

В диссертационный совет Д 212.125.05
при ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)» МАИ
125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д.4.

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Мироновой Любови Ивановны «Исследование и оптимизация высокоградиентных термонапряженных состояний сочлененных оболочечных конструкций в технологических процессах энергетического машиностроения», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Мироновой Л.И. посвящена проблемам обеспечения работоспособности, надежности и долговечности элементов конструкций энергетического оборудования. Основные решаемые задачи затрагивают и связывают воедино такие ответственные этапы жизненного цикла конструкций, как проектирование и технологии изготовления.

К настоящему времени в России и за рубежом выполнен значительный объем исследований и накоплен богатый опыт по решению проблем обеспечения прочности и надежности элементов конструкций в машиностроении, в ракетной, космической, авиационной технике, ядерной энергетике и др. отраслях промышленности. Тем не менее, существующая тенденция развития перспективной техники обозначила необходимость решения комплекса инженерных задач, в числе которых стоят вопросы выбора основных параметров формообразования элементов, конструкционных материалов, удовлетворяющих назначению изделия, а также вопросы создания инновационных технологических проектов, связанных с изготовлением и монтажом энергетических объектов.

Проведенные многочисленные исследования в области теории компоновки и формообразования конструкций энергетических установок, в том числе ядерных реакторов, позволили разработать эффективные методики назначения оптимальных размеров металлических конструкций. Однако проблемы качественного изготовления сложных технических систем с минимальным остаточным напряженным состоянием структурных элементов остаются насущными и требуют разработки научно обоснованных методов расчета и выбора не только геометрических характеристик, но и оптимальных режимов технологических операций.

В этой связи решение проблем, связанных с анализом, оценкой и оптимизацией термонапряженных состояний конструкций с учетом полного жизненного цикла «проектирование, изготовление и эксплуатация» остается актуальным и занимает одно из центральных мест в обосновании прочности и безопасности объектов энергетического машиностроения.

Цель диссертационной работы Мироновой Л.И. заключается в разработке адекватных моделей и расчетно-экспериментальных методов исследования параметров термонапряженных состояний оболочечных конструкций, обусловленных локальными термонапряжениями. Полученные результаты легли в основу разработки методов оптимизации высокоградиентных термонапряженных состояний сосудов высокого давления, трубных и многослойных конструкций, подверженных неоднородным температурным воздействиям в технологических процессах изготовления, таких как сварка, индукционный нагрев, других операциях заготовительного производства.

Существенный резерв в создании современной техники с повышенным эксплуатационным ресурсом автор находит в разработке и использовании эффективных расчетных моделей, систем критериев качества, алгоритмов оптимизации, базирующихся на принятых зависимостях механики деформируемого твердого тела, теории термоупругости и решении экстремальных задач, корректно адаптированных к реальным условиям теплового нагружения. Такой подход позволил провести оптимизацию сложных конструкций энергетического машиностроения по температурным напряжениям и минимизировать уровни упругопластических деформаций в зонах технологического влияния. Решение подобных задач остается актуальным и может быть применимо в других сферах отечественной экономики, ракетной, космической отраслях, авиационной промышленности.

Вышеизложенное дает основание утверждать, что тема диссертации имеет научное и практическое значение, является актуальной, а применение выполненных разработок позволит внести значительный вклад в экономику энергетической отрасли за счет внедрения инновационных проектов, направленных на обеспечение длительной прочности, надежности и производства изделий с высокими качественными свойствами.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, основных выводов, списка литературы из 182 наименований и двух приложений. В приложении А представлены алгоритмы выполненных автоматизированных вычислений в программной среде LABVIEW, в приложении Б – акты и справки внедрения результатов проведенных исследований. Диссертация изложена на 322 листах машинописного текста, включает 33 таблицы и 111 рисунков. Автореферат, изданный на правах рукописи, содержит 43 страницы. Материалы, изложенные в автореферате, достаточно полно отражают содержание диссертации Мироновой Л.И.

Представленные в диссертации результаты исследований полностью отражены в 45 работах, опубликованных автором в период с 2006г. по 2014г. Среди них 27 статей в изданиях, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК РФ, одна монография, статьи в сборниках научных трудов и материалах научных конференций различного уровня.

