

СЕКЦИЯ ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ПАДАЮЩЕГО ГРУЗА ДЛЯ ГРАДУИРОВКИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ИМПУЛЬСНЫХ ДАВЛЕНИЙ

Суркаев А.Л., Кумыш М.М., Усачев В.И.

Целью данной работы является градуировка пьезоэлектрического датчика импульсного давления ударной волны электрического взрыва проводников в конденсированных средах с использованием метода падающего груза.

Электрический разряд в конденсированных средах находит многостороннее применение и требует проведение дальнейших научных исследований для получения достоверной информации, в частности, об амплитуде и форме генерируемой ударной волны [1, 2]. В частности, возникает задача определение параметров ударно-акустической волны, генерируемой электрическим взрывом плоского металлического кольца [3] в конденсированной среде.

Для моделирования гидродинамического удара разработана экспериментальная установка (рис. 1), принцип действия которой основан на методе падающего груза. В данной установке создаются условия подобные тем условиям, которые реализуются при осуществлении электрического взрыва кольцевой фольги в конденсированной среде.

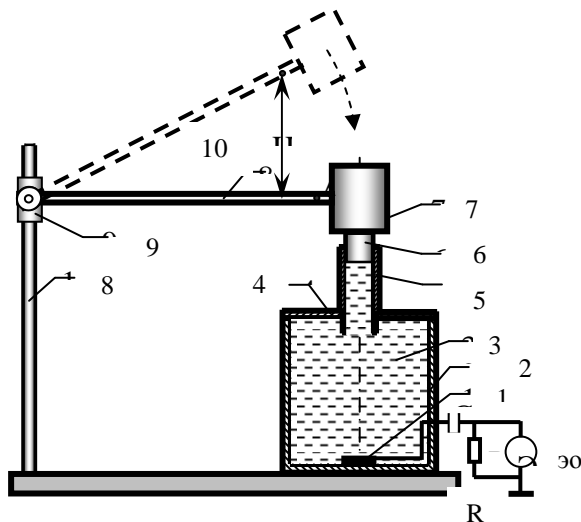


Рис. 1

направляющий цилиндр 5. В цилиндр 5 вставлен поршень 6, который герметизирует цилиндр в верхней части. Нижний торец цилиндра погружен в воду, что дает возможность заполнять цилиндр водой, причем расстояние от нижнего торца цилиндра до пьезоэлектрического преобразователя в процессе испытаний можно изменять. Ударник, состоящий из бойка 7 и рукоятки 8,

Пьезоэлектрический преобразователь 1 (ЦТС-19) в виде таблетки устанавливается на дне цилиндрической емкости 2, заполненной водой 3 и последовательно включается в RC цепочку. Падение напряжения на сопротивлении R подается на вход электронного осциллографа ЭО. В середине крышки 4 имеется отверстие, в которое сверху вертикально монтируется и жестко закрепляется

шарнирно установлен на ползуне 9, который можно передвигать вертикально вдоль направляющей штанги 10.

При подъеме ударника на некоторый угол и последующем отпускании, под действием силы тяжести происходит его падение на поршень 6. После удара бойка 7 по поршню 6, последний, перемещаясь в цилиндре 5, оказывает на воду импульсное воздействие. В данном процессе имитируется генерация ударно-акустической волны в воде, которая происходит при электрическом взрыве кольцевой фольги в экспериментальной установке вследствие расширения плазменного образования (плазменный «поршень»). Посредством воды ударный импульс передается пьезокерамическому преобразователю 1, который генерирует электрический сигнал, регистрируемый запоминающим электронным осциллографом.

Меняя высоту H подъема ударника, меняется скорость падения бойка и соответственно меняется величина амплитуды импульсного воздействия на воду. Используя тривиальные математические преобразования, можно получить выражение, определяющее среднее давление в замкнутом объеме с поршнем в цилиндре при воздействии падающего груза:

$$\langle P \rangle = \frac{\langle F \rangle}{S} = \frac{(M + m/3)(M + m)gH}{(m_0 + M + m/3)\Delta h S} - \frac{F_{тр}}{S}.$$

На рис. 2 представлена характерная осциллограмма: зависимость давления генерируемой акустической волны от времени $P(t)$. В данном случае длительность

