрушение, расчленение объекта на части, когда достигается (1).

Первая стадия, согласно [5], описывается уравнением долговечности (τ) С. Н. Журкова

$$\tau = \tau_0 \exp [(u_0 - \gamma \sigma_p) / (kT)], \quad (2)$$

где u_0 , γ , τ_0 , k — постоянные; T — температура испытаний. Структура уравнения показывает, что исчерпание долговечности должно привести к нарушению связей в материале, к рассыпанию, чего, как известно, никогда не наблюдается. В уравнении (2) отсутствуют характерные величины длины, т. е. процесс, описываемый (2), не зависит от характерного размера объекта l .

Напротив, вторая стадия, согласно уравнению (1), в сильной степени зависит от l , что в полной мере проявляется в отсутствие первой стадии при разрушении в упругой области, как это имело место с КВД большого размера. Если разрушение протекает в области пластической деформации, где $\sigma_p \sim \sigma_s$, анализ процесса существенно осложняется. Помимо изменения величин λ , θ , σ_s в зависимости от ϵ возможно существенное влияние вклада динамической вязкости η и самого вида зависимости $\sigma_s(\eta)$. Появление масштабного эффекта при разрушении может проявляться в зависимости $\epsilon(l)$ [7—9].

Условие (1) достаточно для разрушения, если, согласно [4, 5], нагружение осуществляется импульсно и необходимой интенсивности. При медленном нагружении и особенно при специально принятых мерах условие (1) не будет достаточным. Объект окажется в состоянии неустойчивого равновесия. Чем больше степень этой неустойчивости, тем катастрофичнее могут оказаться условия возвращения к состоянию равновесия, тем с большей скоростью будет распространяться трещина разрушения.

Часто возникает вопрос, откуда объект «знает», где должны быть трещины, особенно если объект имеет ось или центр симметрии? Определенную ясность в этот вопрос вносят работы [10—12]. Так, при радиальном нагружении трубы и кольца разрушение упругой области происходит в виде равномерно расположенных по окружности меридиальных трещин. Радиальные колебания трубы (аналогично и сферы) неустойчивы, их энергия перекачивается в изгибные колебания. Число периодов волн зависит только от относительной толщины оболочки. Значения σ в областях пучностей изгибных волн могут в 2,5 раза превосходить напряжения, развиваемые при радиальных колебаниях, что эквивалентно локальному увеличению упругой энергии в этих местах более чем в 6 раз. Именно по пучностям и происходит разрушение радиально нагруженных труб. Аналогичный механизм разрушения, по-видимому, будет реализовываться и для сферических сосудов при их упругом радиальном нагружении.

Вопрос о механизме разрушения тонких труб в области глубокой пластичности и роли механизма перекачки упругой энергии в изгибные колебания не ясен. Экспериментально установлено, что с увеличением интенсивности воздействия растет число осколков и с позиции энергетического подхода к разрушению удается удовлетворительно описать эксперимент [8, 9]. Таким образом, переход от учета запаса упругой энергии в окрестности дефекта (трещины), как это делается в механике разрушения, к учету запаса энергии во всем объекте или его характерной области позволяет, хотя бы феноменологически, понять ряд явлений в проблеме разрушения.

Нам неизвестны другие подходы к построению единой феноменологии разрушения, удовлетворительно либо непротиворечиво позволяющие описать различные аспекты проблемы разрушения и в том числе сильные масштабные эффекты.

Весьма поучительным примером проявления масштабных эффектов энергетической природы в статических условиях являются катастрофические разрушения трубопроводов для транспортировки газа и нефти. Разрушения имеют вид гигантской трещины, распространяющейся на расстояния, измеряемые километрами и десятками километров, со скоростью сотен метров в секунду [13]. Поскольку разрушение протекает в упругой области, существенна вторая стадия разрушения, где масштабные эффекты должны проявляться в полной мере. Пусть толщина тру-

