

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе

Цветкова Виталия Владимировича

«Краевые задачи ползучести поверхностно упрочнённых цилиндров

при различных видах квазистатического нагружения»,

представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела

На отзыв представлены диссертационная работа и автореферат. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка источников из 189 наименований и приложений. Работа содержит 195 страниц основного текста, 51 рисунок, 26 таблиц и 3 приложения. Автореферат содержит 20 страниц.

1. Актуальность темы диссертации. Детали и элементы конструкций энергоёмких машин, особенно в высокотехнологичных отраслях машиностроения, характеризуются высокой динамической напряжённостью при одновременном повышении требований к их надёжности и ресурсу. Процесс разрушения деталей (в частности от многоциклового усталости при нормальных и повышенных температурах, вызывающих реологические деформации) определяется кинетикой магистральной трещины, зарождение и развитие которой начинается, как правило, в поверхностном слое. Наиболее эффективными способами улучшения состояния поверхностного слоя являются технологические способы, к которым, прежде всего относятся методы поверхностного пластического деформирования (ППД). Их применение приводит к появлению локальных приповерхностных областей пластической деформации, вследствие чего образуются поля остаточных напряжений сжатия, позволяющие повысить сопротивление усталости, трибологические характеристики, замедлить коррозионные процессы.

Наиболее остро проблема кинетики напряжённо-деформированного состояния стоит для упрочнённых деталей (в том числе, цилиндрических), работающих в условиях высокотемпературной ползучести при сложном напряжённом состоянии.

Оценка степени устойчивости наведённых остаточных напряжений к температурно-силовым нагрузкам в условиях ползучести преимущественно осуществляется только экспериментально путём натурных прочностных испытаний, что требует больших материальных и временных затрат и не всегда возможна. С другой стороны, системные исследования прогнозирования полей напряжений и деформаций в поверхностно упрочнённых деталях, с учётом большого разнообразия их конструктивных форм, применяемых материалов,

характера нагрузки, условий эксплуатации и различных технологий упрочнения в настоящее время отсутствуют, хотя необходимость в теоретических методах решения такого рода задач очевидна.

Таким образом, современная технологическая практика поверхностного пластического упрочнения деталей ставит перед фундаментальной и прикладной механикой задачи расчётного прогнозирования законов распределения в них остаточных напряжений как после процедуры упрочнения, так и в условиях температурно-силового нагружения, когда существенную роль играет деформация ползучести и связанные с ней релаксационные процессы.

В связи с вышеизложенным разрешение проблемы прогнозирования кинетики напряженно-деформированного состояния в упрочненном слое элементов конструкций в полном для механики деформируемого твердого тела объеме возможно только на основе соответствующих математических моделей, в рамках которых только и возможно ответить на подобные запросы теоретической науки, технологической практики и инженерных методов оценки надежности эксплуатирующихся упрочненных деталей.

Поскольку разработка расчетных методов анализа напряженно-деформированного состояния в упрочненных конструкциях с концентраторами, включая его моделирование после процедуры упрочнения и в процессе высокотемпературной ползучести материала, находится в рамках одного из основных фундаментальных направлений современной механики, то выбор темы исследований для диссертации, безусловно, является актуальным как с теоретической, так и с прикладной точек зрения.

2. Новизна проведённых исследований и полученных результатов. Наиболее значимое научное достижение автора, полученное впервые и нашедшее отражение в его публикациях, – это разработка метода решения краевых задач для поверхностно упрочнённых полых и сплошных цилиндров при различных видах сложного напряжённого состояния, вызванного кручением, осевым растяжением, внутренним давлением цилиндров в условиях высокотемпературной ползучести, т.е. решения краевых задач реологического деформирования с начальным напряжённо-деформированным состоянием.

