

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)», МИНИСТЕРСТВО  
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «30» сентября 2015 г. № 15  
О присуждении Курову Дмитрию Андреевичу, гражданину Российской  
Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Совершенствование традиционного и разработка нового методов диагностики остаточных напряжений в сварном соединении» по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите «1» июля 2015 г., протокол № 14 диссертационным советом Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 – № 105/нк от «11» апреля 2012 г.

Соискатель Куров Дмитрий Андреевич 1983 года рождения, в 2005 году окончил с отличием федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «МАТИ - Российский государственный технологический университет им. К.Э.Циолковского» по специальности «Динамика и прочность машин». В период подготовки диссертации соискатель - Куров Дмитрий Андреевич - обучался в заочной аспирантуре ИПМех РАН с 01.11.2005 г. по 31.10.2009 г. В

настоящее время работает инженером 1-ой категории в компании «Boeing Russia Inc.».

Диссертация выполнена в лаборатории механики прочности и разрушения материалов и конструкций Института проблем механики имени А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН).

Научный руководитель – доктор физико-математических наук **Попов Александр Леонидович**, профессор, ведущий научный сотрудник ИПМех РАН.

Официальные оппоненты:

**Андреев Владимир Игоревич**, доктор технических наук, профессор, действительный член Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), заведующий кафедрой Сопротивления материалов ФГБОУ ВО Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ)

**Шарафутдинов Геннадий Зиатдинович**, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института механики МГУ им. М.В. Ломоносова

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** - ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном заведующим кафедрой динамики и прочности машин им. В.В. Болотина, кандидатом технических наук **Кузнецовым Сергеем Федоровичем** и утвержденным проректором по научной работе ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» доктором технических наук, профессором **Драгуновым Виктором Карповичем**, указала, что в работе получены следующие результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью:

1. Усовершенствован координатный метод спекл-интерферометрической регистрации поля микроперемещений, высвобождаемого при сверлении зондирующего отверстия в теле с напряжениями, теоретически обоснован и оптимизирован экспериментальный метод деформации интерференционных

полос при локальном нагружении в окрестности зондирующего отверстия, позволяющий выявить знаки главных остаточных напряжений;

2. Разработан новый неповреждающий метод диагностики остаточных сварочных напряжений по температурным следам на поверхности металла околосшовной зоны, не требующий применения сложной измерительной аппаратуры.

В заключении отмечено, что диссертация Д.А.Курова по объёму проведенных исследований и ценности полученных научных результатов удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 - «Механика деформируемого твердого тела».

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, из которых, 9 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, в том числе 3 - в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ. Остальные работы отражают доклады на российских и международных конференциях. В опубликованных работах в достаточной полноте раскрыты основные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Гольдштейн Р.В. Восстановление термического цикла сварки и определение остаточных напряжений по следам изотерм / Р.В. Гольдштейн, В.М. Козинцев, Д.А. Куров, А.Л. Попов, Д.А. Челюбеев // Изв. РАН. МТТ. - 2013. - №1 - с. 106-112. (Журнал из перечня ВАК).
2. Гольдштейн Р.В. Исследование остаточных напряжений методом электронной спекл-интерферометрии / Р.В. Гольдштейн, А.Л. Попов, В.М. Козинцев, Д.А. Куров, А.В. Подлесных, Д.А. Челюбеев // Актуальные проблемы механики: Механика деформ. тверд. тела. Сб. тр. / отв. ред. Р.В. Гольдштейн; ИПМех РАН.- М.: Наука, 2009.- с. 479-494.
3. Гольдштейн Р.В. Разработка метода определения сварочных напряжений по цветам побежалости / Р.В. Гольдштейн, В.М. Козинцев, Д.А. Куров, А.Л. Попов, Д.А. Челюбеев // Вестник ПГТУ. – 2010. – Механика №2. - с. 48-60.

4. Попов А.Л. Использование температурных следов для неразрушающей диагностики остаточных напряжений в сварном соединении / А.Л. Попов, Д.А. Куров // Вестник МГСУ. – 2012. - №8. - с. 143-146. (Журнал из перечня ВАК).