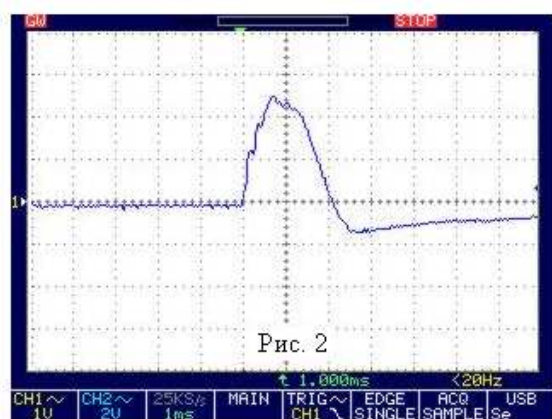


Рис. 2

импульса давления волны составляет $\tau \approx 2 - 2.5 \text{ ms}$ и амплитуда $P_{\max} \approx 10^7 \text{ Pa}$.

Также проводились эксперименты по оценке времени взаимодействия падающего груза с поршнем, которое определялось с использованием генератора прямоугольных импульсов. Время взаимодействия было сопоставимо с длительностью импульса давления в жидкости.

Список литературы

- [1] Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости. - Киев: Наукова думка, 1986. – 205 с.
- [2] Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. - М: Энергоиздат, 1990. - 217 с.
- [3] Суркаев А.Л., Слепцов О.А. Электрогидроимпульсный способ запрессовки труб в труднодоступных местах. - Патент № 2125496 А1. - 1999.

ОБРАЗОВАНИЕ МИКРОНЕСПЛОШНОСТЕЙ НА МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ ГРАНИЦЕ

Ю.В. Васильева – старший преподаватель кафедры «Общая физика» ВФ МЭИ
(ТУ)

В.Г. Кульков – научный руководитель – д.ф.-м.н., проф. кафедры «Общая физика»
ВФ МЭИ (ТУ)

Разрушение можно определить как разделение тела на части под действием напряжений. Наиболее плодотворным является подход к разрушению как к процессу, который развивается во времени и проходит последовательно подготовительную критическую и закритическую стадии. Наиболее актуальной в настоящее время является изучение проблемы зарождения микронесплошности, которая в дальнейшем может превратиться в трещину. Трещина может проходить по телу или, наоборот, по границам зерен.

Реалистические модели зернограничных процессов, в том числе и трещинообразования должны строиться с учетом истинного строения границ и принимать во внимание наличие дефектов – зернограничных дислокаций, уступов, ступенек, различно ориентированных фасеток, линий их стыков и т. д.

Исходя из основных геометрических параметров модели границы зерна, содержащей ступеньки одинаковой высоты, были получены выражения для определения скорости проскальзывания. [1]

В двух предельных случаях, область низких частот или высоких температур и область высоких частот или низких температур, найдены асимптотические выражения для частотной зависимости внутреннего трения на ступенчатых границах, не содержащих поры.

Зависимость внутреннего трения от частоты имеет степенной вид с показателем степени, изменяющимся от значения -1 до значения $-0,5$. [2]

Литература:

1. Кульков В.Г., Васильева Ю.В. Образование микронесплошностей в процессе проскальзывания по ступенчатой межкристаллитной границе // XI Международная конференция "Взаимодействие дефектов и неупругие явления в твердых телах" (IAPS XI). Сборник трудов. – Тула, изд. ТулГУ, 2008 г. – С. 71-76.

2. Кульков В.Г., Васильева Ю.В. Зернограничное внутреннее трение на ступенчатых границах с микронесплошностями // Перспективные материалы. 2009. № 7. с. 171-175.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В МИГРИРУЮЩЕЙ ГРАНИЦЕ ЗЕРНА

А.С. Поляков – старший преподаватель кафедры «Общая физика»
ВФ МЭИ (ТУ)

В настоящее время широкое распространение получают ультрамелкозернистые и наноструктурные материалы. В таких материалах особую роль играют границы зерен, которые являются большеугловыми. Несмотря на большое разнообразие возникающих атомных конфигураций в таких границах, а также моделей их строения, общим их свойством является наличие так называемой несоразмерности геометрических элементов зернограницной структуры. Несоразмерные границы в литературе обозначаются как неспециальные, общего типа, произвольные, случайные. Основным параметром, характеризующим геометрическое положение и энергию приграничных атомов, является так называемый параметр несовпадения, который для различных типов границ может быть скалярной или векторной величиной. Модели релаксационных процессов на таких границах основаны на рассмотрении локальных атомных конфигураций, образующих двух- или трехуровневую энергетическую систему. Кинетика процессов описывается на основе рассмотрения функции распределения атомов по параметру несоответствия для различных энергетических состояний.