Научная новизна результатов диссертации

В процессе работы автором выполнены теоретические и экспериментальные исследования, имеющие несомненную научную новизну, среди которых, в первую очередь, следует отметить:

- Базируясь на классические методы механики деформируемого твердого тела, в числе которых: теория тонких оболочек, вариационные принципы, теории упругости и термоупругости, автор развил и реализовал новые подходы в исследовании термонапряженного состояния элементов конструкций, подверженных действию высоких температур и адаптированных к технологическим операциям сварки и термической обработки.

- Применен новый расчетно – феноменологический метод в математическом моделировании предельных состояний конструкции, обусловленных действием локальных источников тепла высокой интенсивности. До настоящего времени такой подход к решению поставленных задач не разрабатывался и не применялся.

- На основе минимизации функционала упругой энергии деформации оболочки разработан универсальный подход к определению экстремальных температурных полей и сопоставимых уровней температурных напряжений. Это позволило применить единую методику решения температурной задачи в исследовании переходных термонапряженных состояний оболочечных конструкций и выявить механизмы образования упругопластических деформаций в зонах технологического влияния. Разработанные

математические модели легли в основу оптимизационных моделей, минимизирующих остаточные напряжения в реальных сварных конструкциях энергетического машиностроения.

- Построены новые математические модели определения полей температурных напряжений и деформаций для двух пересекающихся цилиндрических оболочек с учетом особенностей изменения контура в местах сочленения и разнотолщинности меридиональной стенки. Разработанные модели легли в основу методов оптимизации сварных соединений обечаек, сферических днищ и патрубков, позволивших получить конструкции с минимальным остаточным напряженным состоянием.

- Проведено теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния сварной конструкции алюминиевого бака. Определены поля упругих и упругопластических деформаций в зонах термического влияния с учетом особенностей наложения продольных и кольцевых сварных швов.

- Проведено математическое обоснование построения оценочных весовых функций и показана целесообразность применения предложенного расчетно-феноменологического подхода в развитии уточненных методов исследования предельных термонапряженных состояний, обусловленных локальными высокоградиентными температурными воздействиями.

- Проведены экспериментальные исследования термонапряженного состояния алюминиевой сварной трубной конструкции на основе корреляции механического и металлографического методов исследования. Разработаны оригинальные методики, новые средства нагружения и измерения деформаций, подтвержденные патентом на изобретение.

Это, несомненно, определяет новизну и оригинальность диссертационной работы.

В диссертации получены следующие **важные научные результаты**:

- На основе разработанных методов и расчетных моделей проведено теоретическое исследование остаточных напряжений в продольных и кольцевых сварных швах подпиточного бака, изготовленного из деформируемого алюминиевого сплава АМгб. Определен характер распределения упругопластических деформаций в зонах термического влияния.

- Выявлены особенности сварки алюминиевых сплавов и определены уровни максимальных температурных напряжений в случаях образования окисной пленки Al_2O_3 , как на поверхности металла, так и непосредственно в процессе сварки. Установлено, что возникающие в поперечных сечениях сварные напряжения продольного шва обечайки выше сварных напряжений кольцевого соединения днища, и зависят от температурного режима сварочной ванны. Показана принципиальная возможность регулирования уровня остаточных напряжений с учетом применения специальных подложек, формирующих сварной шов, и управления режимами охлаждения.

- Проведен анализ временных и остаточных перемещений, возникающих непосредственно в процессе сварки обечайки и днища сосуда, получены формулы к определению продольных и кольцевых прогибов в зависимости от способов фиксации стыкового соединения и закрепления торцов.

- Установлены соотношения между эффективной тепловой мощностью дуги источника и температурными усилиями, обусловленными высокоградиентными температурными полями. Выявлены зависимости между параметрами сварки (скорость сварки, величины сварочного тока и падения напряжения на дуге) и максимальными уровнями температурных напряжений. Такой подход позволил существенно снизить опасные уровни остаточных напряжений, локализованных в околошовных сварных зонах.

- Получено новое решение упругопластической задачи с учетом технологических особенностей условий сборки, монтажа и эксплуатации многослойной цилиндрической

конструкции. Определена величина предельного пластического сопротивления внутреннего слоя. Приведенные зависимости позволили устанавливать в структурных элементах границы перехода из упругого состояния в упругопластическое.

- На основе методов вычислительного и физического экспериментов исследовано упругопластическое состояние цилиндрической оболочки при локальном нагреве поверхности движущимся источником тепла постоянной интенсивности. Для сварных трубных конструкций определены поля температурной деформации и границы перехода упругой зоны в пластическую.