5. Гольдштейн Р.В. Спекл-интерферометрическое исследование остаточных напряжений в сварных соединениях труб, изготовленных по разным технологиям / Р.В. Гольдштейн, В.М. Козинцев, Д.А. Куров, П.Р. Нечипоренко, И.Л. Пермяков, А.В. Подлесных, А.Л. Попов, Д.А. Челюбеев // Космонавтика и ракетостроение. - 2009. - №1 (54). - с. 94-102. (Журнал из перечня ВАК).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации **ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»**, отзыв положительный;

от официального оппонента, **Андреева Владимира Игоревича**, доктора технических наук, профессора, действительного члена Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), заведующего кафедрой Сопротивления материалов ФГБОУ ВО Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), отзыв положительный;

от официального оппонента, **Шарафутдинова Геннадия Зиатдиновича**, доктора технических наук, профессора, ведущего научного сотрудника Научно-исследовательского института механики МГУ им. М.В. Ломоносова, отзыв положительный;

от **ФГБОУ ВПО Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ)**, подписанный доктором физико-математических наук, профессором кафедры «Транспортное строительство» Алгазиным С.Д., утвержденный заместителем начальника управления кадров Ящиковым Е.А., отзыв положительный;

от **ОАО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения**, подписанный доктором технических наук, член-корреспондентом РАН, зам. Главного конструктора ОАО «ЦНИИСМ» Васи-

львым В.В., заверенный секретарем НТС Красновой Г.В., отзыв положительный;

от **ОАО «НИАТ»**, подписанный доктором технических наук, профессором, главным научным сотрудником Штрикманом М.М., заверенный ученым секретарем ОАО «НИАТ» Егоровым В.Н., отзыв положительный.

от **ФГБУН Институт автоматизации проектирования Российской академии наук**, подписанный доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Никитиным И.С., отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечены актуальность, новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая значимость.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве ведущей организации **ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»** имеются следующие замечания:

1. Рассмотрение координатного метода выполнено только для одноосного напряжённого состояния. В то же время, реально измеряемые остаточные напряжённые состояния в сварных соединениях, как правило, - двухосные.
2. Аналогичное замечание относится и к теоретическому обоснованию метода локального надавливания. Непонятен вид деформации линий уровня нормальных перемещений поверхности тела в окрестности зондирующего отверстия и её расшифровка при двухосном напряжённом состоянии.
3. Апробация нового неразрушающего метода температурных следов была проведена путём сопоставления результатов измерений остаточных напряжений с результатами метода зондирующего отверстия в случае контактно-стыковой сварки труб большого диаметра. При этом было продемонстрировано согласование полученных результатов по продольным напряжениям, ориентированным по окружности шва. О возможности измерения методом температурных следов второй компоненты остаточного НДС, фикси-

рующей при спекл-интерферометрической регистрации в методе зондирующего отверстия, в диссертации не говорится.

Замечания в отзыве официального оппонента **В.И. Андреева**:

1. Координатный метод, повышающий точность определения остаточных напряжений при спекл-интерферометрической регистрации поля перемещений в окрестности зондирующего отверстия, представлен только для сквозного отверстия; поэтому не ясно, насколько полученные результаты могут быть использованы при измерениях с несквозным отверстием.

2. На примере контактной стыковой сварки оплавлением рельсов рассматриваются только этапы нагрева и остывания. Отсутствует анализ влияния фазового перехода на положения максимальных остаточных изотерм.

3. Отсутствует также анализ возможности применения метода температурных следов для определения остаточных напряжений при других, не менее распространённых, чем контактно-стыковая, видах сварки.

4. На стр. 16 приведена гипотеза «...границы тела, в котором измеряются напряжения, удалены от отверстия на достаточно большое расстояние и их влиянием на возмущенно-деформированное состояние можно пренебречь. На практике такое удаление можно считать обеспеченным, если размеры тела превосходят два или более диаметра отверстия». Как показывает задача Кирша, это расстояние должно быть существенно больше, чем два диаметра.

Замечание в отзыве официального оппонента **Г.З. Шарафутдинова**:

1. Полученное при использовании решения задачи Кирша об одноосном растяжении бесконечной пластинки с круглым отверстием, рассматриваемой в рамках плоского напряженного состояния, выражение (1.6) относительно третьего перемещения должно содержать в качестве аддитивной составляющей произвольную функцию от первых двух координат. Кроме того, введение выражения для третьего перемещения немедленно приводит к появлению касательных компонент деформаций и напряжений, связанных с третьей координатой, тогда как приводимое в диссертационной работе решение Кирша получено в условиях обобщенного плоского напряженного состояния.

2. Задачи теплопроводности, несмотря на наличие свободных поверхностей, на которых в реальной обстановке происходит интенсивная теплоотдача, рассматриваются в одномерной постановке.

3. В работе отсутствуют объяснения возможности применения в широком температурном диапазоне дилатометрической зависимости между температурой и деформациями в виде прямой, проходящей через начало координат и упруго-идеально-пластической модели деформирования при определении остаточных напряжений.

В отзыве на автореферат от **Штрикмана М.М.**: «Научная новизна» № 5 больше относится к «Практической значимости работы».

