

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Смылова Виталия Андреевича «Методы расчёта остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах при температурно-силовом нагружении в условиях ползучести», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твёрдого тела»

Актуальность

Задача обеспечения высокой надёжности и прочности изделий, работающих при высоких температурах, является весьма актуальной с практической точки зрения, особенно в условиях длительной эксплуатации. Одним из способов повышения надёжности элементов конструкций является применение метода поверхностного пластического деформирования. При этом повышение «сопротивляемости» элементов конструкций обусловлено, главным образом, сжимающими остаточными напряжениями в поверхностном слое, создающими дополнительные трудности для развития различных деградационных процессов в материале, которые как правило, происходят с поверхности. К таким процессам относятся растрескивание материала, внедрение других твёрдых и жидкых сред (как правило, агрессивных) в поверхность материала, диффузия и многие другие эффекты. В процессе эксплуатации при высоких температурах за счёт явления ползучести происходит релаксация остаточных напряжений. По величине остаточных напряжений можно судить об эффективности упрочнения элементов конструкций, работающих при повышенных температурах и, в конечном итоге, о степени исчерпания их ресурса. Это требует разработки математических методов оценки кинетики остаточных напряжений при ползучести. Если в условиях циклического нагружения вопрос влияния остаточных напряжений на сопротивление усталости (хотя и на чисто

эмпирическом уровне) разработан достаточно хорошо, то математические методы решения задач расчёта релаксации остаточных напряжений в поверхностном слое при ползучести в настоящее время в достаточной для научной практики мере не разработаны. В этом плане диссертационная работа Смылова В.А. является современной и актуальной.

Научная новизна исследований и научных результатов

В первой главе автор даёт достаточно полный аналитический обзор существа проблемы, он квалифицированно проанализировал отечественные и зарубежные источники по тематике, близкой к диссертационной работе, чётко и аргументировано (в смысле новизны) сформулировал цели и задачи диссертационного исследования.

По существу диссертационной работы можно сказать следующее. В.А. Смыловым поставлены и решены новые краевые задачи оценки напряжённо-деформированного состояния поверхностно-упрочнённого слоя в условиях неупругого реологического деформирования цилиндрических элементов конструкций. Основными из них являются следующие.

1°. Диссидентом разработан, апробирован и экспериментально обоснован новый метод решения краевой задачи о формировании напряжённо-деформированного состояния в полом упрочнённом слое цилиндрического образца после процедуры анизотропного поверхностного упрочнения. Анализ литературных источников, выполненный Смыловым В.А., показал, что подавляющее большинство работ по определению остаточных напряжений после процедуры ГПД, релаксации остаточных напряжений вследствие ползучести и их влиянию на предел выносливости в деталях с концентраторами носит чисто эмпирический характер. При этом существующие на сегодняшний день экспериментальные методы не позволяют восстановить полную картину напряжённо-деформированного состояния в упрочнённом слое. Удаётся получить либо одну компоненту тензора остаточных напряжений, либо в некоторых случаях – две. В инженерных расчётах в настоящее время фигурируют так называемые

эквивалентные остаточные напряжения, по величине которых и делается то или иное заключение о показателях ресурса. Немногочисленные разработанные в этом направлении полуаналитические и феноменологические методы пока справедливы лишь для режимов так называемого изотропного поверхностного упрочнения сплошных цилиндрических образцов (обработка микрошариками, гидродробеструйная обработка, азотирование и некоторые другие). Поэтому разработанный Смысловым В.А. во второй главе метод решения задач для полых цилиндрических образцов может быть с успехом применён, например, для таких режимов упрочнения как обкатка роликом, алмазное выглаживание и других.

Выполненные докторантом исследования на достаточно внушительном спектре образцов более чем из 10 стальей и сплавов, имеющих применение в машиностроении и авиационной промышленности, существенно расширяют номенклатуру материалов и цилиндрических деталей из них, для которых изучено влияние технологий поверхностного упрочнения на формирование напряженно-деформированного состояния в приповерхностном слое.

2°. Докторант теоретически описал различие зависимостей для окружных и осевых компонент тензора остаточных напряжений при технологиях упрочнения по схемам качения или скольжения при помощи введения дополнительного параметра, связывающего компоненты тензора остаточных пластических деформаций соотношениями (1.7) и (2.8) докторской диссертации, и дал анализ влияния этого параметра на поля остаточных напряжений. Кроме теоретического значения, эти результаты могут служить основой для постановки задач управления технологическим режимом по созданию заданных законов распределения остаточных напряжений.

3°. В главе 4 сформулирована и решена новая краевая задача для описания релаксации остаточных напряжений в упрочненном слое при ползучести полого цилиндрического изделия с учётом теплосмен при нагрузке и разгрузке. Вопросы влияния повышенных температур и нагрузок для элементов конструкций рассматривались ранее лишь чисто

экспериментально, а теоретические исследования в этом направлении ведутся эпизодически и для простейших деталей. Важность решения этой задачи имеет как теоретическое, так и практическое значение, поскольку оценка кинетики остаточных напряжений вследствие ползучести позволяет сделать вывод не только об эффективности (устойчивости) поверхностного пластического деформирования к нагрузкам при высокотемпературных режимах нагружения, но и о целесообразности применения упрочнения деталей, которые работают в условиях высоких температур.

В этом плане разработанный метод оценки релаксации остаточных напряжений в упрочненном цилиндрическом образце в смысле новизны и практической значимости не вызывает сомнений.