В представленной работе на основе разработанной ранее модели миграции несоразмерных границ наклона [1] получено выражение для средней избыточной по сравнению с объемом атомной доли зернограницных вакансий. Для этого были введены функции распределения атомов двух соприкасающихся кристаллитов вида:

$$f_1(z) = \begin{cases} 1, & z < 0 \\ \exp\left(-\int_0^z \frac{d\xi}{v\tau}\right) = \exp\left(-\frac{z}{v\tau}\right) = \exp\left(-\frac{z}{z_1}\right), & z \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$
$$f_2(z) = 1 - f_1(z).$$

Преобразования здесь сделаны на основе полученных в [1] выражений скорости миграции $v = \frac{C_0 \delta F}{2w_0 \tau_0 kT} \exp\left(-\frac{U_b}{kT}\right) = mF$ и времени релаксации $\tau = \frac{2w_0 z_1 \tau_0 kT}{C_0 \delta F} \exp\left(\frac{U_b}{kT}\right)$, где C_0 – атомная доля вакансий в границе, δ – толщина границы, F – термодинамическая движущая сила миграции, определяемая как избыточная свободная энергия, приходящаяся на один атом поглощаемого кристаллита, τ_0 – период колебаний атомов, w_0 – вероятность отсутствия вакантного узла [1] вблизи атома кристаллита, k – постоянная Больцмана, T – термодинамическая температура, U_b – энергия активации перескоков атомов в границе, m – подвижность границы. Учет этих зависимостей дает $v\tau = z_1$.

Энергию образования вакансий можно представить в виде: $U_i(z) = U - W_i(z)$ [1], где U – энергия образования вакансий в объеме ненапряженного кристаллита.

Введенные ранее функции $f_i(z)$ можно трактовать как доли атомов с координатой z , принадлежащих «своему» кристаллиту с номером i . Тогда полную локальную атомную долю вакансий можно представить в виде:

$$C(z) = f_1(z) \exp\left(-\frac{U - W_1(z)}{kT}\right) + f_2(z) \exp\left(-\frac{U - W_2(z)}{kT}\right). \quad (2)$$

Подставляя в это выражение значения функций распределения и энергий, а также интегрируя по всей границе, приходим к линейной функции зависимости объемной доли вакансий в границе от ее скорости.

$$\langle C \rangle = \exp\left(-\frac{U}{kT}\right) \left(2A_1 + e^{-1}(A_2 - A_3) + \frac{v}{mkT} (A_1 + e^{-1}A_2) \right), \quad (3)$$

$$A_1 = a^{-1} \int_0^{\infty} \left(\exp\left(\frac{W(\zeta)}{kT}\right) - 1 \right) d\zeta; \quad A_2 = a^{-1} \int_0^{\infty} \exp\left(\frac{W(\zeta)}{kT} - \frac{\zeta}{z_1}\right) d\zeta; \quad A_3 = a^{-1} \int_0^{\infty} \exp\left(\frac{W(-\zeta)}{kT} - \frac{\zeta}{z_1}\right) d\zeta.$$

Избыточная атомная доля вакансий в мигрирующей границе, согласно выражению (3), линейно зависит от величины скорости ее миграции, возрастая с последней. Этот результат получен в области малых значений движущих сил, когда скорость миграции границы пропорциональна их величине. Такое изменение области повышенной концентрации вакансий можно трактовать как уширение границы. Оно обусловлено конечной скоростью протекания процессов релаксации кристаллической структуры растущего зерна позади мигрирующей границы.

Таким образом, атомная модель миграции границ зерен общего типа, основанная на концепции несоразмерности структуры [1] позволяет рассчитать избыточную по сравнению с объемом кристаллитов атомную долю вакансий в границе, что согласуется с расчетами методами молекулярной динамики [2] и результатами эксперимента [3].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кульков В.Г., Поляков А.С. Атомный механизм миграции несоразмерной границы наклона, Деформация и разрушение материалов, 2008, № 11, с. 42-47.
2. Upmanyu M., Srolovitz D.J., Shvindlerman L.S., Gottstein G. Vacancy generation during grain boundary migration // Interface Science, 1998, V. 6, № 4, P. 289-300.
3. Chr. Gottschalk, K. Smidoda, H. Gleiter The generation of migrating boundaries by vacancies // Acta Metallurgica V. 28, № 12, 1980, P. 1653-1656