

щения предложенного метода на случай произвольных оболочек главным вопросом является возможность использования описанного асимптотического подхода для уравнений с коэффициентами, являющимися функциями координат срединной поверхности оболочки, т.е. вопрос об универсальности предложенного подхода.

В представленной работе впервые асимптотическим методом построены уравнения для нестационарного напряженно-деформированного состояния (НДС) оболочки вращения в окрестности условного фронта поверхностных волн Рэлея при ударном нормальном воздействии на поверхности оболочки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-01-00545-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kaplunov J.D., Kossovich L.Yu., and Nolde E.V. Dynamics of Thin Walled Elastic Bodies. Academic Press. San-Diego, 1998. 226 p.
2. Коссович Л.Ю., Кириллова И.В. Асимптотическая теория нестационарных процессов в тонких оболочках // Proceedings of International Conference Topical Problems of Continuum Mechanics. Dilijan. 2010. P. 321-325.

В.Ф. Куропатенко

Российский Федеральный Ядерный центр-ВНИИ Технической физики им. академика Е.И. Забабахина, Снежинск

МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Рассматриваются модели разрушения материалов в динамических процессах, порождаемых воздействием на вещество ударных волн или потоков излучений (электронные пучки, рентгеновские кванты, пучки различных ионов и др.). Как правило, в таких процессах возникают области взаимодействия встречных волн разрежения и создаются растягивающие нагрузки, приводящие к откольному разрушению. Во многих моделях откольное разрушение рассматривается в гидродинамическом приближении из-за малости девиатора тензора напряжений, по сравнению с давлением [1]. Из приведённых в [1] экспериментальных данных следует, что такое приближение вполне оправдано. Откольное разрушение происходит внутри вещества. Это исключает возможность измерения параметров разрушения непосредст-

венно в зоне откола. Информацию об откольном разрушении получают внешними по отношению к области разрушения датчиками путём измерения истории движения свободной поверхности. Эта информация часто дополняется результатами измерений толщины откольных слоёв и фрактографических исследований поверхности разрушения в сохранённых после нагружения образцах. Анализ структуры поверхности образца, разрезанного после снятия всех нагрузок и остывания, даёт информацию о характере разрушения и повреждённости. Эта информация, конечно, важна для построения моделей разрушения, но не следует забывать, что она получена, когда волновые процессы в образце успокоились, давление в материале стало равно атмосферному, а температура 293°K . Из сказанного следует, что чисто экспериментальными методами невозможно получить информацию об эволюции вещества в зоне разрушения от состояния сплошности до полного или частичного дробления. В этих условиях на первый план выдвигается математическое моделирование, с помощью которого можно построить полную картину происходящих в веществе процессов. Точность математического моделирования, естественно, зависит как от применяемой модели разрушения, так и от точности применяемых численных методов. В [3] показано, что некоторые широко применяемые численные методы приводят к чисто "математической" диссипации энергии, сравнимой с диссипацией энергии в пластических течениях, что ставит под сомнение возможность их применения для моделирования разрушения. При образовании откольной трещины в обе стороны в вещество распространяются ударные волны, которые такими методами рассчитываются совершенно неверно.

Для моделирования откольного разрушения предложен ряд моделей, носящих эмпирический или полумэмпирический характер. По мере накопления новой экспериментальной информации эти модели усложнялись и совершенствовались. Сегодня уже ясно, что откольная прочность зависит от времени действия растягивающих напряжений, скорости разгрузки и скорости роста микроповреждённости. Скорость разгрузки определяется условиями экспериментов и характеризует скорость падения давления P вдоль изэнтроп. Скорость роста микроповреждённости определяется внутренними особенностями строения вещества на микроуровне. Обе эти скорости могут сильно различаться.

В настоящее время для моделирования откольного разрушения используется два подхода: энергетический и кинетический. Энергетические модели описывают конечное состояние и не рассматривают ни механизм разрушения, ни промежуточные состояния вещества. В кинетических моделях разрушение рассматривается как непрерывный процесс накопления повреждений. Разрушение происходит тогда, когда функция повреждённости достигает заданного значения. Одна из

первых кинетических моделей изложена в [4]. В кинетических моделях вводится понятие долговечности вещества - времени сохранения сплошности при заданном отрицательном постоянном давлении [1], [2].

В работе рассматривается принципиально новая модель откольного разрушения. В ней область отрицательных давлений трактуется как метастабильная фаза сплошного вещества, границей которой является спинодаль. Для моделирования поведения функции поврежденности привлекается теория зарождения очагов новой фазы в недрах сплошного вещества [5]. Приводятся результаты сравнения расчетов с экспериментами.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, ГРАНТ №10-01-00032.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков С.А. Напряжения сдвига и откольная прочность материалов при ударных нагрузках (обзор) // ПМТФ. №3(127). 1981. С. 109-120.
2. Глушак Б.Л., Куропатенко В.Ф., Новиков С.А. Исследование прочности материалов при динамических нагрузках. Новосибирск: Наука, 1992. 294 с.
3. Куропатенко В.Ф., Андреев Ю.Н. О моделировании динамических процессов в сферических и цилиндрических оболочках // Вычисл. механика сплошных сред. 2010. т.3. №4. С. 53-67.
4. Журков С.Н., Куксенко В.С., Петров В.А. Физические основы прогнозирования механического разрушения // ДАН СССР: 1981. т.259. №6. С. 1350-1353.
5. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. М. Л. Изд. АН СССР, 1959. 460 с.

С.А. Лурье, П.А. Белов*

Институт прикладной механики РАН, Москва
*ММЭЗ-КТ, Москва

ВАРИАЦИОННАЯ ПОСТАНОВКА СВЯЗАННОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРМОЭЛЕКТРОМАГНИТОУПРУГОСТИ

Мы строим модель связанной динамической термоэлектромагнитоупругости как теории упругости четырехмерной среды с учетом