бы h мала в сравнении с радиусом R . Тогда внутреннее давление p и окружное напряжение σ связаны условием

$$\sigma = pR/h. \quad (3)$$

Условие (1) неразрушения (нехватки упругой энергии) для участка трубы единичной ширины имеет вид

$$2\pi R h q < h\lambda, \quad (4)$$

где $q = \sigma^2(1 - \nu^2)2E$ — удельная УЭ; ν — коэффициент Пуассона. Подставляя q и условие (3) в (4), находим максимальное значение p , при котором разрушение исключено

$$p < (h/R)\{E\lambda/[\pi R(1 - \nu^2)]\}^{1/2} \quad (5)$$

или

$$p^2 R < \text{const}. \quad (5')$$

Из (5) следует, что при $h/R = \text{const}$ и неизменном расходе металла для увеличения p и соответственно пропускной способности трубопровода выгоднее использовать трубы меньшего радиуса. В данном случае условие (5) удается получить и методами механики разрушения, если отбросить в найденном в [13] решении члены третьего порядка малости. Это очевидно, так как в основе механики разрушения также лежит энергетический (хотя и локальный) подход. Но в работе [13] пришлось вводить шесть безразмерных параметров, ряд оговорок и решать вспомогательную задачу, а для нас вид решения известен априори из (1').

Использование энергетического подхода для описания высокоскоростного ($\varepsilon = 10^3 \div 10^5 \text{ с}^{-1}$) разрушения тонких труб из мягкой стали в области глубокой пластичности продемонстрировано в работе [7]. Как и в предыдущем примере, решение находилось из баланса упругой энергии и работы разрушения, т. е. с использованием аналога уравнения (1). Кинетика процесса не рассматривалась, не накладывались ограничения и на характер разрушения. Показано, что при использовании материалов, динамический предел текучести которых описывается зависимостью

$$\sigma_{sg} = \sigma_s + \varepsilon \eta \quad (6)$$

при $\varepsilon = \sigma_s/\eta$, достигается максимальная величина деформации перед разрушением — динамический пик пластичности, что хорошо соответствовало эксперименту (рис. 3). Из решения вытекало, что при постоянной скорости стенки трубы увеличение R может приводить как к падению, так и росту ε_p и что существуют такие пары R_1 и R_2 , где $\varepsilon_p = \text{const}$.

Найденное решение успешно использовано в работе [9] для описания разрушения урана, в [8] — для нахождения зависимости числа меридиональных фрагментов при разрушении трубы от ее параметров, а также использовалось в работах [14, 15]. В [9] приведено также решение для разрушения сферических оболочек, полученное аналогично [7]. Проведенное выше описание явления разрушения, в том числе с описанием динамического пика пластичности, является следствием физически обоснованного подхода к проблеме разрушения.

Перейдем к более подробному рассмотрению откольного разрушения. Установление факта зависимости напряжения откола от времени $\sigma_p(t)$ натолкнуло ряд исследователей описать откол в рамках кинетической концепции разрушения (2). Первые же попытки, предпринятые в работах [16, 17], оказались тщетными. Представлялось заманчивым в рамках одной концепции описать и откол — разрушение при $\tau \sim 10^{-6}$ с и менее. Авторы работы [17], получив отличный от (2) результат, предположили, что при $\tau \sim 10^{-6}$ с изменились константы в (2), что и привело к расхождению с экспериментом.

В работе [5] на основе единства природы различных видов разрушения с применением энергетического подхода, оправдавшего себя при описании разрушения геометрически подобных объектов [5, 18], удалось

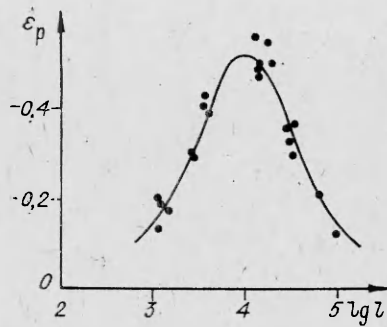


Рис. 3. Пик пластичности при высокоскоростном разрушении труб из мягкой стали [7].

