



Естественные науки

КЛАССИФИКАЦИЯ НЕСОРАЗМЕРНЫХ ГРАНИЦ, ОБРАЗОВАННЫХ НЕКРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИМИ ПЛОСКОСТЯМИ

А.С. Поляков, В.Г. Кульков, Филиал Московского энергетического института (ТУ)

В реальных поликристаллических материалах высокую долю границ составляют большеугловые границы, которые изучены довольно слабо. Одним из понятий, позволяющим описать такие границы, является понятие несоответствия структуры границы. Для введения понятия несоответствия границ требуется их классификация, представленная в [1]. В зависимости от ориентации вектора нормали поверхности, можно получить следующие три вида поверхностей – кристаллографическую; поверхность, содержащую только одну кристаллографическую линию и некристаллографическую. Комбинация двух кристаллитов дает 9 различных видов границ, рассмотренных в [1].

Понятие несоответствия вводится через параметр несоответствия (misfit parameter), описывающий положение граничных атомов одного кристаллита по отношению к приведенной ячейке другого кристаллита. В представленных ранее работах одна из рассматриваемых поверхностей кристаллита всегда являлась кристаллографической поверхностью, что позволяло легко выделить приведенную ячейку. В общем случае от понятия приведенной ячейки необходимо отказаться, описывая положение поверхностных атомов относительно одной точки (строго говоря, эта точка может быть любой). Таким образом, совокупность поверхностных атомов может быть описана семейством векторов с началом в этой базовой точке. Любой такой вектор состоит из двух компонент – вектора трансляции вида $\vec{r} = n_1 \cdot \vec{a} + n_2 \cdot \vec{b} + n_3 \cdot \vec{c}$, где n_1, n_2, n_3 – целые числа, а $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ – вектора примитивных трансляций решетки и непосредственно параметра несоответствия. Отбрасывая вектор \vec{r} , получаем чистый параметр несоответствия, что соответствует описанию через приведенную ячейку для случая одной кристаллографической поверхности.

Особенность несоответствия структур, согласно которой формируется непрерывное распределение атомов по параметру несоответствия, позволяет рассчитывать параметры миграции границ зерен общего типа и скольжение вдоль них. Модели, построенные на идее несоответствия структур, позволяют получить адекватные результаты, согласующиеся с экспериментами.

Литература

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАЗОВАНИЯ МИКРОНЕСПЛОШНОСТЕЙ В КРИСТАЛЛЕ

В.Г. Кульков, Ю.В. Васильева, Филиал Московского энергетического института (ТУ)

Согласно современным представлениям, процесс разрушения материала следует рассматривать во времени как состоящий из нескольких последовательных стадий – стадии зарождения трещин, подрастания до критической длины и, наконец, закритическую стадию нестабильного роста. Наибольший интерес ввиду своей актуальности представляет изучение дислокационных моделей процесса трещинообразования. Идея модели Зинера–Стро основана на возможности слияния головных дислокаций скопления под действием напряжения с образованием микротрещины атомного размера. Модель заторможенного сдвига, предполагающая блокировку скольжения каким-либо барьером, учитывает высокое нормальное растягивающее напряжение в области под плоскостью скольжения, тем самым, дополняя предыдущую модель. Рожанским и Гилменом предложена модель образования трещины в результате раскрытия плоскости скольжения из-за изгиба, вызванного скоплением краевых дислокаций одного знака [1]. Образование скопления дислокаций при скольжении по пересекающимся плоскостям описывает модель Коттрелла.

На границе зерна наблюдается искаженное кристаллическое строение и более высокое энергетическое состояние, поэтому реалистические модели 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. Образование микронесплошностей в процессе проскальзывания под действием внешнего сдвигового напряжения по ступенчатой межкристаллитной границе рассмотрено в работе [2]. Получены выражения для определения скорости проскальзывания от геометрических размеров ступенек и произведена оценка скорости роста микронесплошности в зависимости от вязкости ступенчатой границы зерна в алюминии. В рамках этой модели рассчитана величина внутреннего трения в зависимости от частоты и температуры.

Литература

1. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия. 1979. – 495 с.

2. 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). 24-28 сентября, 2007, Тула, Россия: сборник трудов конференции – Тула: изд-во ТулГУ, 2008. – С.71 – 76.

