

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Захарченко Кирилла Владимировича

на тему: “Метод исследования закономерностей периодического деформирования и связанных с ними диссипативных процессов при усталости авиационных материалов” по специальности 01.02.06 “Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры” на соискание ученой степени кандидата технических наук.

### 1. Актуальность темы диссертационного исследования

Диссертационная работа Захарченко К.В. “Метод исследования закономерностей периодического деформирования и связанных с ними диссипативных процессов при усталости авиационных материалов” посвящена определению уровня максимальных напряжений, циклически приложенных к образцу, по достижению которого в материале начинается накопление необратимых деформаций, возникновение микрорельефа поверхности и разогрев поверхности образца. Отмеченные эффекты возникают, когда уровень максимальных напряжений цикла нагружения меньше предела упругости (текучести) материала. Автор связывает возникновение этих явлений с началом процессов усталостного разрушения материала. По этой причине, идея не разрушая образец, исследовать нелинейные процессы на ограниченном числе циклов нагружения и тем самым определить величину предела выносливости материала, весьма актуальна. Успешное решение такой задачи позволило бы отказаться долговременных дорогостоящих разрушающих экспериментов по определению величины предела выносливости материала.

### 2. Структура и содержание работы

Диссертационная работа “Метод исследования закономерностей периодического деформирования и связанных с ними диссипативных процессов при усталости авиационных материалов” состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемых литературных источников, включающих 200 наименований и приложения, в котором приведены копии четырех актов о внедрении результатов диссертационной работы в производство. Общий объем диссертации – 185 страниц, включая 70 рисунков, 19 таблиц.

Во введении сформулированы актуальность и новизна работы, степень разработанности темы, цели и задачи исследований, научная и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержательной части работы, представляет собой обзор научных работ, посвященных усталости материалов. Автор подробно рассмотрел историю исследования явления усталостного разрушения от начала XIX века до наших дней. Выполнил анализ критериев разрушения в процессе циклического нагружения материала, которые разделил на три большие группы: силовые, энергетические, термодинамические. Коротко рассмотрены ускоренные методы определения предела выносливости. Подробно рассмотрены модели деформируемых материалов.

Во второй главе описываются конструкционные материалы (Д16АТ, 1163, В95, В-1461, ВТ16, 40Х, Х18Н10Т, 30ХГСНА), используемые в работе, их химический состав. Приведены методики изготовления образцов: подготовка их поверхности, их термообработка. Описана аппаратура, используемая при проведении экспериментов. Излагаются методики самих экспериментов: способ определения предельных напряжений в ходе осевого циклического нагружения образца

- деформационным методом;
- по изменению температуры диссипативного разогрева.

Почему-то методика исследования изменения микрорельефа перенесена в третью главу.

В третьей главе представлены результаты определения предельных напряжений деформационным методом для образцов, изготовленных из различных материалов. Поверхность этих образцов имела различную обработку: образцы с лакирующим слоем, с частично снятым лакирующим слоем, без лакирующего слоя; образцы с поверхностным пластически деформированным слоем различной толщины, поверхностным слоем модифицированным методом холодного динамического напыления или методом микродугового оксидирования. Стальные образцы подвергались разным способам термообработки. Подготовленные образцы нагружались осевой циклической нагрузкой (с коэффициентом асимметрии  $R=0$  или  $R=-1$  или  $R=\infty$ ), уровень которой изменялся ступенчато. На каждой ступени выполнялось 100 циклов нагружения и аппаратным способом фиксировались значения про-



дольной  $\varepsilon_x$  и поперечной  $\varepsilon_y$  деформации при максимальном и минимальном уровне внешней нагрузки. Поскольку образец деформировался в линейной области, величина деформации  $\varepsilon_x$  на каждой ступени не изменялась, а при росте внешней нагрузки увеличивалась по линейному закону. А вот деформация  $\varepsilon_y$ , начиная с некоторого значения уровня внешней нагрузки, на очередной ступени нагружения в процессе циклического нагружения начинала изменяться. Это изменение фиксировалось. После чего величина максимального значения цикла нагружения объявлялось предельным напряжением, которые связаны с началом усталостных повреждений в материале. В той же главе излагалась методика и приведены результаты экспериментов по наблюдению за изменением шероховатости поверхности в процессе циклического нагружения образца нагрузками выше предельных, найденных другими способами. Определение уровня предельных напряжений по изменению микрорельефа в работе приведено лишь для стали 40Х. уровень предельных напряжений определен из условия, что шероховатость поверхности возросла в 7 раз.

