

В диссертационный совет Д 999.122.02 на базе
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет», ФГАОУ ВО
«Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королёва»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская 244,
главный корпус

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук,
профессора Букатого Станислава Алексеевича
на диссертационную работу Морозова Андрея Павловича
«Стохастические модели релаксации остаточных напряжений и кинетика
микротвердости материала в поверхностно упрочненных элементах
конструкций в условиях ползучести», представленную на соискание
учёной степени кандидата технических наук по специальности
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

На отзыв представлены диссертационная работа и автореферат. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы из 181 наименования и двух приложений в виде Актов о внедрении результатов работы, изложена на 206 страницах текста, содержит 21 таблицу и 98 рисунков. Автореферат объёмом 20 страниц.

1. Актуальность темы диссертации

Повышение надёжности и долговечности, уменьшение материалоемкости деталей, работающих в условиях повышенных температур и переменных нагрузок, является важной проблемой в машиностроении. Поэтому ответственные детали машин при изготовлении упрочняют поверхностным пластическим деформированием (ППД), создающим в поверхностном слое детали наклёп и сжимающие остаточные напряжения (ОН). В процессе эксплуатации в материале деталей протекают релаксационные процессы, приводящие к изменению физико-механических свойств материала, уменьшению величины ОН и снижению эффективности упрочняющей обработки. Поэтому исследование закономерностей изменения свойств материала в условиях высокотемпературной ползучести, моделирование процессов ползучести и релаксации ОН под действием температурно-силовых нагрузок в вероятностно-статистической постановке, которым посвящена работа Морозова А.П., являются важными и актуальными.

2. Новизна проведённых исследований и полученных результатов.

2.1 На основе комплексного анализа результатов экспериментальных исследований, выполненных в соавторстве, установлено, что независимо от режимов упругопластического нагружения пластические деформации не влияют на развитие последующих деформаций ползучести. На основе установленной закономерности разработан метод моделирования процессов ползучести в виде системы феноменологических стохастических уравнений, содержащих как

детерминированные, так и случайные параметры. Разработана методика идентификации оценок случайных параметров модели и проведено аналитическое описание случайного процесса развития деформаций ползучести во времени при одноосном растяжении образцов из сплава Д16Т.

2.2 Впервые проведены исследования и экспериментально установлено, что разброс локальной деформации ползучести на образцах из сплава Д16Т при одноосном растяжении и температуре $T = 125^{\circ}\text{C}$ достигает до 200 % относительно средней деформации образца.

2.3 Разработана методика численного решения стохастической краевой задачи ползучести деталей, упрочненных методом ППД. На основе данной методики проведено исследование релаксации ОН, получены статистические оценки величины ОН в зависимости от времени в процессе ползучести. Установлено, что в течение 100 часов величина ОН может уменьшиться от 4-х до 10 раз по сравнению с исходной величиной после упрочняющей обработки.

2.4 На основе экспериментальных исследований влияния режимов упрочнения, выдержек при температуре и многоцикловых нагружений на кинетику микроструктуры и физико-механические параметры материала образцов из сплавов ВД95, Д16Т, ЭИ698-ВД и ст. 20 установлено, что распределение микротвёрдости по глубине упрочнённого слоя обладает значительной неоднородностью; многоцикловые нагружения и испытания на ползучесть при заданной температуре приводят к значительному уменьшению микротвёрдости в поверхностном слое материала вплоть до величины в исходном состоянии. При этом уменьшение микротвёрдости сопровождается уменьшением величины ОН.

3. Степень обоснованности и достоверности полученных положений, основных результатов и выводов.

Полученные результаты и общие выводы по работе являются достоверными, т.к. базируются на результатах теоретических и экспериментальных исследований, что соответствует требованиям к научным работам. Обоснованность и достоверность результатов, научных положений и выводов, полученных в работе, обеспечиваются использованием методов механики деформируемого твёрдого тела, реологических методов, а также корректным использованием математического аппарата.

Достоверность численного моделирования процессов ползучести и релаксации ОН подтверждается результатами экспериментальных исследований.

4. Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики.

Значимость результатов для науки:

4.1 Большое значение имеет установленное автором положение о независимости протекания процессов пластического деформирования и ползучести. Его можно отнести к новым закономерностям процессов деформирования упругопластических материалов.