ТЕЧЕНИЕ ТЯЖЕЛОЙ ЖИДКОЙ СРЕДЫ В ЗАЗОРЕ ПРОТИВОВРАЩАЮЩИХСЯ ВАЛКОВ

Зубович С.О., Шаповалов В.М., ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Задача непосредственно связана с течением маловязкой жидкой среды в зазоре вращающихся с разной угловой скоростью валков. В технике такое течение называется валковым течением с фрикцией. В процессах каландрования резин, полимеров и других высоковязких сред при течении с фрикцией наблюдаются интересные эффекты: например, резина равномерно распределяется по «быстрому» валку и практически не пристает к «медленному». В случае валкового течения с фрикцией маловязкой жидкости определенным интерес представляет получение на одном двухвалковом аппарате два пленочных слоя обрабатываемого материала разной толщины.

Рассмотрен процесс течения ньютоновских (подчиняющихся линейному закону Ньютона: $\tau = \eta \dot{\gamma}$) и неньютоновских (чисто вязких, нелинейно-вязких и аномально вязких, подчиняющихся степенному закону: $\tau_{ij} = \eta_0 A^{m-1} \dot{\epsilon}_{ij}$) сред в зазоре вращающихся с разной скоростью валков. Направление течения сверху–вниз. Выполнена оценка влияния гравитационного разделения гетерогенной системы на её течение в зазоре. Показано, что изменением однородности реологических свойств жидкости в зазоре вследствие осаждения можно пренебречь. Выполнена оценка неизотермичности течения. Показано, что глубина проникновения тепла в перерабатываемый материал за время его пребывания значительно меньше размеров зоны течения. Диссипативный саморазогрев, ввиду малого времени пребывания жидкости в зоне течения, незначителен. Ввиду относительной «протяженности» зоны течения показана возможность игнорирования продольных и поперечных нормальных напряжений, полагая их значительно меньше

касательных. Кроме того, в рамках квазиодномерного подхода изменением давления по высоте зазора пренебрегаем, полагая $\partial p / \partial y = 0$, $p = p(x)$. Также игнорируются силы инерции. Сформулированы уравнения и граничные условия задачи. Получено аналитическое решение задачи. Найдена скорость жидкости, распределение давления, расход, функция тока. Указаны условия возникновения циркуляции жидкости на входе зоны течения (циркуляция может существенно интенсифицировать тепло- массообменные процессы в зоне течения). Определены энергосиловые характеристики течения: распорное усилие, окружное усилие, потребляемая мощность. Обнаружены два режима течения рассматриваемых жидкостей. В первом режиме имеет место вакуумирование в окрестности точки выхода жидкости из зоны течения. Описаны особенности режимов и указаны их границы. Установлено, что силы собственного веса способствуют снижению распорного усилия, потребляемой мощности и увеличивают расход жидкости.

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ДАВЛЕНИЯ УДАРНО-АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПЛОСКОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ФОЛЬГИ

Суркаев А.Л., Кумыш М.М., ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Целью данной работы является оценка амплитуды давления ударно-акустической волны, генерируемой электрическим взрывом плоской кольцевой фольги в жидкой среде, в рамках допущения квазистационарности протекания процесса.

Широкий спектр физических эффектов электрического взрыва проводников - генерация электромагнитных излучений, формирование ударно-акустических возмущений, получение наноразмерных порошков и т.д. – находят многостороннее применение и требуют проведение дальнейших научных исследований для получения достоверной информации о физических свойствах наблюдаемых явлений [1, 2]. Электрически взрывающийся проводник, рассматриваемый в данной работе, представляет собой плоское кольцо из фольги. Ток разряда, с применением соответствующей электродной системы, протекает радиально - от центральной к периферийной части кольца. Использование предлагаемой геометрии проводника позволяет генерировать плоскую ударно-акустическую волну [3]. Считаем, что процесс протекания взрыва является квазистатическим [4], т.е. время достижения максимального значения тока разряда на много больше времени прохождения звуковой волны до стенки камеры. Следуя [4], имеем условие сохранения массы воды $\rho V' = \text{const}$, где ρ – плотность жидкости в области между стенкой камеры и плазменным образованием; V' – объем жидкости.

