

Отзыв
официального оппонента
на диссертацию Бухалова Владислава Игоревича
«Разработка метода определения остаточных напряжений
по спекл-интерферометрическим измерениям в окрестности
зондирующего отверстия с учётом эффекта пластичности»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела»

В диссертационной работе исследованы задачи диагностики остаточных напряжений с применением метода отверстия при регистрации нормальных перемещений поверхности образца в окрестности отверстия, учитывающей пластическое состояние материала. **Актуальность темы** диссертации обусловлена необходимостью преодоления существующих ограничений на применение метода отверстия, связанных с учетом до настоящего времени только упругих связей между напряжениями и регистрируемыми перемещениями поверхности исследуемого тела, не позволяющих проводить корректные измерения в наиболее опасном диапазоне высоких остаточных напряжений и даже, - в среднем диапазоне – от одной трети предела текучести материала образца, вследствие наводимой отверстием концентрации напряжений, вызывающей переход материала в пластическое состояние.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из Введения, пяти глав, Заключения и списка литературы. Полный объем работы составляет 150 страниц, включая 47 рисунков. Список литературы содержит 143 наименования.

Содержание работы. Во Введении приведён значительный обзор литературы по истории метода отверстия как одного из основных, широко применяемых в мире методов диагностики остаточных напряжений, отмечена роль советских и российских учёных в его развитии, выделены актуальность, цель работы, основные задачи исследования, научная новизна, практическая значимость работы, методы исследования, апробация работы, даны ссылки на основные публикаций соискателя, указан личный вклад соискателя.

В первой главе рассмотрена методическая сторона, лежащих в основе диагностики остаточных напряжений с помощью зондирующего отверстия, решений двумерной и трехмерной задач Кирша в упругой и упругопластической постановках. Результаты аналитических решений упругих задач Кирша использованы для отработки численного моделирования решения аналогичных задач в упругопластической постановке.

Во второй главе рассмотрено численное моделирование проявления остаточных напряжений в нормальных перемещениях поверхности тела при несквозном отверстии. Выполнены подробные расчёты по решениям соответствующих трехмерных задач теории упругости и упругопластичности для нормальных перемещений поверхности при характерных значениях действующего напряжения и глубины зондирующего отверстия, проведено сравнение их результатов. Сделаны выводы о связях нормального перемещения с напряжениями при учете эффекта пластичности. Несмотря на наличие зон пластичности, обнаружены возможности использования известной формулы, аппроксимирующей связь между регистрируемыми нормальными перемещениями в окрестности отверстия и одним из главных остаточных напряжений со слегка подкорректированными аппроксимирующими константами.

Во третьей главе рассмотрено аналитическое исследование осесимметричных напряженно-деформированных состояний в образцах цилиндрической формы, подверженных заданным напряжениям в своей плоскости, либо полученных посадкой с натягом упругого кольца на диск. При определенных параметрах нагружения в таких образцах возникают круговые, либо кольцевые пластические области. На задачах Ламе и Гадолина в упругопластических постановках рассмотрено образование таких областей и их влияние на параметры внутреннего напряженного состояния. Определены связи между внутренними напряжениями и нормальными перемещениями поверхности составных дисковых образцов. На основе решения этих задач спроектированы образцы с заданным уровнем напряжений для экспериментальных исследований.

В четвертой главе рассмотрена формулировка и реализация нового итерационного полуаналитического метода решения упругопластических задач, названного методом уточняемого положения упругопластической границы. Метод основан на аналитическом представлении для напряжений в пластической области и итерационной процедуре численного решения в упругой области с уточнением на каждом шаге положения границы между упругой и пластическими областями, на которой ставятся граничные условия для следующего шага решения упругой задачи. Форма и положение упругопластической границы определяется согласованием решений в упругой и пластической областях по условиям непрерывности напряжений. Данная процедура отработана на аналитических решениях модельных упругопластических задач Ламе и Галина. Приведена также численно-аналитическая процедура решения упругопластической задачи Кирша.

В пятой главе рассмотрена подготовка и проведение экспериментов по проверке и применению упругопластической модели в методе отверстия. В качестве экспериментальных образцов с заданными уровнями и распределением остаточных напряжений использовались составные образцы, полученные с помощью температурной посадки стальных колец на диски. Были

созданы две группы образцов. В первой группе уровень контактного давления обеспечивал упругое состояние вкладыша, во второй - создаваемое контактное давление достигало предела текучести материала вкладыша. Изложены результаты экспериментальных исследований для образцов обоих типов. Проведено их сопоставление с результатами численного решения соответствующих упругопластических задач. Выполнена оценка погрешности упругой модели. Также рассмотрены примеры залечивания внутренних дефектов в упругопластическом поле сжимающих напряжений, возникающих в материале.

В Заключении сформулированы основные научные результаты диссертации.