4.2 Экспериментально подтверждено явление локальной неоднородности деформации ползучести, свидетельствующее о локальной неоднородности физико-механических свойств материалов. Следовательно, это явление приводит к значительному разбросу результатов испытаний не только на ползучесть, но, видимо, является причиной часто наблюдаемого на практике значительного рассеяния результатов испытаний на малоцикловую усталость и

длительную прочность, а также может служить дополнительным обоснованием теории прочности, основанной на гипотезе о «слабом звене».

Разброс значений локальной деформации ползучести, её флуктуации, а также установленная автором неоднородность распределения микротвёрдости материала могут свидетельствовать также о значительной величине и неоднородности ОН второго рода (микронапряжений) и служить основанием для работ по их исследованию.

4.3 Предложен новый подход к решению задач исследования ползучести материалов путём замены в известной модели Ю.П. Самарина части детерминированных параметров на случайные. Разработана методика идентификации статистических оценок случайных параметров A_1 и A_2 при одноосном напряжённом состоянии (НС) и сделано обобщение модели на случай сложного НС.

Значимость результатов для практики:

4.4 Разработанные автором методики и стохастические модели ползучести позволяют оценивать устойчивость ОН при температурных и силовых воздействиях на детали. Это особенно важно для оценки сопротивления усталости и обоснованного назначения межремонтных ресурсов ответственных деталей газотурбинных двигателей, работающих в условиях малоцикловой и многоцикловой усталости при повышенных температурах.

4.5 Методика идентификации статистических оценок случайных параметров A_1 и A_2 , отмеченная в п.4.3, позволяет значительно – до 8 раз уменьшить объём экспериментальных исследований по сравнению с традиционным подходом и позволяет учесть флуктуации деформаций ползучести в опытных образцах.

5. Соответствие автореферата диссертационной работе.

Содержание автореферата полностью отражает идеи, результаты и выводы диссертации, а также перечень опубликованных работ.

Основные результаты работы достаточно полно освещены в 32 публикациях, в том числе 7 статей в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Результаты работы апробированы на 25 научно-технических конференциях, а также на ряде научных семинаров.

6. Оценка содержания работы

Поставленные в работе цели и задачи решены полностью. Изложение материала ясное и чёткое, приводятся ссылки на используемые источники. Сделан подробный анализ большого количества источников в аналитическом обзоре литературы. Качество оформления работы хорошее, но имеются и некоторые недостатки и упущения. В частности, допущены ошибки в указании номеров при ссылках: на с. 55 рис. 2.28 и 2.29; на с. 91 формулы 3.15 и 3.16; на с. 161 ошибочно указан источник [83] вместо [82].

Из наиболее существенных замечаний по работе необходимо отметить следующее:

6.1 При исследовании релаксационных процессов следовало бы сделать оценку зависимости скорости релаксации ОН от времени, которая позволяет прогнозировать важное для практики время релаксации ОН до заданной величины.

6.2 В диссертации отсутствуют сведения о технологии и точности изготовления опытных образцов, которые можно было поместить в Приложение. Технологическая наследственность материала в поверхностном слое₃

существенно влияет как на микротвёрдость, так и на величину остаточных напряжений, и, возможно, влияет на их устойчивость к внешним температурно-силовым воздействиям. Отклонения поперечных размеров по длине образцов могут существенно влиять на разброс исследуемых деформаций ползучести и как следствие – так же на значения микротвёрдости.

6.3 В разделе 3.1 диссертации изложена оригинальная методика оценки характеристик случайных параметров A_1 и A_2 . Однако, не проведены исследования и нет конкретных данных по влиянию размеров элементов, на которые делится образец, на сходимость результатов исследований, нет рекомендаций по количеству или размерам элементов или участков, на которые следует делить образцы, чтобы обеспечить достаточно высокую информативность и достоверность модели ползучести (3.4).

6.4 На с. 115 величина ОН « -277 МПа» позиционируется как минимальное, а « -38 МПа» как максимальное значение, что противоречит общепринятой практике. Знаки напряжений « $+$ » и « $-$ » характеризуют действие ОН – растяжение или сжатие материала, а значение определяет величину ОН.