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, имеют публикации в соответствующей сфере исследования, а ведущая организация проводит исследования в области механики деформируемого твердого тела.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** способ повышения точности определения остаточных напряжений в методе зондирующего отверстия и алгоритм определения координаты пиковой точки максимальной изотермы;

**предложены** методики применения координат спекл-интерферометрических линий в методе зондирующего отверстия для повышения точности определения остаточных напряжений и модифицированный графо-аналитический метод Николаева-Окерблома в новом методе температурных следов для непосредственного построения эпюры остаточных напряжений по координатам температурных следов;

математически **доказано** значительное влияние локального надавливания на деформацию экспериментально регистрируемых в режиме реального времени спекл-интерферометрических полос в окрестности зондирующего отверстия, позволяющее определять знак главного остаточного напряжения;

**введено новое понятие** – метод температурных следов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**доказана** необходимость учета фазового перехода при восстановлении термического цикла сварки для более точного определения координат максимальных изотерм;

**применительно** к проблематике диссертации результативно использовано аналитически найденное решение задачи Кирша для повышения точности определения остаточных напряжений методом зондирующего отверстия, а в методе температурных следов применялись известные аналитические решения задач теплопроводности;

**изложены** методика проведения экспериментальных исследований на основе температурных следов и сравнение их результатов с результатами параллельных измерений стандартизированным методом зондирующего отверстия;

**раскрыты** особенности расположения температурных следов, помогающие в оценке определения остаточных напряжений;

**изучено** влияние кинетики температуры в температурном цикле контактной стыковой сварки на распределение сварочных напряжений;

**проведена модернизация** графо-аналитического метода определения кинетики напряжений в температурном цикле сварки, позволившая строить эпюры остаточных напряжений по координатам температурных следов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и введены:** координатный метод для уточнения определения остаточных напряжений с помощью зондирующего отверстия, метод восстановления температурного цикла сварки, алгоритм определения координат положения максимальных изотерм в, разработанный в диссертации, метод температурных следов для определения остаточных напряжений;



**определены** направления практического использования предложенного нового неразрушающего метода определения остаточных напряжений при сварке рельсов, труб большого диаметра и т.д.;

**созданы** методики, позволяющие значительно снизить погрешности определения остаточных напряжений с помощью зондирующего отверстия, ускорить и упростить оценку остаточных напряжений неповреждающим способом;

**представлены** рекомендации и предложения для усовершенствования существующего расчётного способа оценки остаточных напряжений.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ:** применение неповреждающего метода температурных следов обеспечивает снижение трудоемкости и сокращение сроков получения результатов в диагностике остаточных сварочных напряжений при сохранении достаточных уровней точности их определения, что является весьма важным для разработки оптимальных режимов сварки труб большого диаметра (Справка о внедрении из ЗАО «ПСКОВЭЛЕКТРОСВАР»);

**теория** подтверждается совпадением аналитических результатов, полученных автором, с экспериментальными данными, приведенными в литературе, с результатами расчетов других авторов, а также с результатами экспериментальных исследований, проведенных самим автором;

**идея** разработки нового неразрушающего метода **базируется** на анализе объективно существующего физического явления образования температурных следов, таких как цвета побежалости, сохраняющихся длительное время после окончания сварки;

**использовано** обоснованное сравнение авторских данных с результатами полученными другими исследователями;

**установлено** качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами из независимых источников;

**использованы** современный программный комплекс «MAPLE» и управляющая программа «ЛИМОН-ТВ» для расчетов и моделирования в области

оценки остаточных напряжений, необходимой для оценки прочности и ресурса машиностроительных конструкций.

**Личный вклад** соискателя состоит в:

1. Усовершенствовании метода отверстия в определении остаточных напряжений, основанное на определении координат интерференционных полос в окрестности зондирующего отверстия, позволяющее снизить погрешности оценки остаточных напряжений в несколько раз;

2. Разработке нового неразрушающего метода оценки остаточных напряжений по температурным следам на поверхности сварного соединения. Показано, что метод температурных следов обеспечивает построение эпюры остаточных напряжений без применения сложной измерительной аппаратуры. Проведена верификация метода температурных следов с помощью стандартизированного метода зондирующего отверстия.

На заседании 30 сентября 2015 года диссертационный совет принял решение присудить Курову Дмитрию Андреевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов технических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя диссертационного  
совета Д 212.125.05 д.т.н., профессор

Фирсанов В.В.

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 212.125.05 к.ф.-м.н., доцент

Федотенков Г.В.

Ученый секретарь МАИ (НИУ)  
к.т.н., доцент  
«30» сентября 2015 г.

Ульяшина А.Н.