4°. Отметим экспериментальную часть работы. Диссертант провел обработку большого объема экспериментальных данных при проверке решений краевых задач. Эти данные касались реализации методики формирования остаточных напряжений для самых разнообразных технологий упрочнения поверхностей цилиндрических образцов, а, также, оценки влияния температурных режимов на релаксацию остаточных напряжений в полых цилиндрических деталях. С поискатель впервые выполнил экспериментальные исследования по влиянию осевой растягивающей нагрузки на релаксацию остаточных напряжений в сплошных цилиндрических образцах из сплава ЖС6КП при $T = 800^{\circ}\text{C}$, который широко используется в авиационном двигателестроении. Полученные экспериментальные данные (помимо проверки теоретических результатов) представляют также самостоятельную ценность, поскольку естественным образом расширяют и пополняют соответствующую информационную базу данных.

5°. К положительным элементам, отличающимся новизной, следует отнести создание вычислительной платформы, воплощенной в программный комплекс, который на данный момент не имеет аналогов.

Анализ диссертационной работы позволяет сделать вывод, что все заявленные в научной новизне положения действительно реализованы соискателем.

Теоретическая и практическая значимость работы

По существу полученных диссидентом результатов можно резюмировать следующее. Теоретическую значимость работы определяет тот факт, что поставлены новые краевые задачи и предложены способы их решения; представлены численные алгоритмы для построения этих решений, на основе которых разработана методика численного расчёта релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочнённом слое в условиях ползучести самой цилиндрической детали; экспериментальным путём решён ряд практически важных задач. Созданы два программных комплекса, реализующие все задачи, рассмотренные в диссертации, библиографические ссылки на которые имеются в списке литературы под номерами 164 и 165, а свидетельства о регистрации программных продуктов приведены в приложении №3.

Достоверность результатов

Основные положения и выводы диссертационной работы основаны на использовании классических уравнений механики деформируемого твёрдого тела, корректном применении математического аппарата и сравнении результатов расчёта с экспериментальными данными из независимых источников других авторов и данными экспериментальных исследований, выполненных соискателем.

Апробация работы

Работа Смылова В.А. прошла хорошую апробацию, ее положения опубликованы в двадцати одной работе (из них 4 публикации в журналах из перечня ВАК), имеется ряд выступлений на конференциях различного уровня и семинарах.

Результаты работ получены в результате выполнения проектов по линии Министерства образования и науки и гранта РФФИ, внедрены в учебном процессе Самарского государственного технического университета. Поэтому считаю, что работа Смысlova V.A. прошла достаточную многостороннюю апробацию.

Диссертация и автореферат написана ясным, понятным языком, существенных замечаний по её оформлению не имеется. Автореферат диссертации полностью соответствует её содержанию.

Вместе с тем, по диссертации имеются следующие замечания.

1. В аналитическом обзоре диссертации отсутствуют ссылки на Пермских ученых в области пластичности и остаточных напряжений, в частности, на известную монографию А. А. Поздеев, Ю. И. Нишин, П. В. Трусов. Остаточные напряжения: теория и приложения. — М.: Наука, 1982. 112 с.

2. В работе не рассмотрено влияние краевых эффектов торцов цилиндра на предлагаемые соотношения (остаточные напряжения), нет оценки величины области краевого эффекта.

3. Механические параметры материала по глубине поверхностного слоя при поверхностном пластическом деформировании изменяются. Поэтому эмпирический параметр α , называемый автором феноменологическим, может в значительной степени зависеть от радиальной координаты, однако каких-либо оценок этого эффекта не представлено.

4. В работе отсутствует обоснование выбора выражений аппроксимации окружных остаточных напряжений (1.12) для сплошного цилиндра и (2.26) для полого цилиндра. Если в приповерхностном слое они выбраны просто по виду экспериментальных данных, то на удалении от него данные по остаточным напряжениям отсутствуют. Для этого можно было бы использовать какие-либо известные аналитические (классические) решения по упрочнению цилиндров.

5. При рассмотрении температурных эффектов автор учитывает влияние температуры на модуль упругости, но почему-то, полагает постоянным

коэффициент Пуассона. Экспериментальные данные для различных металлов и сплавов показывают, что это не так.

6. При переходе от температуры T_0 к T_1 автор полагает, что меняется только модуль упругости, а остаточное окружное напряжение остается прежним. Остаточные напряжения контролируются пределом текучести, который зависит от температуры еще в большей степени, чем модуль упругости.

7. Работа посвящена изучению пластических деформаций, деформаций ползучести, остаточных напряжений и деформаций, однако отсутствует упоминание о какой-либо модели пластического тела. Как ни странно, предел текучести вообще не входит в число параметров модели.

Заключение по диссертации

Отмеченные недостатки носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку работы. В целом же, исходя из содержания диссертации В.Ю. Смыслова «Методы расчёта остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах при температурно-силовом нагружении в условиях ползучести» можно сделать вывод, что она является законченной научно-исследовательской работой, выполненной самостоятельно и вносящей существенный вклад в теорию и практику механики упрочнённых конструкций.

На основании вышеприведенного считаю, что диссертационная работа В.А. Смыслова «Методы расчёта остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах при температурно-силовом нагружении в условиях ползучести» является завершённым научным исследованием, выполненном на высоком научно-методическом уровне, соответствует специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела», имеет важное научное и прикладное значение, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» п. 9. Рецензируемая диссертационная работа отвечает всем требованиям, а её автор – Виталий Андреевич Смыслов –

заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент, заведующий кафедрой
фундаментальной математики
ФГБОУ ВПО «Пермский государственный
национальный исследовательский
университет», доктор технических наук,
профессор
«03» марта 2015г.



Алтуков Валерий Нагимович

email: al'tukov@psu.ru

тел. служебный: (342)-2-396-819

служебный адрес: 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Подпись Алтукова В.Н. заверяю:

Ученый секретарь

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный
национальный исследовательский
университет»

Антропова Елена Петровна