Четвертая глава посвящена применению тепловизионной техники для определения величины предельных напряжений. Общий подход к нахождению уровня предельного напряжения был аналогичным тому, что изложен в третьей главе применительно к деформационному методу. Подготовленный к тепловизионным измерениям образец подвергался циклическому нагружению со ступенчатой возрастающей амплитудой. В процессе эксперимента на каждой ступени при помощи тепловизора фиксировалось изменение температуры поверхности образца. По мнению автора диссертационной работы после того, как изменение температуры поверхности становится больше  $0,2^\circ\text{C}$  в материале образца возникают диссипативные процессы, которые связаны с процессами возникновения и накопления усталостных повреждений. Приведены примеры определения величин предельных напряжений. Утверждается, что эти значения совпадают с аналогичными величинами, полученными деформационным методом в третьей главе. В завершении главы и всей работы в целом построена диаграмма Смита по методике, изложенной во второй главе. Автор утверждает, что построить эту диаграмму можно минимально за 15 минут. И это в корне отличается от стандартных разрушающих испытаний, которые для достижения такого же результата могут во времени занимать месяцы и годы. Кроме того, по полученным данным были построены диаграммы Хэя для

различных материалов. Отмечается, что они качественно похожи на аналогичные диаграммы, приведенные в литературных источниках и построенные по стандартной процедуре.

### 3. Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов.

Деформационный способ определения предельных напряжений, безусловно, обладает признаками новизны. Однако в диссертационной работе не обоснованы следующие позиции, лежащие в основе этого способа.

1. Способ предполагает, что в процессе ступенчатого увеличения амплитуды цикла нагружения, на каждой ступени выполняется 100 циклов. Почему выбрано это число, абсолютно не объяснено и не понятно.

2. Для всех материалов установлено одно значение числа циклов на каждой ступени: 100. Но разные материалы обладают разными пластическими свойствами. Следовательно, процессы “повреждаемости” материала в ходе циклического нагружения могут происходить по-разному. Можно предположить, чтобы определить предел выносливости, например, на базе  $10^7$  для одного материала необходимо делать выдержку на ступени 100 циклов, для другого 200 или 75 и т.п. Это обстоятельство не исследовалось в диссертационной работе.

Новизна способа измерения уровня предельных напряжений по измерению температуры диссипативного разогрева связана, с тем, что на упругой стадии деформирования материала фиксируется увеличение средней температуры поверхности образца за цикл нагружения на  $0,2^\circ\text{C}$  и это связывается с началом процесса усталостного разрушения. При этом в диссертационной работе не обосновано, почему выбрано именно это число.

Далее, возникает вопрос о новизне результатов диссертационной работы и насколько причастен её автор к этим результатам. В журнале “Прикладная механика и техническая физика” в 2010 году была опубликована статья В.И. Капустина, В.П. Гилеты, А.Е. Терешина [121 из текста диссертации]. Следует отметить тот факт, что на защиту выставлены “диаграммы предельных НДС в координатах Хэя и Смита, полученные ускоренным неразрушающим способом, определяющие связь



амплитуды и средней составляющей цикла напряжений с усталостью”, выглядящие так же, как в статье Капустина В.М., Гилеты В.П., Терешина А.Е.

Автору в своей дальнейшей работе следует обратить внимание на обоснованность исходных положений.

#### 4. Значимость результатов для науки и производства

Безусловно, разработка методов ускоренного определения пределов выносливости, которые бы обладали необходимой точностью, при минимальных временных и финансовых затратах весьма перспективна. Недорогие, простые по исполнению, непродолжительные во времени методики определения пределов выносливости могли быть внедрены в заводских лабораториях для экспресс диагностики и входного контроля поступающего сырья. Интересна также возможность применение такого рода методик для определения остаточного ресурса в организациях, эксплуатирующих машины, механизмы и строительные конструкции.

#### 5. Недостатки в диссертации и автореферате

К недостаткам в диссертационной работе следует отнести следующие позиции.

1. Работа не вычитана. Она изобилует множеством досадных опечаток, постоянно встречаются предложения не согласованные по падежам или в которых пропущены слова и словосочетания. Вот только несколько примеров. Стр. 46: “Если в систему ... поступает большой поток отрицательной энергии...” (*должно быть: энтропии – прим. оппонента*). Стр. 120: “При этих напряжениях наблюдается бимодальный закон распределения разрушения и смена механизма деформирования, который в данной работе определяется методом, описанным в подразделе 5.2.1” (*приведена ссылка на подраздел пятой главы, которая отсутствует в данной работе – прим. оппонента*). Стр. 148, 149, 150: показаны графики, по оси ординат которых представлены величины измеренных в эксперименте температур в градусах Кельвина, значения которых равны нулю или даже отрицательны (*правильно: не температура, а изменение температуры – прим. оппонента*). Такого сорта грубые промахи в изобилии разбросаны по тексту, они без труда могли быть исправлены при повторном прочтении работы.

Кроме этого, следует отметить небрежности в оформлении работы. На многих рисунках подрисуночная надпись не в полной мере описывают рисунок (рис. 2.2.4; 2.4.1; 3.3.3 и т.д.), не все кривые на рисунках обозначены (рис. 3.1.3; 4.2.3 и др.). Одной буквой обозначены разные величины, например:  $G$  – число имеющихся плоскостей скольжения (стр. 39),  $G$  – модуль упругости второго рода (стр. 43). По-разному обозначаются одни и те же величины: коэффициент асимметрии цикла напряжений  $R_\sigma$  (стр. 25) и  $R$  (стр. 153); условный предел текучести:  $\sigma_T$  (стр. 113) и  $\sigma_{0,2}$  (рис. 4.2.1). И т.д.