При решении основной задачи диссертационного исследования соискатель получил ряд новых логически связанных научных результатов частного порядка, в том числе:

- предложен метод решения краевой задачи ползучести и длительной прочности **неупрочнённых** цилиндрических образцов в условиях совместного действия температурных нагрузок, осевой растягивающей силы, крутящего момента и внутреннего давления на основе обобщения известной модели реологического деформирования на случай анизотропии свойств материала;

- предложен метод решения краевых задач для расчёта напряжённо-деформированного состояния в **упрочнённых** цилиндрах при реологическом деформировании при разных видах напряжённого состояния;

- проведен параметрический анализ напряжённо-деформированного состояния упрочнённых и неупрочнённых цилиндрических изделий в достаточно широком диапазоне изменения внешних нагрузок (растяжение, кручение, внутреннее давление, термоэкспозиция и их комбинации), геометрических параметров образцов и материалов;

- проведен научно-обоснованный анализ соответствия полученных соискателем решений краевых задач с известными решениями других авторов и известными экспериментальными данными;

- разработан новый программный продукт для реализации методов решения краевых задач ползучести и длительной прочности цилиндрических изделий при разных видах квазистатического нагружения;

- исследована погрешность разработанных методов по отношению к имеющемуся экспериментальным данным по длительной прочности, деформационным кривым ползучести и релаксации остаточных напряжений;

- получены результаты новых теоретических исследований влияния вида температурно-силового нагружения на напряжённо-деформированное состояние, длительную прочность и релаксацию остаточных напряжений в упрочнённых и неупрочнённых образцах из сталей и сплавов, имеющих широкое применение в авиадвигателестроении, энергетическом машиностроении, продуктопроводах различного назначения.

Суммируя вышеизложенное, следует признать, что основные результаты и выводы диссертационной работы обладают научной новизной.

В заключении отметим, что основные научные результаты диссертации соответствуют целям и задачам паспорта специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела: именно, пп. 1, 2, 4 целей и пп. 2, 5, 6, 7, 8 перечня областей исследования.

3. Степень обоснованности и достоверности полученных положений, основных результатов и выводов. Полученные результаты и общие выводы по работе достоверны, так как базируются на конкретно полученных результатах теоретических исследований, что соответствует требованиям к научным работам. Обоснованность и достоверность результатов, научных положений и выводов, полученных на основе использования экспериментально обоснованной модели ползучести и длительной прочности и данных решений краевых задач для упрочнённых и неупрочнённых цилиндрических образцов при различных видах напряжённого состояния, обеспечивается корректным использованием основных положений механики деформируемого твёрдого тела, теории дифференциальных

уравнений, методов численного решения краевых задач в условиях реономного деформирования, сравнением результатов расчётов с известными экспериментальными данными и данными расчётов из независимых источников.

4. Значимость результатов для науки и практики. В теоретическом плане можно выделить два аспекта. Во-первых, разработана методика, реализованная в виде программного комплекса, для расчёта ползучести и длительной прочности неупрочнённых цилиндрических элементов конструкций при различных видах напряжённого состояния, позволяющая расчётным путём оценить кинетику полей напряжений и деформаций и время до разрушения на основе модели ползучести и критерия разрушения энергетического типа. Во-вторых, предложен метод решения краевых задач поверхностно упрочнённых цилиндрических образцов в условиях ползучести и разработано соответствующее программное обеспечение. С точки зрения теории эти задачи решены впервые, чем и определяется их теоретическая значимость. С прикладной точки зрения разработанные методы и программный продукт могут служить методической основой оценки надёжности упрочнённых цилиндрических элементов конструкций уже на стадии проектирования.

Важную самостоятельную роль играют и приведённые в диссертации новые теоретические и экспериментальные данные по ползучести и релаксации остаточных напряжений в сплошных и полых упрочнённых цилиндрических изделиях. Они востребованы в инженерной практике в различных прикладных задачах в условиях высокотемпературной ползучести. Об этом свидетельствует факт использования результатов диссертационной работы в расчётной практике ПАО «Кузнецов» (г. Самара), занимающегося авиадвигателестроением, где возникает необходимость расчёта упрочнённых цилиндрических деталей в условиях высокотемпературной ползучести. Кроме этого, результаты работы могут быть использованы в учебном процессе, о чём свидетельствует соответствующий акт о внедрении.

5. Апробация работы. Результаты работы достаточно полно освещены в 26 публикациях (основные 20 публикаций приведены в автореферате), в том числе в 2 статьях из базы Web of Science, в 4 публикациях из рецензируемого журнала, рекомендованного ВАК Минобрнауки РФ, при этом имеется публикация без соавторов. Результаты работы докладывались на Международных и Всероссийских конференциях и научных семинарах. К положительным моментам можно также отнести то, что часть работы выполнялась в рамках двух грантов РФФИ и в рамках государственного задания Минобрнауки РФ по программе АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы», где проводится серьёзная экспертиза проектов.