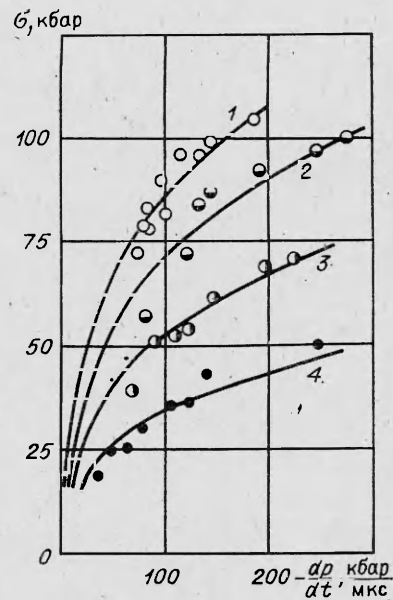


Рис. 4. Результаты описания данных по отколу ряда материалов в [17] с позиций энергетического подхода к явлению разрушения (см. рис. 8 из [4]).

1 — мягкая сталь; 2 — никель; 3 — медь; 4 — алюминий.

успешно описать данные, приведенные в [17] (рис. 4), понять роль уравнения (2) как подготовительной стадии, предложить двухстадийный подход к проблеме разрушения, найти значения λ для стали, меди, никеля и свинца. Подробное рассмотрение откола в [19], проведенное в предположении, что разрушение протекает в упругой области деформации, показало, что наиболее поврежденное сечение, по которому происходит разрушение материала, в акустическом приближении фактически совпадает с фронтом отраженной волны разрежения. В координатах $\lg \sigma_p - \lg \tau$ условие (1') описывается кривой 3, рис. 5, а уравнение (2) линией 1, ниже кривой 3 — область разрушения (откол). Ниже приведены причины, почему уравнение (2) или его модернизация не приемлемы для описания откола.

1. Соображения, приведенные в [4], о том, что при одномерной деформации, присущей ударно-волновому сжатию и растяжению, энергия практически не расходуется на пластическое течение (формоизменения) и остается как упругая энергия, что дает основание для использования уравнения (1).

2. Откольные разрушения, как и разрушения геометрически подобных объектов при импульсном нагружении, по своей природе носят волновой характер, где время и координата связаны через скорость ударной волны, которая в условиях откола близка к скорости звука c . В задаче

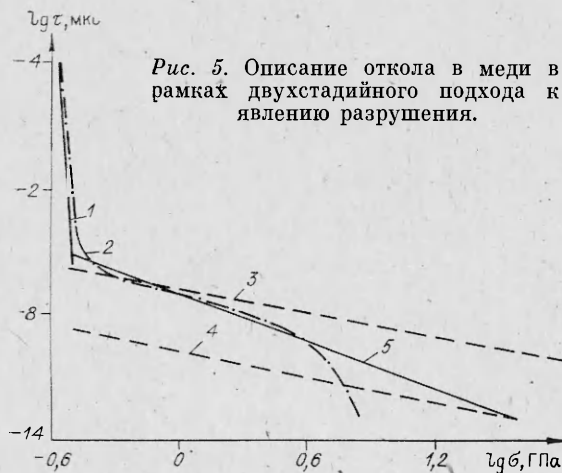


Рис. 5. Описание откола в меди в рамках двухстадийного подхода к явлению разрушения.

об отколе за характерную длину принимается толщина ударяющей пластины или длина нагружающего импульса l [19]. Из связи l уравнения (1) и τ уравнения (2) вытекает весьма важное следствие: изменение долговечности с необходимостью ведет к изменению масштаба задачи. Поскольку в (1) зависимость σ от $l = c\tau$ более сильная, чем в (2) от τ , ведущим процессом, определяющим суть явления, должен быть процесс, описываемый уравнением (1) [5]. Таким образом, рассмотрение откола

как органически связанного звена в общей феноменологии разрушения с привлечением сильных масштабных эффектов энергетической природы позволило в [5, 19] описать эксперимент по отколу для ряда металлов. Такое описание можно считать физически обоснованным подходом.

3. Соображения, изложенные в пунктах 1, 2, подтверждаются также близкими значениями λ для мягкой стали, найденными при обработке опытов по отколу [5, 19], опытов по разрушению крупногабаритных сосудов [18] и данных по определению ударной вязкости [20].