Отсюда получаем уравнение: $\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{dV'}{V'}$. Уравнение состояния жидкости представляется в форме Гэга: $P \approx P_0(\rho/\rho_0)^\alpha + A[(\rho/\rho_0)^\alpha - 1]$. Объем жидкости, вовлеченной в процесс возмущения электрическим взрывом плоского кольца из фольги, представляет собой усеченный конус, объем которого определяется $V'_0 = \frac{\pi H}{3}(R^2 + r^2 + Rr)$. Тогда имеем:

$$\rho = \frac{\rho_0 V'_0}{V'} = \frac{\rho_0 H (R^2 + r^2 + Rr)}{H(R^2 + r^2 + Rr) - 3h(R_k^2 - r_k^2)}.$$

Уравнение баланса энергии в канале разряда: $I^2 R = P \frac{dV'}{dt} + \frac{1}{(\gamma-1)} \frac{d(PV')}{dt}$, где

$\gamma = 1,22 \div 1,3$ – показатель адиабаты плазмы. Новая переменная $\tau = \frac{1}{AV'} \int I^2(t) R dt$ и

$\theta = \frac{P}{A}$ имеем:

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{(\gamma-1)} \frac{d}{d\tau} (x\theta) + \theta \frac{d}{d\tau} x.$$

Решением уравнения относительно τ является:

$$\tau = \frac{x^2}{(\gamma-1)} \theta + \frac{(\gamma-2)}{(\gamma-1)} \left[\frac{x(1-x)^{-\alpha+1}}{(\alpha-1)} - \frac{(1-x)^{-\alpha+2}}{(\alpha-1)(\alpha-2)} - \frac{x^2}{2} \right].$$

Выражение позволяет получить величину энергии $E(h)$ плазменного образования электрического разряда (рис. 1) в зависимости от изменения высоты цилиндра плазменного канала, а также оценить амплитуду давления ударно-акустической волны (рис. 2), используя ниже приведенное выражение, при изменении $h = (0 \div 8) \cdot 10^{-3}$ м. Начальные параметры $r_k = 3 \cdot 10^{-3}$ м; $R_k = 7.5 \cdot 10^{-3}$ м; $R = 15 \cdot 10^{-3}$ м; $H = 30 \cdot 10^{-3}$ м.

$$P = \frac{(\gamma-1)E}{x^2 V'_0} - \frac{(\gamma-2)A}{x^2} \left(\frac{x(1-x)^{-\alpha+1}}{(\alpha-1)} - \frac{(1-x)^{-\alpha+2}}{(\alpha-1)(\alpha-2)} - \frac{x^2}{2} \right).$$

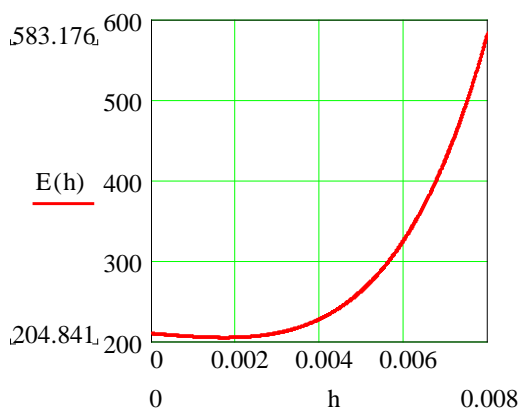


Рисунок 1

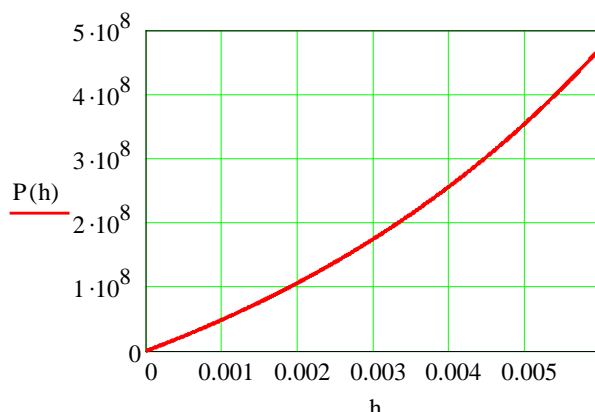


Рисунок 2

Литература

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.