6. Содержимое автореферата полностью отражает идеи, результаты и выводы диссертации, а также перечень опубликованных работ. Изложение материала ясное и чёткое, приводятся ссылки на используемые источники. Качество оформления диссертации и автореферата хорошее.

7. В качестве замечаний можно отметить следующее:

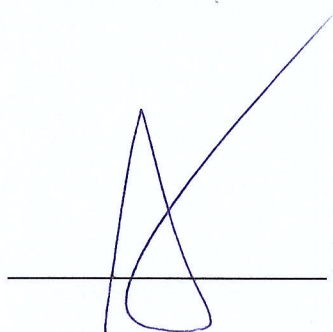
1. В главе 3 формулой (3.3) вводится гипотеза анизотропного характера поверхностного пластического упрочнения при реконструкции напряжённо-деформированного состояния после процедуры упрочнения. Однако в дальнейшем при исследовании процесса ползучести упрочнённых цилиндров для начального состояния использовалось лишь гипотеза изотропного упрочнения (параметр $\alpha=1$ в формуле (3.3)). Никаких комментариев, почему не исследован случай $\alpha \neq 1$, в диссертации не имеется.
2. В диссертации не приведена методика численной идентификации параметров аппроксимации для величины $\sigma_{\theta}^{\text{res}} = \sigma_{\theta}^{\text{res}}(r)$ в формулах (3.7) для сплошного и (3.8) для полого цилиндров. Эта задача нелинейная и вопрос единственности решения для параметров аппроксимаций (3.7) и (3.8) – далеко не тривиальная задача.
3. Кроме того, в силу нелинейности задачи, следовало бы оценить устойчивость моделей по отношению к небольшим, но возможным изменениям значений параметров, находимых в процессе идентификации. Наш опыт показывает, что возможны ситуации, когда «малые» изменения приводят к «большим» последствиям. А так как экспериментальные данные, используемые для идентификации имеют определенный разброс, то такие ситуации возможны.
4. В диссертации исследована релаксация остаточных напряжений лишь после процедуры гидродробеструйной обработки поверхности. Можно ли обобщить разработанную методику решения краевых задач на другие типы поверхностного упрочнения (обкатка роликом, алмазное выглаживание, ультразвуковое упрочнение и другие) и какие изменения она может при этом претерпеть?
5. Имеются в незначительном количестве опечатки в тексте диссертации, некоторые неточности. В частности, на стр. 25 приведен график остаточного напряжения не $\sigma_{\theta}^{\text{res}} = \sigma_{\theta}^{\text{res}}(r)$ как утверждается, а график $\sigma_{\theta}^{\text{res}} = \sigma_{\theta}^{\text{res}}(R_2 - r)$; на странице 26 у всех компонент тензора остаточных напряжений отсутствует индекс «res»; на стр. 70 на рисунках 2.10 и 2.11 вместо напряжения τ должно быть номинальное напряжение τ_0 ; на стр. 131 нет внятного пояснения, почему в реологической модели используется лишь вязкопластическая компонента v_{ij} и пренебрегается вязкоупругая компонента u_{ij} ; на стр. 130, 131, строго говоря, приведена не норма, а функционал среднеквадратического отклонения.

8. Заключение.

Указанные выше недостатки не уменьшают научную и практическую значимость основных результатов диссертации. В целом работа выполнена на высоком научном уровне. Анализ результатов исследований, изложенных в диссертации, подтверждает обоснованность сформулированных автором научных положений, выводов и рекомендаций. Основные результаты работы в полном объеме освещены в публикациях соискателя. На основании вышеизложенного рассматриваемая диссертационная работа Цветкова Виталия Владимировича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение ряда новых краевых задач ползучести и релаксации поверхностно упрочнённых полых и сплошных цилиндрических изделий в условиях сложного напряжённого состояния при осевом растяжении, кручении и внутреннем давлении, является законченной научно-исследовательской работой, отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент:

доктор технических наук (05.23.17),
профессор, профессор кафедры
«Транспортное строительство» ФГБОУ
ВО «Саратовский государственный
технический университет имени
Гагарина Ю.А.», г. Саратов



Овчинников
Игорь Георгиевич

410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, корпус 6, каб. 35.

Тел. 8(8452)998905, e-mail: bridgesar@mail.ru

Подпись доктора технических наук, профессора Овчинникова Игоря Георгиевича заверяю

Ученый секретарь Ученого Совета Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

к.и.н., доцент



Малова Н.А.