

Утверждаю:

И.о. декана механико-математического факультета  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
Московский государственный университет имени  
М.В. Ломоносова, д.ф.-м.н., профессор В.Н. Чубариков.



« 25 » января 2018 г.

### **ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертацию Волкова Михаила Андреевича «Механические свойства анизотропных кристаллов и нанотрубок с отрицательным коэффициентом Пуассона некоторых кристаллических систем» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Диссертация Волкова М.А. посвящена исследованию изменчивости модуля Юнга и коэффициента Пуассона прямолинейно- и цилиндрически-анизотропных материалов. Основной акцент сделан на материалах с отрицательным коэффициентом Пуассона.

#### **Актуальность темы**

Материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона, называемые ауксетиками, находят или могут найти применение при создании фильтров, крепежа, защитного снаряжения, сосудистых стентов, демонстрируя отличные характеристики в сравнении с обычными материалами. Эти материалы могут участвовать в создании композитов, придавая последним новые свойства. Активное исследование таких материалов началось относительно недавно. Данная область является актуальной.

#### **Краткий анализ содержания работы**

Представленная к защите диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и трех приложений.

Во введении обсуждается актуальность работы и дан краткий литературный обзор работ, посвященных материалам с отрицательным коэффициентом Пуассона.

В первой главе дается определение модуля Юнга (формула (1.1)) как отношение нормального напряжения вдоль некоторого направления к относительному удлинению вдоль этого направления. Также определяются

коэффициент Пуассона (формула (1.2)) как отношение с обратным знаком поперечной к выбранному направлению деформации к продольной. Формулы (1.1) и (1.2) предполагают, что напряженное состояние является одноосным. Таким образом, модуль Юнга зависит от направления, а коэффициент Пуассона от двух направлений – продольного и поперечного. Направления в работе задаются углами Эйлера. Решена

Представлены аналитические зависимости модуля Юнга и коэффициента Пуассона от углов Эйлера в случае прямолинейной анизотропии. Решена задача радиально-неоднородного растяжения цилиндрически-анизотропных хиральных трубок. Для таких трубок получены выражения для продольного модуля Юнга и для поперечных коэффициентов Пуассона (отношений деформаций в радиальном и угловом направлениях к продольной деформации, взятые с обратным знаком). Данные характеристики являются функциями упругих постоянных кристалла, отношений радиусов трубки, угла хиральности и радиальной координаты.

Во второй главе на основании экспериментальных данных представлены результаты анализа изменяемости модуля Юнга и коэффициентов Пуассона прямолинейно-анизотропных кристаллов. Определены глобальные экстремумы данных характеристик, произведено их сравнение с экстремумами при частных ориентациях. Выполнено сопоставление результатов, полученных в диссертации, с результатами опубликованных ранее работ. Установлено, что у трети из более чем 300 проанализированных кристаллов коэффициент Пуассона может принимать отрицательные значения.

В третьей главе представлены результаты анализа изменяемости модуля Юнга и коэффициентов Пуассона цилиндрически-анизотропных хиральных трубок из кристаллов семиконстантной ромбоэдрической, шестиконстантной тетрагональной, орторомбической и моноклинной систем. Установлено, что из 300 проанализированных трубок только один из коэффициентов Пуассона может принимать отрицательные значения.

В заключении сформулированы основные выводы, полученные в диссертации.

Объем диссертации составляет 165 страниц. Список цитируемой литературы насчитывает 106 источников. Работа содержит 36 таблиц и 17 иллюстраций.

**Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Зависимости, использованные для анализа экспериментальных данных, получены в рамках теории упругости и не вызывают сомнения в достоверности. При анализе пределов и характера изменения модуля Юнга и коэффициента Пуассона использованы известные численные методы и проведено сопоставление с полученными ранее результатами других авторов.

### **Оценка новизны и практической значимости**

Основными новыми, наиболее значимыми результатами, являются:

1. Получены зависимости модуля Юнга и коэффициентов Пуассона цилиндрически-анизотропных хиральных трубок от упругих постоянных кристалла, угла хиральности, отношения внешнего радиуса трубки к внутреннему и радиальной координаты.

2. На основании экспериментальных данных, проведен тщательный анализ изменчивости модуля Юнга и коэффициента Пуассона более чем для 300 прямолинейно- и цилиндрически-анизотропных кристаллов семиконстантной ромбоэдрических, шестиконстантной тетрагональной, орторомбической, моноклинной и триклинной систем. Выявлены прямолинейно-анизотропные кристаллы и цилиндрически-анизотропные трубки с отрицательным коэффициентом Пуассона.

3. Впервые проведено сопоставление глобальных экстремумов коэффициента Пуассона прямолинейно-анизотропных кристаллов семиконстантной ромбоэдрической, шестиконстантной тетрагональной, орторомбической, моноклинной и триклинной систем с экстремумами при растяжении в частных направлениях.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Классические определения модуля Юнга и коэффициента Пуассона как свойств материала предполагают, что материал находится в однородном и одноосном напряженном состоянии. Обычно модули Юнга и коэффициенты Пуассона задаются для изотропных, трансверсально изотропных и ортотропных материалов. В теории упругости (также в конечно-элементных программах) для случаев более общей анизотропии задаются независимые коэффициенты  $C_{ijkl}$  или  $S_{ijkl}$ . В диссертации дано обобщение классических определений. Во-первых, в работе модуль Юнга и коэффициент Пуассона определены для каждого направления. Во-вторых, в случае трубки, локально в точках трубки. Т.е. эти понятия определены уже не для материала, а для деформируемого тела при наличии неоднородности напряженно-деформированного состояния. Хотелось бы видеть пояснения

целесообразности этого обобщения, если учесть, что напряженное состояние в выбранных точках трубки не является одноосным.

2. Решение задачи для трубки написано не совсем ясно. В граничных условиях (1.12) напряжение  $\sigma_{zz}$  не упомянуто. Неясно, зачем в (1.12) для  $\sigma_{zz}$  предполагается равномерное распределение, если на торцах граничные условия удовлетворяются только в интегральном смысле.

3. Нет достаточного объяснения, какой смысл имеет вычисляемый в работе средний по всем углам Эйлера коэффициент Пуассона.

Основные результаты диссертации опубликованы в открытом доступе в 5 статьях в рецензируемых журналах (Physica Status Solidi B, Smart Materials and Structures, Письма о материалах).

Автореферат достоверно отражает содержание диссертации.

### Заключение

Следует заметить, что автором проделана большая работа. Сделанные замечания позволяют дать ей положительную оценку. Диссертация является самостоятельной, завершённой научно-квалификационной работой. Она соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Российской Федерации к кандидатским диссертациям, а её автор, Волков Михаил Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа заслушана и обсуждена на семинаре кафедры теории пластичности механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова 18 января 2017.

Д. ф.-м. н., профессор кафедры теории пластичности  
механико-математического факультета  
Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова

С.В. Шешенин



Подпись Шешенин С.В. завершено:  
Семинин И.И. / Семинин И.И.