

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Ломакина Евгения Викторовича на диссертацию Сайтовой Регины Ринатовны на тему «Высокотемпературная ползучесть и охрупчивание материалов в условиях длительной эксплуатации», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа Сайтовой Р.Р. посвящена исследованию изменения механических характеристик конструкционных материалов в условиях ползучести под действием механических нагрузок и высокой температуры, сопровождающихся изменениями структуры материала, ростом поврежденности, снижением характеристик пластичности, длительной прочности и других свойств. Теоретическое и экспериментальное исследование высокотемпературной ползучести с учетом поврежденности материалов и определением характеристик длительной прочности металлических сплавов проводилось с использованием подхода, в котором в качестве интегральной меры поврежденности рассматривалось относительное изменение плотности материала в процессе ползучести при выполнении уравнения сохранения массы. Сформулирована модифицированная связанная система кинетических уравнений для деформации ползучести и относительной плотности материала, получены соответствующие приближенные и точные решения данной системы уравнений для разных условий одноосного нагружения и проведено сопоставление с результатами экспериментальных исследований.

Актуальность представленных в диссертации результатов определяется необходимостью исследования закономерностей протекания рассматриваемых процессов и учет их при формулировке критериев длительной прочности, что представляет собой важную проблему, решение которой способствует наиболее достоверному прогнозированию механического поведения материалов и конструкций в условиях силовых и температурных воздействий. В качестве объекта экспериментальных исследований автор выбрала алюминиевый сплав, находящий широкое применение в различных элементах техники, эксплуатирующихся в условиях длительного нагружения и переменного поля температуры.

Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение и список литературы из 147 наименований. Общий объем диссертации составляет 108 страниц, в том числе 32 рисунка.

В первой главе представлен обзор результатов исследований многих авторов, проведен анализ различных подходов, методов и мер поврежденности для описания процессов ползучести с учетом накопления повреждений в материалах, а также обоснована возможность использования в качестве параметра поврежденности величину относительной плотности материала.

Во второй главе рассмотрена система кинетических уравнений для скорости деформации ползучести и скорости накопления поврежденности материала в условиях ползучести при одноосном растяжении образца, из которого получено одно дифференциальное уравнение для параметра поврежденности как функции продольной деформации, а также найдено его точное решение и рассмотрены частные приближения для условий чисто хрупкого разрушения и малых деформаций. Продемонстрировано вполне удовлетворительное соответствие между теоретическими диаграммами ползучести и результатами

экспериментальных исследований разных сплавов, а также диаграммами длительной прочности.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований в условиях одноосного растяжения образцов алюминиевого сплава АМг2 при температуре 250°C и ступенчатом изменении напряжения. Проведен теоретический анализ диаграмм ползучести при переменном напряжении на основе рассмотренных кинетических уравнений для скорости деформации ползучести и скорости эволюции параметра поврежденности и продемонстрировано соответствие между теоретическими расчетами и результатами экспериментальных исследований.

В четвертой главе рассмотрен вариант теории, в котором процессы ползучести и поврежденности развиваются параллельно и в первом приближении считается, что поврежденность является результатом деформации. При этом параметр поврежденности входит в кинетическое уравнение для скорости деформации ползучести, согласно закону сохранения массы, и дополнительно используются эмпирические зависимости для деформации ползучести. Использование данных уравнений позволило определить временную зависимость параметра сплошности и сформулировать соответствующий критерий длительной прочности на основе заданного предельного значения поврежденности. Продемонстрировано вполне удовлетворительное соответствие между экспериментальными диаграммами длительной прочности для разных сплавов и теоретическими зависимостями.

В диссертации предложена новая модифицированная система кинетических уравнений для деформации ползучести и параметра поврежденности, характеризуемого относительным изменением плотности материала в процессе высокотемпературной ползучести. Получены новые приближенные и точные решения этих уравнений, исследованы свойства полученных решений, изучен характер изменения плотности и сформулированы различные варианты критериев длительной прочности, нашедшие подтверждение в результатах экспериментальных исследований.

Достоверность полученных в диссертации результатов определяется выбором адекватных, логически обоснованных моделей механики деформируемого твердого тела, применением строгого математического аппарата, сравнением полученных решений с результатами исследований других авторов и качественным соответствием с наблюдаемыми в экспериментах зависимостями, полученными с использованием апробированных методик.

Практическая значимость работы связана с возможностью использования полученных результатов при прогнозировании поведения материалов и конструкций в условиях высокой температуры, а также для определения значений характеристик длительной прочности. Результаты работы могут быть использованы в Московском авиационном институте, Институте машиноведения и металлургии ДВО РАН, Институте машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева.

В качестве замечаний следует отметить, что в работе рассмотрен только процесс накопления повреждений в условиях одноосного растяжения с использованием одномерных уравнений и сравнение расчетных зависимостей и экспериментальных

диаграмм проведено для этих условий. В большинстве элементов конструкций реализуется сложное напряженное состояние и характер изменения поврежденности в сплавах в условиях высокотемпературной ползучести зависит от вида силовых нагрузок. Возможности распространения подхода на общий трехмерный случай в диссертации не обсуждены.

Отсутствует описание технического способа мгновенного приложения напряжения в начальный момент испытания на ползучесть и последующего мгновенного изменения напряжения в процессе испытания. Указано только, что испытательная установка позволяет это осуществлять, но даже в динамических испытаниях нагружение происходит с конечной скоростью, но не мгновенно.

На странице 64 приведен Рис. 19, на котором изображены диаграммы зависимости параметра поврежденности от времени ползучести, полученные с использованием разных кинетических уравнений, при этом отсутствуют какие-либо комментарии относительно приведенных диаграмм.

Данные замечания не являются препятствием к вынесению положительной оценки работы в целом, которая представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне и которую можно квалифицировать как решение важной научной проблемы.

Основные результаты отражены в 19 публикациях, 4 из которых в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science и рекомендованы ВАК РФ, обсуждались на научных семинарах и докладывались на конференциях и симпозиумах.

Диссертация Саитовой Регины Ринатовны на тему: «Высокотемпературная ползучесть и охрупчивание материалов в условиях длительной эксплуатации» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Саитова Регина Ринатовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета
Доктор физико-математических наук, профессор,
член-корреспондент РАН,
заведующий кафедрой теории пластичности,
Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова



Ломакин Е.В.

12.09.2023

Подпись члена-корреспондента РАН Ломакина Е.В. заверяю

Декан механико-математического факультета МГУ
имени М.В. Ломоносова, член-корреспондент РАН



А.И. Шафаревич