

О Т З Ы В

на диссертацию Ю.И. Викулиной «Эффект поверхностных и межфазных напряжений в деформируемом теле с плоской и рельефной поверхностью», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Проблема исследования механических свойств материалов является далеко не новой в физике и механике твердых тел. Однако в последние годы исследование механических свойств получило второе дыхание в связи с широким внедрением в практику нового класса материалов, а именно, наноматериалов. Для наноматериалов характерно проявление так называемых размерных эффектов, когда физико-механические свойства становятся зависимыми от характерных размеров тела или имеющейся в теле неоднородности. В частности, представляется важным исследование роли поверхности (свободной или межфазной) на проявления размерного фактора, в особенности, в области наномасштабов, т.е. для характерных размеров от 1 до 100 нм. Поэтому тема рассматриваемой диссертации Ю.И. Викулиной, в которой, как раз, изучаются механические свойства приповерхностных областей упругих твердых тел с учетом наноэффектов и поверхностных напряжений, бесспорно, актуальна. Разработка данной темы отвечает выполнению российских научных программ по механике деформируемого твердого тела.

Характеризуя диссертацию в целом, сразу отмечу, что она выполнена на высоком профессиональном уровне. Ее структура содержит пять разделов, включая введение, три оригинальные главы и заключение. Диссертация изложена на 85 страницах, она содержит рисунки и библиографию (50 ссылок). Каждая глава диссертации логически завершена и посвящена решению конкретной теоретической задачи.

В первой оригинальной главе диссертации дано решение задачи линейной теории упругости при наличии поверхностных напряжений для полуплоскости, нагруженной на поверхности периодическими усилиями. В следующей главе (глава 2 диссертации) рассматривается решение аналогичной задачи для полуплоскости со слабо искривленной поверхностью, нагруженной либо на поверхности, либо источниками сил на

бесконечности. Наконец, в последней главе (глава 3 диссертации) построены решения для более общего случая межфазной границы, на которой действуют поверхностные напряжения. В обзорной главе достаточно объективно, хотя и не во всех деталях, изложено состояние вопроса по теме диссертации. Все разделы диссертации связаны воедино общим предметом и подходом, в котором центральное внимание уделено наличию поверхностных напряжений и решению задач теории упругости путем сведения к сингулярным интегральным уравнениям. Развитые в диссертации подходы математически обоснованы, демонстрируют адаптивность к численным расчетам и весьма эффективны.

Новизна проведенных теоретических исследований и полученных в диссертации результатов складывается из следующего:

1. Применен оригинальный аналитический подход к решению краевых двумерных задач теории упругости при наличии поверхностных напряжений. Подход основан на построении одностипных гиперсингулярных интегральных уравнений.
2. Получено решение для распределения напряжений для упругой полуплоскости, нагруженной периодической внешней нагрузкой, при учете поверхностных напряжений.
3. Использован метод теории возмущений при решении двумерных упругих задач с учетом поверхностных напряжений для областей с поверхностным нанорельефом. Разработанный алгоритм позволяет свети задачу на каждом шаге приближений теории возмущений к решению одностипных сингулярных интегральных уравнений.
4. Теоретически проанализирован размерный эффект, обусловленный поверхностными напряжениями, и проявляющийся в изменении характера напряженного состояния от периода приложенной нагрузки, а также профиля свободной поверхности или интерфейса.

Достоверность полученных в диссертации результатов, основных выводов и положений сомнений не вызывает. Она обеспечивается механической и математической адекватностью используемых моделей, корректными математическими приемами решения поставленных задач, сопоставлением с данными других авторов. Важно, что полученные в работах Ю.И. Викулиной теоретические результаты обладают предсказательной силой: например, предсказание эффекта изменения напряженного

состояния в зависимости от параметра M (рис. 2.13 на стр. 53 диссертации), характеризующего интенсивность поверхностных напряжений. Данному эффекту еще предстоит тщательное экспериментальное изучение.

Несомненно, что теоретические исследования роли поверхностных напряжений в наноструктурных материалах следует развивать. Результаты Ю.И. Викулиной будут полезны при дальнейшей разработке научных и практических основ механических свойств наноматериалов в следующих организациях: СПбГУ (С.-Петербург), СПбПУ (С.-Петербург), МГУ (Москва), ФТИ РАН (С.-Петербург), ИПМАШ РАН (С.-Петербург), ИПМ РАН (Москва).

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Утверждение автора, сделанное как в диссертации на стр. 4, так и в автореферате на стр. 3, «Поверхностные напряжения – одна из главных причин экстраординарных механических свойств наноструктур и наноматериалов» выглядит излишне категорично.
2. В работе не уделено достаточного внимания сравнению полученных теоретических результатов с конкретными данными эксперимента. При этом, однако, качественные явления хорошо коррелируют с развитой теорией. Следует пояснить, связано ли это с ограничениями теории или же с недостаточностью имеющихся экспериментальных данных.
3. В диссертации сделан вывод о пренебрежимости влияния (при этом не указано на что!) поверхностных напряжений при увеличении периода a поверхностного рельефа (или нагружающих усилий) при $a > 100$ нм. Однако, четкий критерий выбора значения 100 нм в диссертации отсутствует.
4. Список литературы по диссертации мог бы быть и более представительным, тем более, что из 50 упомянутых работ 9 ссылок сделано на собственные публикации или публикации руководителя диссертанта.

Отмечу дополнительно некоторые мелкие неточности, изредка встречающиеся в тексте диссертации. Так, например, на стр. 19 в формуле (1.9) пропущен знак скалярного произведения, что в итоге дает неверные уравнения равновесия. По-видимому, было бы правильно назвать формулу (11.9) набором интегральных уравнений для $n = 1, 2, \dots$. В качестве пожелания отмечу возможность иллюстрации полученных решений, например,

для напряжений и во внутренних область задачи, т.е. не только на поверхности. От этого диссертация только бы выиграла.

Высказанные замечания не ставят под сомнение общую положительную и высокую оценку диссертации Ю.И. Викулиной. Рассматриваемая диссертация представляет собой законченное исследование. Структура диссертации логически обоснована. Автор сначала дает решение задач плоской теории упругости с учетом поверхностных напряжений для полуплоскости по действию периодической нагрузки. Затем с использованием полученных результатов и разработанных методических приемов анализируются более сложные случаи поверхностного рельефа и межфазной границы.

Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертации. Статьи Ю.И. Викулиной опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК РФ. Работа прошла апробацию на ряде конференций и семинаров (список приведен как в диссертации, так и в автореферате) и достаточно хорошо знакома специалистам. Диссертация прекрасно оформлена, написана ясным языком и находится в полном соответствии с действующими стандартами.

В заключение отмечу, что рассматриваемая диссертация представляет собой качественный научный продукт. Автор диссертации, Юлия Игоревна Викулина, несомненно является грамотным специалистом в области механики наноматериалов и заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук
РОМАНОВ Алексей Евгеньевич
ведущий научный сотрудник
Сектора теории твердого тела Отделения твердотельной электроники
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
Политехническая 26, Санкт-Петербург. 194021
Тел: (812)-2929940
Email: aeg@mail.ioffe.ru

12 сентября 2014 г.

