

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.012.01 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ  
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕДУРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОС-  
СИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 19.03.2015 № 91

О присуждении Смыслову Виталию Андреевичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Методы расчёта остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах при температурно-силовом нагружении в условиях ползучести» по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твёрдого тела» принята к защите 16.01.2015, протокол № 89, диссертационным советом Д 004.012.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева 1, утвержденным приказом Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк.

Соискатель Смыслов Виталий Андреевич, 1989 года рождения. В 2011 году окончил ГОУ ВПО «Самарский государственный технический университет» (СамГТУ), работает инженером-исследователем СамГТУ. Диссертация выполнена на кафедре прикладной математики и информатики СамГТУ. Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Радченко Владимир Павлович, заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» СамГТУ.

**Официальные оппоненты:** Хромов Александр Игоревич, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», профессор кафедры прикладной математики и информатики; Аптуков Валерий Нагимович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», заведующий кафедрой фундаментальной математики, дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики механики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, в своем положительном заключении, подписанном академиком Анниным Борисом Дмитриевичем, советником РАН, заведующим отделом Механики деформируемого твёрдого тела, д.ф.-м.н., профессором Волчковым Юрием Матвеевичем, ведущим научным сотрудником, д.ф.-м.н., профессором Цвелодубом Игорем Юрьевичем, заведующим лабораторией статической прочности, и

утвержденном директором ИГиЛ СО РАН, д.ф.-м.н. Васильевым А.А., указала, что диссертация Смылова Виталия Андреевича является завершённым научным исследованием, выполненным диссертантом самостоятельно на высоком научно-методическом уровне. По своей актуальности, научной новизне, объёму исследований и практической значимости представленная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор достоин присуждения искомой степени по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твёрдого тела».

Соискатель имеет 21 опубликованную работу по теме диссертации (общим объёмом 4,5 печатных листов), в том числе опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 4. Соискателем лично применен феноменологический подход к решению задачи восстановления полей остаточных напряжений и пластических деформаций в полой цилиндрической детали после процедуры анизотропного поверхностного упрочнения, разработан прямой численный метод решения краевой задачи о релаксации остаточных напряжений в полой цилиндрической образце при ползучести в условиях температурно-силового нагружения с заданным начальным напряжённо-деформированным состоянием, выполнены теоретические и экспериментальные исследования влияния температурных и силовых нагрузок на процесс релаксации остаточных напряжений в условиях ползучести, разработано математическое и программное обеспечение для численной реализации предложенных методов решения краевых задач механики анизотропно упрочнённых цилиндрических изделий. Наиболее значительные работы:

1. Саушкин М. Н., Куртичёв В. А., Смыслов В. А. Феноменологический подход к моделированию напряжённо-деформированного состояния в поверхностно упрочнённом слое цилиндрического изделия // *Вестник Самарск. госуд. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки.* – 2009. – №1(18). – С. 159-168.

2. Куртичёв В. А., Саушкин М. Н., Афанасьева О. С., Смыслов В. А. Прогнозирование предела выносливости упрочнённых деталей при повышенной температуре // *Вестник Самарск. госуд. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки.* – 2010. – №1(20). – С. 218-221.

3. Саушкин М. Н., Смыслов В. А. Блок расчёта начального напряжённо-деформированного состояния конструкций в программном комплексе STRELAX // *Вестник Самарск. госуд. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки.* – 2010. – №5(21). – С. 318-321.

4. Смыслов В. А. Расчёт полей остаточных напряжений и упругих деформаций при нагреве цилиндрического изделия // *Вестник Самарск. госуд. техн. ун-та. Сер.: Техн. науки.* – 2013. – №4(40). – С. 120-125.

5. Смыслов В. А. Решение краевых задач механики упрочнённых конструкций в цилиндрической системе координат // *Математическое моделирование и краевые задачи:*

Труды девятой Всероссийской конференции с международным участием. Ч. 1: Математические модели механики, прочности и надёжности элементов конструкций. – Самара: СамГТУ, 2013. – С. 212-217.

6. *Смыслов В. А.* Математическое и программное обеспечение для моделирования напряжённо–деформированного состояния упрочнённых цилиндрических образцов в условиях высокотемпературного нагружения // *Материалы VIII Всероссийской конференции по механике деформируемого твёрдого тела (Чебоксары, 16–21 июня 2014 г.): в 2 ч. Ч. 2.* / под ред. Н. В. Морозова, Б. Г. Миронова, А. В. Манжирова. – Чебоксары: Чуваш.гос. пед. ун-т, 2014. – С. 168-170.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы** от оппонентов и ведущей организации.