Основные положения, выносимые соискателем на защиту:

1. Разработка численных трёхмерных упругопластических моделей связей остаточных напряжений с измеренными на поверхности тела нормальными перемещениями в окрестностях сквозного и несквозного зондирующих отверстий. Адаптация полученных результатов решения упругопластических задач к известному алгоритму, применяемому в методике спеклинтерферометрических измерений остаточных напряжений по нормальным перемещениям в упругой области;
2. Формулировка и реализация нового итерационного полуаналитического метода решения упругопластических задач с уточняемым положением границ между упругой и пластической областями. Отработка метода на модельных задачах Ламе, Галина и Кирша в упругопластических постановках;
3. Моделирование решений задач о залечивании внутренних дефектов в поле сжимающих напряжений с использованием пластических свойств материалов.

Данные положения представляются обоснованными. Указанные основные научные результаты получены лично соискателем.

Научная новизна. В диссертации впервые разработана методика диагностики остаточных напряжений по нормальным перемещениям в окрестности несквозного отверстия, учитывающая пластическое состояние материала, вызванное концентрацией напряжений вследствие создания отверстия и другими факторами и, тем самым, снимающая ограничения на применение метода отверстия, обусловленные общепринятым гостированным учетом только упругих связей между напряжениями и регистрируемыми перемещениями и деформациями на поверхности исследуемого тела. В результате метод диагностики остаточных напряжений с помощью зондирующего отверстия обобщен на диапазон остаточных напряжений вплоть до уровней, приближающихся к пределу текучести материала исследуемого тела.

Разработан новый итерационный полуаналитический метод решения упругопластических задач с уточняемым положением границ между упругой и пластической областями. Выполнена верификация метода на задачах Ламе, Галина и Кирша в упругопластических постановках.

Выполнены численные исследования, показывающие возможность залечивания внутренних дефектов в поле сжимающих напряжений с использованием пластических свойств материалов.

Достоверность результатов и обоснованность выводов.

Достоверность результатов исследования обоснована использованием соискателем строгих математических постановок рассматриваемых задач теории упругопластичности, многовариантными сравнениями разработанных численных подходов и полученных с их помощью результатов с известными аналитическими решениями различных упругопластических задач и результатами экспериментальных исследований. Сделанные выводы обоснованы и имеют четкий механический и геометрический смысл.

По диссертации В.И. Бухалова имеются следующие замечания:

1. С чрезмерными подробностями изложены известные решения двумерной и трёхмерной задач Кирша в упругой постановке.

2. При наличии несквозного отверстия в пластине, находящейся под действием равномерной нагрузки, должна возникнуть не симметрия напряжённого состояния относительно срединной плоскости пластины. Однако в расчетной модели пластины с несквозным отверстием эта не симметрия и соответствующие погрешности не учитываются.

3. В диссертации приведены результаты расчётов, в основном, для образцов из стали. Желательно было бы привести прогноз влияния механических свойств других материалов на эти результаты.

Приведённые замечания не уменьшают научную и прикладную значимость диссертационной работы и не отражаются на общем положительном заключении по диссертации. Диссертация Бухалова В. И. представляет собой серьёзную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальных научных и прикладных задач механики деформируемого твёрдого тела, обеспечивающих совершенствование методов измерения остаточных напряжений.

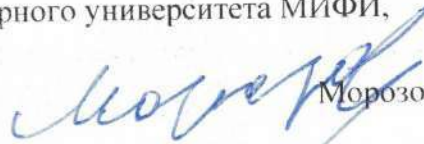
Основные результаты диссертации изложены в 13-ти работах, изданных в периодических научных изданиях, сборниках материалов и тезисах докладов международных и всероссийских конференций. Пять из них напечатаны в журналах, входящих в перечень ВАК РФ и/или индексируемых в Web of Science, Scopus.

Автореферат диссертации В.И. Бухалова правильно и полно отражает содержание представленной диссертационной работы.

Считаю, что работа Владислава Игоревича Бухалова «Разработка метода определения остаточных напряжений по спекл-интерферометрическим измерениям в окрестности зондирующего отверстия с учётом эффекта пластичности» по новизне и достоверности полученных результатов, содержанию, публикациям удовлетворяет критериям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям и указанным в пунктах 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор, Владислав Игоревич Бухалов, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика твердого деформируемого тела».

Официальный оппонент,

Доктор технических наук, профессор кафедры физики прочности,
Национального исследовательского ядерного университета МИФИ,
Заслуженный деятель науки РФР



Морозов Евгений Михайлович

Почтовый адрес: Каширское ш., 31, Москва, 115409,
НИЯУ МИФИ,

Морозов Евгений Михайлович
телефон: 8 (906) 793-21-96,
адрес электронной почты:
Evgeny.morozof@gmail.com



Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ

В. М. Саморгова