

## ОТЗЫВ

научного консультанта 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»

Работа Л.И. Мироновой посвящена исследованию термонапряженных состояний элементов конструкций энергетического машиностроения, возникающих под воздействием высокоградиентных температурных полей, присущих технологиям изготовления, таким как сварка, термообработка и прочим подобным технологическим операциям. Разработанные адекватные расчетные модели, адаптированные к реальным условиям технологических процессов энергетического машиностроения, позволили в дальнейшем провести оптимизацию высокоградиентных термонапряженных состояний сложных оболочечных конструкций по температурным напряжениям и минимизировать упругопластические деформации в зоне технологического влияния.

Необходимость постановки и проведения данной работы обусловлена востребованностью научного обоснования прочности и надежности энергетических установок на разных этапах жизненного цикла, внедрения конструкторских и технологических достижений в создании отечественной конкурентоспособной техники. Возникающая при этом задача обеспечения долговечности и безопасности энергетических объектов с повышенными эксплуатационными свойствами имеет важное хозяйственное значение. Отсюда непосредственно вытекает актуальность темы диссертационной работы.

В диссертационной работе автором исследованы термонапряженные состояния наиболее распространенных конструкций энергетического машиностроения оболочечного типа. Среди них: сосуды высокого давления энергетических аппаратов, элементы корпусных конструкций энергетических установок, детали и узлы технологической оснастки металлургического производства. Технологическим процессам их изготовления характерны локальное неоднородное высокоградиентное термонагружение, объемная деформация металла в зоне технологического влияния, концентрация упругопластических напряжений в окрестностях сварного соединения, способствующих образованию технологических дефектов в виде трещин и усадочной пористости. Сочетание подобных негативных факторов в определенных эксплуатационных условиях может привести к снижению работоспособности и возможному последующему разрушению конструкции.

В настоящее время прослеживаются две тенденции развития энергетической отрасли, заключающихся как в модернизации существующего оборудования, так и в разработке новых конструкций из перспективных материалов с повышенными эксплуатационными свойствами.

Во многих случаях, когда ресурсы оптимального проектирования исчерпаны, первостепенное значение в создании высококачественного энергетического оборудования приобретают технологии изготовления, которым свойственно возникновение в конструкциях упругопластических деформаций.

Научно обоснованные мероприятия, связанные со снижением опасных уровней температурных напряжений и деформаций, требуют разработки соответствующих методов исследования и определяют цель диссертационной работы Мироновой Л.И, которая заключается в разработке расчетно-экспериментальных методов исследования и практической реализации адекватных моделей в оптимизации высокоградиентных термонапряженных состояний сочлененных конструкций оболочечного типа, обусловленных особенностями технологических процессов энергетического машиностроения.

Примечателен тот факт, что в решении ряда важных технологических проблем, связанных с производством высококачественной продукции, автор приводит теоретическое обоснование возможностей получения ответственных элементов конструкций с наименьшим остаточным деформированным состоянием в процессе изготовления на основе теории термоупругости и методов механики деформируемого твердого тела.

Диссертант весьма подробно рассмотрел особенности сложных оболочечных конструкций энергетического машиностроения и условия их изготовления. Большое внимание уделено сварочному производству ответственных элементов, прочностная надежность которых существенно зависит от остаточного напряженного состояния. Жесткие требования, предъявляемые к подобным конструкциям, включают в числе прочих вопросы обеспечения минимальных по величине температурных деформаций, размерной стабильности и точности изготовления основных несущих элементов.

Для исследования и оценки предельного состояния сочлененных оболочечных конструкций, обусловленных действием высоких температур и давлений, диссертант предложил расчетно- феноменологический метод и феноменологическую модель, в которых принимается, что переходному процессу из упругого в упругопластическое состояние конструкции соответствуем минимум энергии упругой деформации оболочки. Такая постановка вопроса успешно реализована в развитии уточненного метода оценки предельных состояний ответственных элементов конструкций.

