

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

УДК 531/534

DOI: 10.17223/00213411/62/8/102

С.А. МУСЛОВ¹, А.И. ЛОТКОВ², С.Д. АРУТЮНОВ¹

ЭКСТРЕМУМЫ УПРУГИХ СВОЙСТВ КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ *

Как правило, обсуждение физических свойств кристаллов сопровождается отнюдь не простыми математическими выкладками, опирающимися на алгебраические выражения в тензорной и матричной записи. Такой подход, обусловленный природой и единым представлением свойств кристаллических материалов, весьма затрудняет практические вычисления их конкретных характеристик и параметров. На примере кристаллов никелида титана показано, что коэффициент анизотропии упругих свойств кристаллов кубической сингонии, равный отношению экстремальных значений (минимальному и максимальному) модуля сдвига, близок к отношению экстремальных значений модуля Юнга. Рассмотрены варианты описания упругой анизотропии кубических кристаллов с помощью ряда размерных и безразмерных независимых показателей. На конкретном примере показано, что они могут давать существенно различающиеся результаты. Обсуждаются способы визуальной интерпретации анизотропии упругих свойств с помощью соответствующих характеристических (указательных) поверхностей и их сечений. Отмечается, что наиболее доступной для построения является индикатриса модуля нормальной упругости Юнга, хотя она не является полной характеристикой анизотропии упругих свойств кубических кристаллов. Предложен способ визуализации матриц упругих постоянных кристаллов с помощью пакета прикладных программ MATLAB, что дает наглядную информацию о соотношении величин элементов матрицы. В качестве примера расчета экстремальных значений и параметров анизотропии, а также построения характеристических поверхностей и их сечений рассмотрены монокристаллы никелида титана TiNi, широко применяемого в различных сферах науки, техники и медицины и часто обсуждаемого в литературе.

Ключевые слова: упругие свойства, экстремумы, анизотропия, кристаллы.

Введение

Теоретические аспекты упругих свойств кристаллов весьма активно обсуждаются в литературе [1–10]. Несмотря на это, полученные результаты исследований часто содержат достаточно сложные математические выражения, нередко в тензорной или матричной форме, что может затруднять их прикладное использование. В данном сообщении представлен обзор максимально упрощенных, но точных расчетных формул для вычислений экстремальных значений упругих модулей и коэффициента Пуассона и процедуры визуализации упругих свойств кристаллов кубической сингонии на основе матриц упругих постоянных и коэффициентов податливости.

Цель данной работы – показать возможность определения экстремальных значений модуля сдвига (G) при изучении упругих свойств кристаллов кубической сингонии только методом растяжения экспериментальных образцов, а также представить рассмотрение способов анализа упругой анизотропии таких кристаллов и методов графического представления анизотропии упругих свойств кристаллов.

В случае идеальных кристаллов кубической системы упругие свойства полностью описываются матрицей упругих постоянных (коэффициентов жесткости) c_{ij} , которая содержит три независимые упругие постоянные c_{11} , c_{12} и c_{44} . Из них только постоянная c_{44} имеет прямой физический смысл как мера сопротивления кристалла сдвигу в плоскости куба $\langle 100 \rangle$ вдоль любого направления, лежащего в этой плоскости. Коэффициенты матрицы c_{11} и c_{12} такого простого объяснения не имеют. Их смысл можно понять, только используя соответствующую запись закона Гука. Однако линейные комбинации c_{11} и c_{12} : $B = (c_{11} + 2c_{12})/3$ и $C' = (c_{11} - c_{12})/2$ в первом случае являются мерой сопротивления кристаллов гидростатическому сжатию (модуль объемной упругости) и во втором случае – мерой сопротивления кристалла сдвигу в плоскости $\{110\}$ в направлении $\langle 1\bar{1}0 \rangle$. При этом c_{44} и C' – экстремальные (всегда наибольший и наименьший, или наоборот) модули сдвига в кубическом кристалле. Исключение могут составлять только упругоизотропные кристал-

* Работа выполнена в соответствии с планом НИР АААА-А16-116102010059-6 ФГАНУ ЦИТиС (2017-2021 гг.) кафедры НФ и МФ МГМСУ им. А.И. Евдокимова и поддержана Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг., направление III.23, комплексный проект III.23.2.2.

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>