2. Первая глава диссертации посвящена обзору, который составляет 37% содержательной части работы. Излишне подробно рассмотрены история изучения процессов усталостного разрушения от начала XIX века и способы моделирования материала (упругие модели, реологические модели и т.п.). Большая часть обзора посвящена критериям разрушения материала при усталости, которая, по-видимому, могла быть и короче. И только небольшая часть (четыре страницы) обзора описывает то, чему посвящена диссертационная работа: ускоренным методам определения пределов выносливости. Отсутствует критический анализ: не описано, в чем достоинства и недостатки существующих методов. По какой причине необходимо продолжать исследования в этом направлении. Какое место среди существующих методов занимает представленная к защите работа.

3. К защите представлен “Метод исследования закономерностей периодического деформирования и связанных с ними диссипативных процессов при усталости авиационных материалов”. Из текста диссертационной работы следует, что производятся измерения различных величин: деформаций, шероховатости поверхности, температуры поверхности образца. По результатам экспериментов определяется одна величина – предельные напряжения, которую можно трактовать как предел выносливости (в конце работы представлена таблица, где сравниваются полученные значения предельных напряжений с табличными значениями пределов выносливости). Таким образом, к защите представлен метод измерения некоторых механических характеристик, а метрология метода отсутствует полностью. Отсутствует статистический анализ, который занимает существенное место при обработке классического усталостного эксперимента. Какова погрешность полученных величин? Сколько образцов нужно испытать, чтобы получить величины с инженер-



ной точностью? Каковы границы применимости метода? Эти вопросы не освещены в диссертационной работе.

4. Представлен метод, в состав которого входят три способа определения предельных напряжений. Логично было бы предположить, что эти способы либо дополняют друг друга, когда данные, полученные одним способом, используются в другом. Либо данные, полученные одним способом, уточняют данные, полученные другим способом. В результате формируемая на выходе итоговая информация более достоверна и конкурентна по сравнению с традиционными существующими методами. В рассматриваемой работе эти три способа не связаны друг с другом. Способ изучения изменения поверхности вообще стоит особняком. Каким образом определить предельные напряжения этим способом в диссертационной работе не представлено и, по сути, он представлен как иллюстрация того, что так тоже можно что-то делать. Автор ограничился только сравнением величин предельных напряжений, полученных деформационным способом и по диссипативному разогреву, для некоторых материалов.

5. Совершенно не исследован механизм возникновения необратимых поперечных деформаций. Вызывает удивление, почему при циклическом нагружении при постоянной амплитуде цикла нагружения происходит изменение поперечной деформации, в то время как продольная деформация не изменяется. Если бы это были фазовые превращения или “разрыхление” материала, то, наиболее вероятно, эти эффекты в равной степени должны влиять на изменение деформаций по всем направлениям. Еще большее удивление вызывает анализ деформирования образца при отнулевом сжимающем цикле. На рис. 3.1.3 представлен процесс изменения деформаций при таком циклическом нагружении. Видно, что при некотором уровне внешней нагрузки деформации вдоль и поперек действия сжимающих напряжений имеют отрицательный знак. То есть размеры образца по всем направлениям уменьшаются, то есть происходит уплотнение материала. И чем больше уровень внешней нагрузки, тем в большей степени проявляется этот эффект.

#### 6. Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Содержание диссертационной работы Захарченко Кирилла Владимировича на тему: “Метод исследования закономерностей периодического деформирования

и связанных с ними диссипативных процессов при усталости авиационных материалов” соответствует паспорту специальности 01.02.06 “Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры” в части пункта три области исследований: “Механика материалов и конструкционная прочность”.

#### 7. Соответствие автореферата содержанию диссертации

Содержание автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

#### 8. Заключение

Диссертация К.В. Захарченко представляет собой завершенное научное исследование, посвященное изучению процессов возникновения усталостных повреждений в различных материалах, подвергнутых различным видам обработки поверхности. Выполнен большой объем экспериментальных исследований. Результаты получили интересную трактовку и были подтверждены данными, ранее полученными другими авторами с использованием других методик.

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа Кирилла Владимировича Захарченко “Метод исследования закономерностей периодического деформирования и связанных с ними диссипативных процессов при усталости авиационных материалов” соответствует требованиям пп. 9, 10 “Положения о порядке присуждения ученых степеней” (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени кандидата наук, а ее автор Захарченко Кирилл Владимирович достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 “Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры”.

Официальный оппонент  
Александр Петрович Шабанов,  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедрой «Строительная механика»  
Сибирского государственного университета путей сообщения,

Новосибирск, 5 октября 2018 г.





Подлинность подписи Шабанова А.П. заверяю.  
Начальник отдела делопроизводства

Москвина Т.М.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный университет путей сообщения».

630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191.

Тел.: (383) 328-04-45.

e-mail: shabanov@211.ru