6.5 На рисунках 4.2 и 4.3 (с. 116 и 117) все случайные реализации релаксации напряжений в процессе ползучести при осевом растяжении имеют одинаковую величину глубины h при напряжении $\sigma = 0$. Но, как показывает практика, вместе с уменьшением величины ОН изменяется и глубина их залегания, о чём свидетельствует и осреднённая экспериментальная зависимость для ОН σ_z на рисунке 4.3 и эпюры ОН на рисунке 4.8. Деформации ползучести инициируют релаксацию ОН, в процессе которой в соответствии с условиями равновесия происходит перераспределение напряжений и их изменение не только по величине, но и по глубине распределения. Следовательно, модели ползучести (3.4) и (3.12) могут быть усовершенствованы.

6.6 В работе неоднократно отмечено, что шероховатость и выступающие микронеровности поверхности, характеризуемые величиной R_z , искажают значения и затрудняют исследования микротвёрдости материала. Поэтому для повышения достоверности результатов перед измерениями нужно было проводить локальную подготовку поверхности, например, полированием, не изменяющим состояние поверхностного слоя.

6.7 На основании результатов измерений микротвёрдости и ОН после упрочняющей обработки и последующих различных температурно-силовых воздействий, ускоряющих процессы ползучести и релаксации ОН, автор без достаточного экспериментально-теоретического обоснования сделал вывод, что причина увеличения микротвёрдости после упрочнения материала методом ППД непосредственно связана с образованием сжимающих ОН, а уменьшение микротвёрдости после термоэкспозиции объясняет релаксацией ОН. Однако, в исследовательской практике принято считать, что микротвёрдость характеризует только наклёп материала, который возникает в результате пластической деформации и может существовать независимо от наличия и величины ОН (т.е. ОН 1 рода). При внедрении индентора в материале возникают локальные пластические деформации, которые полностью устраняют ОН в прилегающей к отпечатку пластической зоне и могут существенно уменьшать влияние ОН на глубину внедрения индентора. Поэтому полагают, что повышение микротвёрдости поверхностного слоя после упрочняющей обработки объясняется наклёпом материала.

Кроме того, вызывает сомнение, что глубина внедрения индентора в

1 мкм, указанная автором на с.168 диссертации, может обеспечивать достаточную надёжность измерений микротвёрдости, т.к. её величина – 1 мкм соизмерима с глубиной поверхностных повреждений материала, возникающих при механической обработке, и существенно меньше неровностей поверхности, величина R_z и R_q которых достигает после упрочняющей обработки соответственно до 28 и 6 мкм (таблица 5.10). Поэтому проведённые автором соответствующие исследования и полученные результаты не могут служить достаточным основанием для утверждения новых причинно-следственных связей микротвёрдости и ОН. Однако в выводах Заключения они приведены не в виде гипотезы, а как утверждение нового результата. К сожалению, данная интересная гипотеза не подтверждена экспериментально, например, измерением микротвёрдости на плоских образцах, подвергаемых последовательно растяжению и сжатию при ступенчатом изменении нагрузки.

7. Заключение

Указанные выше недостатки не уменьшают значение и важность полученных автором основных результатов работы. В целом диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, который подтверждается значительным количеством публикаций, является завершённой научно-квалификационной работой на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, достаточно обоснованы, значимы для науки и практики и свидетельствуют о высокой квалификации автора. В работе установлены новые закономерности развития деформаций пластичности и ползучести, разработаны модели ползучести в виде феноменологических стохастических уравнений и методы их решения, позволяющие оценивать релаксацию остаточных напряжений под действием температурно-силовых факторов. Диссертация полностью отвечает требованиям п. 9 Положения ВАК России о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор Морозов А.П. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Д.т.н., профессор кафедры «Прикладная механика» Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьёва

Тел. +7 9108137542;
E-mail: bukaty_sa@mail.ru

 С.А. Букатый

02.10.2017 г



Малышева Ирина Сергеевна

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А.Соловьёва» ул. Пушкина, д.53, г. Рыбинск, Ярославской области, 152934
Телеграфный адрес: Рыбинск РГАТА
Телефон: (4855) 28-04-70; Факс: (4855) 21-39-64; E-mail: root@rgata.ru.