

**АНИЗОТРОПИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ГРЮНАЙЗЕНА,
ОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО «ТЕПЛОВУЮ» ЧАСТЬ ДАВЛЕНИЯ,
В УРАВНЕНИЯХ СОСТОЯНИЯ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА***

М.Н. Кривошеина, Е.В. Туч

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия

Проведено моделирование процессов деформации при ударном нагружении преграды из монокристаллического цинка с учетом анизотропии «тепловой» и холодной частей давления. Анизотропия холодной части давления определяется различными значениями модулей линейного сжатия, в зависимости от направления. Анизотропия «тепловой» части давления определяется анизотропией коэффициентов Грюнайзена. На примере преграды из монокристаллического цинка показано, что использование в математической модели анизотропного давления позволяет объяснить эффект отсутствия выделения упругого предвестника ранее пластической волны сжатия на тыльной поверхности преграды в направлении [0001] в условиях натурных экспериментов. Численное моделирование ударного нагружения преграды из монокристалла цинка алюминиевым ударником проведено динамическим методом конечных элементов в трехмерной постановке при температуре Дебая.

Ключевые слова: коэффициент Грюнайзена, анизотропия свойств, уравнение состояния, монокристалл, динамическое нагружение.

Введение

Коэффициенты Грюнайзена играют важную роль в механике газообразных, жидких сред, а также в механике деформируемого твердого тела. В механике газообразных сред они используются в уравнениях для изэнтроп идеального газа, отражают величину отношения теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме, входят в соотношения для определения скорости звука в идеальном газе. Величины коэффициентов Грюнайзена связаны с процессами теплового расширения, теплопроводности, поглощения звуковых волн [1]. Некоторые из этих величин могут быть отрицательными. Например, для переохлажденной метастабильной жидкой воды в области температур от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ модуль объемного сжатия отрицателен. Коэффициент Грюнайзена является важной величиной при построении теории твердого тела, будучи одной из важнейших характеристик динамики кристаллической решетки – мерой ангармоничности сил, действующих между атомами. В физике твердого тела функции Грюнайзена исследуют как функциональные зависимости, связывающие такие физические величины, как теплоемкость, коэффициент теплового расширения, модуль всестороннего сжатия, различные характеристики упругости [1]. Существует соотношение, демонстрирующее возможность нахождения коэффициента Грюнайзена при определенной температуре, используя величину коэффициента Пуассона [2], а также зависимости функций Грюнайзена от температуры [3].

В механике деформируемого твердого тела величина коэффициента Грюнайзена необходима для определения части давления, называемой «тепловой». «Тепловое» давление обусловлено тепловыми колебательными движениями атомов около узлов кристаллической решетки и пропорционально плотности энергии этих колебаний [4]. При этом функции Грюнайзена связывают множество характеристик, используемых в физике твердого тела и механике сплошных сред. Особый интерес представляют функции Грюнайзена для анизотропных материалов, аусетиков, материалов, имеющих в некоторых температурных диапазонах отрицательные значения модулей всестороннего сжатия. Для таких материалов в условиях высокоскоростного нагружения или при высоких уровнях статического напряжения является актуальным точное определение функции давления в зависимости от рассматриваемого направления.

При исследовании напряженного состояния в твердых телах в рамках упругопластической деформации и разрушения необходимо выделить часть полных напряжений, соответствующих всесторонней равномерной деформации. Из анизотропии упругих постоянных следует анизотропия модулей Юнга и анизотропия линейных сжимаемостей в направлениях расчетных осей координат [5]. Анизотропия линейных сжимаемостей или обратных им величин – модулей линейного

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0011.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>