ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/422

УПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ПРИ УЧЕТЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И РАЗМЕРОВ

Чертова Н.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

Реальные материалы и среды, к числу которых относятся композиты, поликристаллы, пористые и геологические среды, имеют иерархически организованную внутреннюю структуру, важным элементом которой являются границы раздела. В монокристаллах элементы структуры и границы раздела формируются в процессе деформации. Границы раздела представляют двумерные дефекты и оказывают существенное влияние на физические и эксплуатационные свойства материалов и сред, определяя закономерности процессов деформации и разрушения твердых тел.

Напряженно-деформированное состояние формируется в процессе распространения, взаимодействия и затухания волн. Для исследования напряженно-деформированного состояния на границе раздела рассмотрим задачу прохождения упругой волны через границу. Традиционно при решении этой задачи находятся коэффициенты Френеля и определяются потоки энергий вторичных волн [1]. Коэффициенты Френеля позволяют определить и проанализировать деформационные моды на границе, характеризующие формоизменение и поворот бесконечно малого элемента среды. Впервые это было сделано для свободной поверхности упругого тела. Аналогичная задача на границе раздела двух упругих тел при условии идеального контакта изучена в [2], в [3] рассмотрено условие идеального скольжения.

Классический подход механики сплошной среды предполагает, что граница раздела представляет бесконечно тонкий слой. В действительности граница имеет некоторый объем и обладает физико-механическими свойствами отличными от свойств контактирующих тел. Существует ряд подходов к построению моделей сред, структурная неоднородность которых обусловлена наличием границ раздела [4-5]. Рассмотрим закономерности деформаций на границах раздела, представляющих структурный элемент, в рамках модели блочных сред, предложенной Садовским [5]. Согласно этой модели граница обладает толщиной и характеризуется набором механических параметров, определяющих ее поведение. В данной работе на основе этой модели, широко используемой при численном моделировании динамического поведения структурно неоднородных сред [6], рассматриваются закономерности распространения упругих волн через границу раздела и исследуются деформации на границе в зависимости от ее размеров и свойств.

Как предполагается в модели [5], поведение упругих границ задается уравнением движения и законом Гука, на основе которых можно получить граничные условия для задачи контакта двух тел. В простейшем случае нормального падения продольной и поперечной волны граничные условия запишутся в виде

$$\rho_b \partial_t^2 (U_i^2 + U_i^1)/2 = (\sigma_{zi}^2 - \sigma_{zi}^1)/h, (U_i^2 - U_i^1)/h = (\sigma_{zi}^2 + \sigma_{zi}^1)/(2L_b), i=z, y. \quad (1)$$

Здесь и далее все приводимые величины определены в декартовой системе координат x, y, z , связанной с границей, нормаль которой $n \parallel z$, U_i^1 , U_i^2 , σ_{zi}^1 , σ_{zi}^2 – смещения и напряжения в граничащих средах, ρ_b , L_b , μ_b – плотность и упругие модули границы, h – толщина границы. В случае падающей волны сдвига ($i=y$) вместо модуля L_b во втором выражении (1) необходимо использовать $2\mu_b$. Выражения (1) получены на основе уравнения движения и закона Гука при замене пространственных производных дискретными выражениями и величин на границе средними значениями в контактирующих средах. При $h \rightarrow 0$ из (1) следуют условия идеального контакта.

$$U_i^2 - U_i^1 = 0, \sigma_{zi}^2 - \sigma_{zi}^1 = 0, i=z, y.$$

Подставляя в (1) выражения для смещений падающих U_i^0 , отраженных U_i^1 ($U_i^1 = U_i^0 + U_i^-$) и преломленных волн U_i^2 , а также найденные на их основе выражения для деформаций и напряжений, получим системы уравнений для определения коэффициентов Френеля.

Аналитические выражения для коэффициентов отражения и преломления существенно упрощаются в случае границы раздела двух одинаковых сред, что позволяет исследовать их экстремальные значения в зависимости от изменения безразмерных параметров, характеризующих толщину границы и ее упругие свойства. На основе аналитических решений были проанализированы условия резонансов для коэффициентов Френеля на границах раздела одинаковых и различных упругих сред. Коэффициенты Френеля и амплитуды деформаций на границе раздела различных упругих тел исследовались численно. В ходе проведенных расчетов были рассмотрены возможности экстремальных значений деформаций на границе в зависимости от размеров и упругих свойств границы для различных контактирующих тел.

Полученные результаты показывают, что напряженно-деформированное состояние на границе раздела упругих сред существенно зависит от используемой физико-математической модели границы. Границы, представляющие структурные элементы, по сравнению с классическим аналогом механики сплошных сред могут иметь деформации более опасные с точки зрения разрушения при определенных упругих свойствах контактирующих тел и границы, а также ее размеров. Это необходимо учитывать при прогнозировании разрушений структурно неоднородных тел и их эксплуатации.

1. Бреховский Л.М., Гордин О.А. Акустика слоистых сред. М.: Наука. 1989. 416с.
2. Чертова Н.В., Гриняев Ю.В. Особенности напряженно-деформированного состояния на границе раздела упругих сред при идеальном контакте // Физ. мезомеханика. 2018. Т. 21. №. 2. С.56-67.
3. Чертова Н.В., Гриняев Ю.В. О характере деформаций на границе раздела упругих сред при условии скольжения // Письма в ЖТФ. 2018. Т. 44. В. 9. С.88-94.
4. Sadovskii V.M., Sadovskaya O.V. Modeling of elastic waves in a blocky medium based on equations of the Cosserat continuum //Wave Motion. 2015.V. 52. P. 138-150.
5. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы // ДАН СССР. 1979. Т. 247. № 4. С. 829-832.
6. Сарайкин В.А. Распространение низкочастотной составляющей волны в модели блочной среды // ПМТФ. 2009. Т. 50. № 6. С.177-185.