Положительный отзыв официального оппонента Хромова А.И. Отмечено, что при упрочнении возможны изменения механических характеристик, например, за счёт измельчения зерна и других факторов; отсутствует обоснование ряда введённых гипотез; не ясно, чем объясняется увеличение погрешности отклонения расчётных значений от экспериментальных в некоторых вариантах анизотропного упрочнения до 20% по сравнению с вариантом изотропного упрочнения; в задаче пересчёта остаточных напряжений при температурной нагрузке (разгрузке) предполагается, что изменение температуры происходит мгновенно, что противоречит физической картине процесса; предполагается, что для построения модели ползучести для ЖС6КП при  $T = 800^\circ\text{C}$  можно было одновременно в испытаниях при действии растягивающей нагрузки получить и кривые одноосной ползучести.

Положительный отзыв официального оппонента Аптукова В.Н. Отмечено, что в аналитическом обзоре диссертации отсутствуют ссылки на Пермских ученых в области пластичности и остаточных напряжений; не рассмотрено влияние краевых эффектов торцов цилиндра на остаточные напряжения; не представлено оценок зависимости параметра анизотропии  $\alpha$  от радиальной координаты; отсутствует обоснование выбора аналитических аппроксимаций окружных напряжений; при рассмотрении температурных эффектов коэффициент Пуассона и остаточное окружное напряжение полагаются постоянными; в работе нет упоминаний о какой-либо модели пластического тела и вообще отсутствует упоминание о пределе текучести.

В положительном отзыве ведущей организации поднимается вопрос о корректности использования принципа суперпозиции для напряжённых состояний для нелинейной краевой задачи ползучести; указано отсутствие ссылок на экспериментальное обоснование введённых гипотез и аппроксимаций; затруднено понимание «физического» смысла параметра поврежденности в реологической модели; имеются стилистические и математические неточности.

На автореферат поступило 10 отзывов от: д.т.н., профессора Павлова В.Ф., заведующего кафедрой сопротивления материалов Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва; д.т.н., Заслуженного деятеля науки и техники РФ, профессора Сеницкого Ю.Э., заведующего кафедрой строительной механики и сопротивления материалов Самарского государственного архитектурно-строительного университета; д.ф.-м.н., профессора Стружанова В.В., главного научного сотрудника Института машиноведения УрО РАН; д.т.н. Ермоленко Г.Ю., профессора кафедры информатики и вычислительной техники Самарского государственного университета путей сообщения; д.ф.-м.н. Янковского А.П., ведущего научного сотрудника Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН; к.ф.-м.н. Сергеевой А.М., заместителя директора по научной работе и экономике Института машиноведения и металлургии ДВО РАН (ИМиМ) и к.ф.-м.н. Ловизина Н.С., заведующего лабораторией металлотехнологий ИМиМ ДВО РАН; д.ф.-м.н., профессора Леонтьева В.Л., профессора кафедры информационной безопасности и теории управления Ульяновского государственного университета; д.ф.-м.н., профессора Ватульяна А.О., заведующего кафедрой теории упругости Южного федерального университета; д.т.н., профессора Каледина В.О., декана факультета информационных технологий Новокузнецкого института (филиала) ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»; д.ф.-м.н. Шляхова С.М., профессора кафедры «Теория сооружений и строительные конструкции» ФГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.». Все отзывы положительные. Отмечено, что диссертация выполнена на высоком научном уровне, актуальность темы не вызывает сомнений, полученные результаты имеют несомненный научный и практический интерес и существенное значение в области механики деформируемого твердого тела.

В качестве замечаний отмечено, что: в автореферате нет сведений об экспериментальном обосновании введённых гипотез и аппроксимаций; затруднена интерпретация информации графиков на рисунках 1 и 2 автореферата; отсутствуют данные по экспериментальному определению компоненты  $\sigma_{\theta}^{res}$ ; равенство окружного напряжения на внутренней поверхности полого цилиндра нулю, следующее из формулы (8) автореферата, не соответствует механическому смыслу задачи; нет определения анизотропного упрочнения; в формуле (1) автореферата опечатка: нижним пределом интегрирования должна быть величина  $R_2$ , а не  $R_1$ ; не рассмотрено влияние краевых эффектов торцов цилиндра; из списка публикаций автореферата не ясно, имеют ли разработанные программные продукты государственную регистрацию; практически не приведены методики численного решения рассмотренных краевых задач в условиях ползучести несмотря на их очевидную сложность; текстуальное определение величин в формулах (5),

(6) и (8) требует уточнения; не ясно принципиальное различие в построении решений для полого и сплошного цилиндров; в автореферате не изложена методика определения параметров аппроксимации (8) автореферата.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью их теоретических и экспериментальных исследований в области механики деформируемого твердого тела.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны:** метод расчёта полей остаточных напряжений в полом цилиндрическом образце после процедуры упрочнения, позволяющий учитывать анизотропию процесса упрочнения; метод решения краевой задачи ползучести упрочнённого полого цилиндра в условиях температурно-силового нагружения;