В свете изложенного и в соответствии с двухстадийной феноменологией разрушения [4, 5], принимая во внимание структуру уравнения (2) (U — энергия на единицу массы), которое описывает объемные, а не поверхностные процессы, приходим к выводу, что использование (2) или его модификации для описания откола представляется неоправданным.

Выясним, насколько хорошо описывается эксперимент по отколу условием (1), помимо приведенного в работах [5, 19]. Сравнение ряда критериев по отколу в меди, выполненное в [21], показало, что критерий (1) при использовании численных расчетов и уравнения Ми — Грюнайзена в области упругопластичности дает наиболее корректное описание. В [4] сделана систематизация данных по отколу для ряда материалов (в акустическом приближении). Отмечено, что в среднем зависимость $\sigma_p(l)$ оказалась слабее, чем (1). Одной из возможных причин такого отклонения, помимо ряда упрощающих предположений, могла явиться зависимость λ от t (или l), на что указывалось в [4].

Проследим на меди, существует ли такая зависимость. Этот материал не претерпевает фазовых переходов в интересующей нас области, и для него имеется обширный экспериментальный материал. При $\tau = 3 \cdot 10^{-7}$ с величина λ , согласно [5, 22], составляет 3—5 Дж/см², а $\sigma_p = 0,75$ ГПа [22]. Известно, что непосредственно на работу разрушения объекта идет малая часть от названной величины. Основные затраты энергии связаны с пластическим течением в окрестности трещины. Если бы удалось каким-либо способом приложить внешние силы непосредственно к двум соседним атомным плоскостям, например с помощью когерентного излучения с длиной волны $\sim 10^{-8}$ см [4], значение λ упало бы до величины удвоенного поверхностного натяжения образовавшихся новых плоскостей: $\lambda_0 = 3,3 \cdot 10^{-4}$ Дж/см². Эта величина и есть характеристика теоретической прочности. Теоретическая прочность (при физически обоснованном энергетическом определении) на 4 порядка меньше фактической энергии разрушения при $\tau = 3 \cdot 10^{-7}$ с [4]. Значению λ_0 отвечает $\sigma_{теор} \sim 35$ ГПа [23], что всего в 3 раза меньше E . Если допустить, что $\frac{d\lambda}{d\tau} = \text{const}$, то при изменении τ на порядок значение $\Delta\lambda$ оказывается пренебрежимо мало. Однако при $\frac{d\lambda}{d\tau} = f(\tau)$ и при том же изменении τ величина $\Delta\lambda$ может оказаться заметной и существенно повлиять на соотношение (1). На рис. 5 линии 3 и 4 проведены через точки (0,75 ГПа, $3 \cdot 10^{-7}$ с) и (35 ГПа, 10^{-13} с) при $\lambda = \text{const}$. Линия 5 отвечает степенной функции ($\sigma \sim \tau^{-0,256}$), проходит через обе точки и может рассматриваться как одна из возможных зависимостей. Кривая 2 взята из работы [22].

Из других факторов, которые могли привести к отклонению от уравнения (1) при описании откола для ряда материалов в [4], отметим следующие: влияние текстуры [21], направления прокатки [24], термообработки [25] исследованных образцов. В большинстве использованных в [4] оригинальных работ такая информация не приведена, но влияние перечисленных факторов на λ несомненно. На это указывает дисперсия в величинах σ_p для меди, полученных разными авторами.

Таким образом, рассмотрение откольного разрушения как органически связанного звена в общей энергетической феноменологии разрушения дает основание считать, что такое описание физически обосновано и перспективно. Конечно, как и всякая феноменология, она не может

исключить необходимость детального изучения кинетики разрушения для каждого материала и конкретных начальных условий, учета возможности фазовых или каких-либо физико-химических превращений в исследуемой области.