4 Шнеерсон Г.А. Оценка давления при медленных режимах искрового разряда в цилиндрической камере, заполненной водой. // ЖТФ. 2003. т.73. Вып. 3. С. 100–101.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛН ДАВЛЕНИЯ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ И ПЛОСКИМ ИСТОЧНИКАМИ

Суркаев А.Л., Кумыш М.М., ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Целью данной работы является экспериментальное исследование поля давления ударно-акустической волны, генерируемой электрическим взрывом проводников в виде проволочек и плоских фольг.

Электрический взрыв проводника (ЭВП) мощным импульсом тока является хорошим инструментом для фундаментальных исследований различных физических явлений при высоких плотностях энергии. В частности ЭВП широко используется для создания импульсного давления в жидкости и интенсивно исследуется в области синтеза наноразмерного порошка. Для исследования ЭВП использовался RLC-генератор тока. Энергетическая установка является традиционной и представляет собой накопитель энергии конденсаторного типа с сопутствующим оборудованием.

Электродная система электрического взрыва проволочек представляет собой конструкцию из двух стержневых электродов, расположенных соосно. В качестве датчика давления использовались тонкостенные (0,8–1,2 мм) алюминиевые цилиндры (диаметром 25–30 мм), внутрь которых вставлялась электродная система. С помощью резиновых заглушек осуществлялась гидроизоляция датчика давления. Для обеспечения согласованного режима разряда необходимо использование соответствующих геометрических размеров взрывающегося проводника, которые определяются приведенными ниже эмпирическими соотношениями [1, 2], в этом случае будет происходить наиболее полная реализация энергии конденсаторного накопителя в первой половине периода электрического разряда:

$$d_{\text{опт}} = \left(\frac{W_0}{\gamma_{\text{пр}} \sigma_{\text{пр}} (\lambda_{\text{пр}} + \chi_{\text{пр}}) \sqrt{L/C}} \right)^{1/4} \quad \ell_{\text{опт}} = \frac{U_0 \sqrt[4]{LC}}{\alpha \sqrt{\rho_{\text{пр}} \gamma_{\text{пр}} (\chi_{\text{пр}} + \lambda_{\text{пр}})}}$$



Рисунок 1 – Трубчатый датчик давления Рисунок 2 – Взрывающаяся фолга после взрыва

Взрыв медных проволочек диаметром 0,3 мм и длиной 13 мм осуществляли в воде. В результате ЭВП проволочки возникала ударно-акустическая волна цилиндрической симметрии, которая деформировала датчик давления (фото 1) вплоть до его разрушения. При проведении экспериментов использовался один датчик, поэтому волну давления за один опыт можно было зарегистрировать только на одном фиксированном расстоянии от взрывающейся проволочки, равном радиусу цилиндрического датчика. Анализ результатов показал, что фронт ударных волн, генерируемых при взрыве проволочек достаточно близок к цилиндрической симметрии. Амплитуда давления ударных волн по оценке составляла не менее 3 МПа.

Для генерации плоских ударных волн применяется электрический взрыв металлических фольг. Для закрепления алюминиевой фольги была разработана электродная



конструкция, состоящая из наружного кольцевого электрода и центрального стержневого электрода, которая обеспечивала протекания тока в радиальном направлении кольцевой фольги. Активная зона фольги ограничивалась внутренним радиусом $r_1 = 5$ мм и внешним диаметром $r_2 = 12,5$ мм, образуя кольцеобразный проводник. Толщина фольги $h=1,5$ мкм.

В качестве датчика давления использовался вязко-неупругий материал (пластилин), помещенный в плоскодонную емкость, причем открытая поверхность материала (тензометрическая поверхность) располагалась на определенном расстоянии от взрывающейся фольги. В результате электровзрыва фольги возникала близкая к плоской ударно-акустическая волна, которая деформировала тензометрическую поверхность, образуя глубокую воронку. На фото 3 показан датчик давления после испытания (расстояние от фольги до пьезометрической поверхности составляло 30 мм).

Литература

1 Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости. - Киев: Наукова думка, 1986. – 205 с.

2 Суркаев А.Л., Кумыш М.М. К вопросу об условиях оптимальности режимов электрического взрыва кольцевой фольги. II Международная научно-практическая конференция "Дни науки - 2007" (01-15 апреля 2007 г.) www.rusnauka.com

3 Суркаев А.Л., Слепцов О.А. Электрогидроимпульсный способ запрессовки труб в труднодоступных местах. – Патент № 2125496 А1. – 1999.