- Решена задача на оптимальное сопряжение двух взаимно пересекающихся цилиндрических оболочек вращения. Установлено, что термоупругий ресурс сочлененных элементов существенно зависит от их пространственного расположения относительно друг друга. Проведена оценка приближенного решения при замене пространственной задачи на плоскую. Определены границы его применимости для анализа термоупругого ресурса сварных соединений штуцеров и отводных патрубков с корпусными элементами.

- Разработана методика определения оптимальной толщины наплавленного металла для сварных соединений элементов конструкции сосуда высокого давления из алюминиевых и легированных сталей, что позволило назначать оптимальную величину катета сварного шва, удовлетворяющую условиям прочности и минимальности остаточных напряжений.

Практическая значимость диссертационной работы

Работа имеет ясно выраженную практическую направленность. Результаты работы внедрены на ряде предприятий энергомашиностроения и военно-промышленного комплекса:

1. ОАО «ИНЦ ТЕМП», г. Москва, 2014г.
2. ОАО «ПЭМЗ спецмаш», г. Подольск Московской области, 2014г.
3. ЗАО «Опыт» ОАО «Машиностроительный завод «ЗиО – Подольск», г. Подольск Московской области, 2013г.
4. ООО «Инструмент», г. Подольск Московской области, 2013г.
5. ООО «Компания Корд», Подольский район, поселок Львовский Московской области, 2013г.

Достоверность и обоснованность выводов

В работе приведены десять основных выводов, вытекающих из теоретического обоснования разработанных адекватных моделей в предложенных методах исследования и оптимизации высокоградиентных термонапряженных состояний сочлененных оболочечных конструкций в технологических процессах энергетического машиностроения. Рассмотренные схемы позволили добиться высокоточных результатов при сокращении вычислительных затрат по сравнению с методами других авторов. Достоверность результатов обеспечивается использованием основных положений методов теории термоупругости и механики деформируемого твердого тела, разработанных алгоритмов компьютерной проверки, корректностью экспериментальных методов определения температурных напряжений с применением современной аппаратуры, а также апробированных методов и пакетов математического моделирования.

Общие замечания по диссертации

По содержанию диссертации и некоторым ее положениям можно сделать замечания:

1. В главе III (стр. 113) не раскрыт термин «исчезающее на бесконечности осесимметричное температурное поле».
2. В диссертации в некоторых случаях автор оперирует не совсем точными техническими терминами такими, как «сварная ванна» и «сварочный шов» (глава V, стр. 193, 194).

3. Не указаны назначение и эксплуатационные условия нагружения (давление, температура) ряда рассмотренных сосудов высокого давления.

4. В параграфе 6.6 (глава VI) проведена оптимизация сварной конструкции, допускающей два конструктивных исполнения. Результатом проведенных оптимизационных мероприятий является снижение деформативности и размерной нестабильности конструкции в целом (ссылка автора на стр. 245). Однако при этом отсутствуют данные о том, каким образом проводилась и контролировалась оптимизация изготовления конструкции.

5. На эпюрах остаточных напряжений (рисунок 7.16, стр. 284) проведено сравнение полученных экспериментальных и теоретических данных, но не указано по каким математическим моделям проводились расчеты остаточных напряжений.

Отмеченные недостатки не снижают значимости представленных исследований, не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации и ее общей положительной оценки.

Заключение

Оппонируемая диссертационная работа является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научно-техническом уровне, и имеющим важное хозяйственное значение в развитии энергетической отрасли отечественной экономики. Полученные результаты диссертационной работы Мироновой Л.И. дают основание считать, что автор разработал, теоретически обосновал и практически реализовал адекватные расчетные модели исследования и оптимизации высокоградиентных термонапряженных состояний сочлененных оболочечных конструкций в технологических процессах энергетического машиностроения. Все проведенные исследования были направлены на решение актуальной проблемы обеспечения прочности и долговечности при разработке объектов энергетического машиностроения с повышенным эксплуатационным ресурсом.

Автор диссертации Миронова Любовь Ивановна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент
начальник лаборатории прочности и сейсмической безопасности ОАО «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного энергетического машиностроения (ОАО «ВНИИАМ»),
доктор технических наук, старший научный сотрудник

 Е.Н. Сеницын

Подпись Сеницына Е.Н. заверяю,

и.о. директора по управлению персоналом ОАО «ВНИИАМ»



28.05.2017

 Ширяева Е. Н.

125171, г. Москва, ул. Космонавта Волкова, д. 6 А.
тел. 7 (499) 150-83-35.