**предложены** решения ряда краевых задач формирования остаточных напряжений, возникающих в результате упрочнения, и их релаксации вследствие ползучести для цилиндрических образцов;

**доказано**, что релаксация остаточных напряжений в упрочнённом слое цилиндрического образца в условиях ползучести носит немонотонный характер в зависимости от растягивающей нагрузки и длительности её действия;

**введено** определение анизотропного упрочнения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны:** факт влияния параметра анизотропии упрочнения на распределение осевых и окружных компонент остаточных напряжений в цилиндрических образцах; положения, вносящие вклад в расширение представлений о релаксации остаточных напряжений в условиях температурно-силового нагружения при ползучести;

**применительно к проблематике диссертации результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** теоретические подходы и экспериментальные методики упрочнения конструкций, теории ползучести, численные методы исследования процессов формирования и релаксации остаточных напряжений в цилиндрических изделиях;

**изложены** методики экспериментальных исследований, идентификации параметров моделей для оценки напряжённо-деформированного состояния в упрочнённом слое цилиндрического образца, новые данные о закономерностях деформирования упрочнённых деталей в условиях температурно-силового нагружения;

**раскрыты** закономерности процессов формирования и релаксации остаточных напряжений в цилиндрических изделиях в зависимости от технологических факторов, материала, геометрических параметров и поля внешних нагрузок;

**изучены** факторы, влияющие на процесс релаксации остаточных напряжений в упроч-

нённом слое цилиндрических образцов в условиях ползучести;

**проведена модернизация** существующих подходов и методов оценки напряжённо-деформированного состояния в упрочнённом слое применительно к полым цилиндрическим образцам.

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

**разработаны** модели и алгоритмы, позволяющие расчётным путём прогнозировать кинетику остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах;

**внедрены** результаты исследований в учебный процесс ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет» в преподавание дисциплин «Реологические модели», «Математические модели механики сплошных сред», «Численные методы решения краевых задач»;

**определены** перспективы использования данных экспериментального и теоретического исследования для расширения номенклатуры материалов и упрочнённых деталей из них, использующихся в энергетических установках;

**созданы** два программных комплекса, реализующие разработанные методы оценки напряжённо-деформированного состояния упрочнённых цилиндрических изделий (получены свидетельства о государственной регистрации);

**представлены** справочные данные о механических характеристиках для исследованных упрочнённых цилиндрических образцов и материалов, которые могут быть использованы в инженерной практике в авиадвигателестроении и энергомашиностроении.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила:

**для экспериментальных работ** показана повторяемость результатов испытаний, полученные новые результаты не противоречат опубликованным данным и теоретическим положениям;

**теория** основана на известных положениях и постулатах механики деформируемого твёрдого тела, экспериментальных подходах и информационных технологиях;

**идея базируется** на анализе практики расчётов упрочнённых элементов конструкций на прочность и моделировании напряжённо-деформированного состояния в упрочнённом слое со сложными реологическими свойствами;

**использовано** сравнение данных расчёта с авторскими экспериментальными данными и опытными данными, полученными ранее другими авторами в области механики упрочнённых конструкций;

**установлено** удовлетворительное соответствие полученных данных по формированию и релаксации остаточных напряжений в цилиндрических образцах имеющимся опубликованным результатам в отечественной и зарубежной литературе;

**использованы** современные методы регистрации и обработки экспериментальных

данных для анализа закономерностей деформирования упрочнённых цилиндрических изделий; современные методы и алгоритмы для программной реализации разработанных методов.

**Личный вклад соискателя состоит** в непосредственном участии соискателя в разработке представленных методик, апробации предложенных математических моделей; анализе влияния различных параметров на характер распределения полей остаточных напряжений после процедуры упрочнения и кинетику напряжённо-деформированного состояния в условиях ползучести; разработке программного обеспечения для решения краевых задач механики анизотропно упрочнённых цилиндрических деталей в условиях ползучести; в подготовке работ, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит совместная постановка и формализация задач, разработка методов их решения, ему лично принадлежит реализация методов на основе разработанного программного обеспечения и анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, непротиворечивой методологической платформой, основанной на проверке теоретических положений проведением экспериментальных исследований.

На заседании 19 марта 2015 г. диссертационный совет принял решение присудить Смыслову В.А. ученую степень кандидата физико-математических наук за решение важной и актуальной научной задачи в области разработки новых и совершенствования существующих методов решения краевых задач механики упрочнённых конструкций в условиях ползучести.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек; проголосовали: за 16, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя диссертационного совета

Роговой А.А.

Ученый секретарь диссертационного совета

Березин И.К.

19.03.2015 г.