На основе многочисленных собственных научных публикаций диссертант предложил универсальный подход к определению экстремальных температурных полей на основе минимизации функционала упругой энергии деформации оболочки в энергетическом пространстве, позволяющий применить единую методику решения температурной задачи. Разработаны адекватные модели и расчетно-экспериментальные методы исследования и оптимизации высокоградиентных термонапряженных состояний сочлененных оболочечных конструкций в технологических процессах энергетического машиностроения, основанные на использовании



энергетических методов термоупругости, теории экстремальных задач и вариационных принципов механики деформируемого твердого тела.

Развитию теоретических основ оптимизации напряженного состояния тонких оболочек за счет выбора градиентности температурных полей в зоне локального нагрева при достаточно общего вида ограничениях на допустимые функции посвящены многие работы исследователей, в том числе таких известных авторов, как Э.И.Григолюк, Я.С.Подстригач, Я.И.Бурак. Отличительной особенностью диссертационной работы Мироновой Л.И. от предыдущих исследований является то обстоятельство, что оптимизационные модели строятся не на выборе оптимальных температурных полей в процессе нагрева оболочечных конструкций (что исключено в сварочном производстве), а на минимизации температурных деформаций за счет выбора оптимальной конструктивной формы и параметров режимов сварки. Такой подход является новым в развитии прикладных методов механики деформируемого твердого тела.

В то же время, в связи с многочисленными приложениями (зональный отпуск, предварительный и сопутствующий подогрев в процессе сварки и др.) в работе приведено решение задач локального нагрева тонких оболочек движущимся источником тепла с учетом асимметрии и неоднородности толщины стенки при сочленении структурных элементов оболочки с пластиной. Разработанные ранее методики в рассмотрении таких вопросов приводят к довольно громоздким исходным соотношениям задач термоупругости и пластичности. Получение их решения по известным в литературе методикам, основанным на аналитических методах, связано со значительными математическими трудностями. Поэтому автор разрабатывает эффективную методику численного решения рассматриваемого класса экстремальных задач методом конечных элементов, используя современные программные пакеты LABVIEW и ANSYS. Проведенная на этой основе оптимизация термонапряженного состояния позволила значительно снизить деформативность и размерную нестабильность натурной сварной конструкции. Диссертант в полной мере владеет навыками компьютерных технологий для их применения в решении такого класса задач механики деформируемого твердого тела.

Разработанные оптимизационные модели диссертант строит на основе предложенных алгоритмов оптимизации, позволяющие оценивать, как сами критерии, так и выстроенные взаимоотношения между ними. Одним из путей такого подхода является введение априорных весовых коэффициентов для каждого из критериев на основе поиска общности закономерностей, в качестве которого диссертант предлагает принять уравнение механики сплошной неоднородной изотропной среды в перемещениях. Оригинальность таких предложений, безусловно, способствует развитию теоретических методов оптимизации.

Автор успешно осуществил экспериментальную реализацию предложенных математических моделей в расчетах температурных напряжений сочлененных оболочечных элементов с учетом особенностей

технологий изготовления. Проведена верификация расчетного метода определения термонапряженного состояния сварных конструкций оболочечного типа, обусловленного действием высокоградиентных температурных полей. Экспериментально определены остаточные температурные напряжения в натуральных сварных образцах на основе корреляции механического и металлографических методов исследования.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в эффективном использовании разработанных адекватных моделей при проектировании сложных конструкций энергетического машиностроения с учетом полного жизненного цикла «проектирование – изготовление – эксплуатация».

Автор диссертации основательно владеет предложенными теоретическими и экспериментальными методами исследования высокоградиентных термонапряженных состояний сочлененных оболочечных конструкций, адаптированных к технологическим процессам энергетического машиностроения, и приведенными научно обоснованными механизмами оптимизации по остаточным уровням температурных напряжений.

В задачу научного консультанта входило лишь развернутое обсуждение тех вопросов, которые предложил диссертант. С полной уверенностью считаю, что автор диссертационной работы Миронова Л.И. заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

Научный консультант  
член-корреспондент РАН РФ, доктор технических наук,  
профессор, главный научный сотрудник ФГУП НИИ  
НПО «Луч»

*И.И. Федик*

И.И. Федик

Подпись заверяю

*Видеомашинист, Ожигин Ю.В.*  
*28.05.2014*