В заключение коснемся вопроса об энергетической прочности жидкостей, а также о зависимости λ от температуры. Физически очевидно, что большой разницы в величинах λ для жидкостей и твердых тел не должно быть. Исследования подтверждают эту точку зрения. Так, согласно [25], значения λ для ртути и спирта всего соответственно в 2 и 3 раза меньше, чем для оргстекла, и составляют 0,54 и 0,35 Дж/см². Для воды и глицерина это различие несколько больше. Следовало ожидать также, что с увеличением T величина λ должна падать. Без учета особых областей эксперимент подтверждает эту зависимость для жидкостей [26] и твердых тел [27].

Поступила в редакцию 5/IX 1984

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Иванов, В. А. Рыжанский и др. ФГВ, 1981, 17, 3, 102.
2. А. Г. Иванов, А. А. Учасов и др. Докл. АН СССР, 1981, 261, 4, 868.
3. Дэвис, Мэйджи. Тр. амер. об-ва инж. мех. Сер. Д, 1975, 2, 58.
4. А. Г. Иванов, В. И. Мннеев. ФГВ, 1979, 15, 5, 70.
5. А. Г. Иванов, В. И. Мннеев. Докл. АН СССР, 1975, 220, 575.
6. В. М. Фридман, И. И. Щербаков. Пр. прочности, 1980, 11, 111.
7. А. Г. Иванов. Пр. прочности, 1976, 11, 50.
8. А. Г. Иванов, Л. И. Кочкин и др. ПМТФ, 1983, 1, 112.
9. F. Olive, A. Nicand, I. Marilleau, R. Loichot. Mech. Prop. High Rates Strain. Proc. 2-nd Conf., Oxford, 1979. Bristol — London, 1980.
10. Дж. Н. Гудьер, И. К. Макайвор. Прикл. мех. (США), 1964, 2, 111.
11. Г. Линберг. — В кн.: Механика. Сер. 8. М., 1976.
12. А. Г. Федоренко, В. И. Цыпкин и др. Мех. комп. матер., 1983, 1, 90.
13. Г. П. Черепанов. Докл. АН СССР, 1983, 272, 3, 590.
14. С. В. Сериков. ПМТФ, 1982, 6, 123.
15. Ю. И. Фадеев. — В кн.: Динамические задачи механики сплошных сред. Вып. 32. Новосибирск, 1977.
16. Б. А. Тарасов. Пр. прочности, 1972, 12, 63.
17. Н. А. Златин, Б. С. Иоффе. ЖТФ, 1972, 42, 8, 1740.
18. А. Г. Иванов, В. А. Сеницын, С. А. Новиков. Докл. АН СССР, 1970, 194, 2, 316 (см. также ФГВ, 1972, 8, 1, 124).
19. А. Г. Иванов. ФГВ, 1975, 11, 3, 475.
20. Э. Норрис, Р. Уайли. — В кн.: Ударные испытания металлов. М., 1973.
21. О. А. Клещевников, В. И. Сафронов и др. ЖТФ, 1977, 47, 8, 53.
22. А. М. Молодец, А. И. Дремин. Докл. АН СССР, 1982, 265, 6, 1385.
23. Б. Л. Авербах. — В кн.: Разрушение. Т. 1. М.: Мир, 1973.
24. Б. А. Тарасов. Пр. прочности, 1974, 3, 121.
25. В. К. Голубев, С. А. Новиков и др. Пр. прочности, 1984, 4, 41.
26. М. А. Иванов. ПМТФ, 1981, 1, 140.
27. М. А. Иванов. ФГВ, 1979, 15, 4, 131.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗАРЯДА ВВ НА ТОЛЩИНУ ОТКОЛА У ПЛАСТИНЫ

*В. А. Огородников, Г. Г. Иванова, А. Г. Иванов
(Москва)*

Измерение прочности конструкционных материалов в динамических условиях при временах воздействия нагрузок 10^{-6} с и менее основано на явлении откола слоя вещества после выхода на свободную поверхность образца короткого импульса давления. Такой импульс создается, как правило, при ударе по образцу разогнанной пластиной-ударником или при взрыве на его поверхности заряда ВВ. В последнем случае инициирование детонации в заряде ВВ осуществляется с помощью того или иного генератора плоской УВ (свинцовые или пенопластовые линзы, электровзрыв