

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ И ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ НЕУПРОЧНЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ ПО ИЗДЕЛИЮ-ЛИДЕРУ

Радченко В.П., Афанасьева Е.А.

Самарский государственный технический университет, г. Самара, afanasieva.ea@samgtu.ru

*Ключевые слова:* ползучесть, длительная прочность, вязкое разрушение, прогнозирование, образец-лидер.

Актуальной проблемой при проектировании объектов в авиадвигателестроении, энергомашиностроении и других областях промышленности является прогнозирование неупругой деформации и длительной прочности материалов в условиях ползучести. В основном исследования в этой области направлены на разработку феноменологических моделей поведения материала – уравнений состояния реологического деформирования и длительной прочности – и требуют большого объема экспериментальных исследований. Основные достижения в данном направлении изложены в монографии А.М. Локощенко [1].

В настоящей работе разработан метод прогнозирования деформации ползучести и длительной прочности, который основан на информации о поведении ранее испытанного образца (образец-лидер) в условиях вязкого механизма разрушения. Вводится гипотеза, что при отсутствии мгновенно-пластической деформации и первой стадии ползучести, если известна кривая ползучести образца-лидера при некотором напряжении и время его разрушения, то для определения кривой ползучести при других напряжениях достаточно знать лишь начальную скорость деформации образцов при этих значениях напряжений.

Исходя из вязкого механизма разрушения, теоретически получено соотношение для времени достижения обеими реализациями при напряжениях  $\sigma_1$  (для образца прототипа) и  $\sigma_2$  (для исследуемого образца) одного и того же значения деформации ползучести  $p(\sigma, t)$

$$t(p, \sigma_2) = t(p, \sigma_1) \cdot \frac{\dot{p}_0(\sigma_1)}{\dot{p}_0(\sigma_2)}, \quad \dot{p}_0(\sigma_i) = \dot{p}(\sigma_i, 0) \quad (i = 1, 2),$$

из которого следует, что кривая ползучести исследуемого образца при номинальном напряжении  $\sigma_2$  может быть получена с помощью преобразования подобия из кривой ползучести образца-лидера при номинальном напряжении  $\sigma_1$  с коэффициентом подобия, который равен отношению начальных скоростей деформации образца прототипа и исследуемого образца  $\dot{p}_0(\sigma_1)/\dot{p}_0(\sigma_2)$ .

Для иллюстрации метода использовались экспериментальные данные деформации ползучести титанового сплава ВТ-9 при температуре 600 °С, приведенные в работе [2] и представленные на рис. 1 точками. Так как диаграммы деформирования представлены в координатах «время – удельная работа напряжений на деформациях», то формальное применение расчётного соотношения сводится к замене начальных скоростей деформации  $\dot{p}_0$  на начальные значения скорости  $\dot{A}_0$ . С целью вариативности разработанного метода для одних и тех же экспериментальных данных использовались различные реализации в качестве образца-лидера: на рис. 1, а в качестве образца-лидера был взят образец 3, а на рис. 1, б – образец 1. Относительная погрешность найденного времени до разрушения  $t^*$  для двух других

реализаций вычисляется по формуле  $\Delta = \left| \frac{t_2^* - t_1^*}{t_1^*} \right| \cdot 100\%$  и её величина составила от 1.3 до 5.1%.

Работоспособность данного метода и его апробации выполнены также для ряда материалов: коррозионно-стойкая сталь 12Х18Н10Т при температуре 850 °С и титановый сплав при температуре 600 °С при растяжении образцов, сплав Д16Т при температуре 250 °С в условиях растяжения и кручения образцов.

Таким образом, в данной работе разработан метод построения прогноза деформации ползучести и длительной прочности в условиях вязкого разрушения материала, адекватность которого подтверждена на ряде экспериментальных данных.

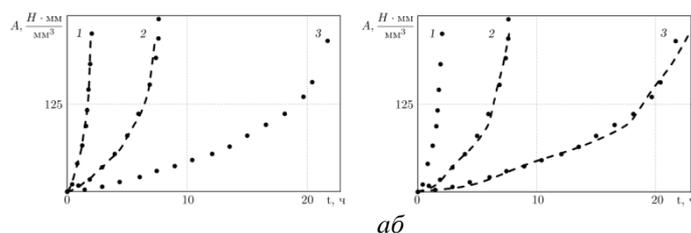


Рисунок 1 – Экспериментальные (точки) и расчётные (штриховые линии) кривые ползучести титанового сплава VT-9 при температуре 600°С, построенные по образцу-лидеру с маркером 3 (рис. 1, а) и №1 (рис. 1, б). Маркеры (номинальные напряжения): 1 – 450 МПа, 2 – 350 МПа, 3 – 250 МПа

Предложенный метод позволяет оптимальным образом спланировать технически сложные, трудоёмкие и длительные экспериментальные исследования по определению длительной прочности материалов, поскольку достаточно знать лишь стационарную кривую ползучести и время разрушения образца-лидера, а для других образцов достаточно иметь лишь начальную скорость деформации ползучести и теоретически спрогнозировать время разрушения для них.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSSE-2023-0003) в рамках государственного задания Самарского государственного технического университета.

### Список литературы

1. Локощенко А.М. Ползучесть и длительная прочность металлов. М.: Физматлит, 2016. 504 с.
2. Соснин О.В., Горев Б.В., Никитенко А.Ф. Энергетический вариант теории ползучести. Новосибирск: ИГиЛ СО АН СССР, 1986. 95 с.

### Сведения об авторах

Радченко В.П., доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» Самарского государственного технического университета. Область научных интересов: вопросы прочности элементов конструкций.

Афанасьева Е.А., аспирант кафедры «Прикладная математика и информатика» Самарского государственного технического университета. Область научных интересов: вопросы прочности элементов конструкций.

### OPTIMIZATION EXPERIMENTAL STUDIES OF CREEP AND LONG-TERM STRENGTH OF NON- HARDENING MATERIALS ACCORDING A LEADER SAMPLE

Radchenko V.P., Afanaseva E.A.

Samara State Technical University, Samara, Russia, afanasieva.ea@samgtu.ru

*Keywords: creep, long-term strength, viscous fracture, prediction, leader sample.*

A method has been developed for predicting the creep and long-term strength of materials based on information about the behavior of a pre-tested specimen; under loading, the first stage of creep is absent. It is shown that to obtain a diagram of rheological deformation and long-term strength of the material, it is sufficient to know only the initial creep strain rate. The method was tested for experimental data on the creep of titanium alloy VT-9 at a temperature of 600°С and various stresses.