

УДК 620.169.1

## ПОЛЗУЧЕСТЬ И ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ УГЛЕПЛАСТИКОВ И ОРГАНОПЛАСТИКОВ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

© 2014 Р.В. Ромашов, С.Н. Горелов

Оренбургский государственный университет

Поступила в редакцию 10.09.2014

В статье приведены результаты экспериментальных исследований ползучести и длительной прочности плоских образцов из углепластиков и органопластиков при одноосном растяжении при комнатной температуре. Получены коэффициенты уравнения, позволяющего прогнозировать долговечность органопластиков при низких напряжениях на сроки 5, 10, 15 лет эксплуатации конструкции.

Ключевые слова: *ползучесть, длительная прочность, органопластик, одноосное растяжение, прогнозирование, долговечность*

На анизотропные композиционные материалы трудно переносить известные теории, разработанные для однородных материалов. Экспериментальные исследования поведения материалов проще производить при простых напряженных состояниях. Однако характеристики ползучести и длительной прочности, соответствующие простым деформациям, могут являться отправными величинами, базируясь на которые можно оценивать прочность конструкций, работающих в условиях сложного напряженного состояния.

В настоящей работе приводятся некоторые результаты экспериментальных исследований ползучести и длительной прочности плоских образцов из углепластиков и органопластиков при одноосном растяжении при комнатной температуре. Образцы из углепластика (ЛУП + ЭНФБ) имели различные схемы армирования: угол армирования составлял от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Предел прочности (разрушающее напряжение  $\sigma_0$ ) при статических испытаниях тем больше, чем меньше угол армирования: при угле  $\varphi=0^\circ$   $\sigma_0=740$  МПа, при  $\varphi=45^\circ$   $\sigma_0=170$  МПа, при  $\varphi=90^\circ$   $\sigma_0=2$  МПа и др. Плоские образцы из органопластика вырезались из однонаправленных плит (угол армирования  $\varphi=0^\circ$ ). Исходные материалы – органожгут «Армос» и связующее УП-2217. Выборочное среднее значение предела прочности составило  $\sigma_0=1790$  МПа. Испытания на ползучесть и длительную прочность проводились по программе, согласованной с представителем

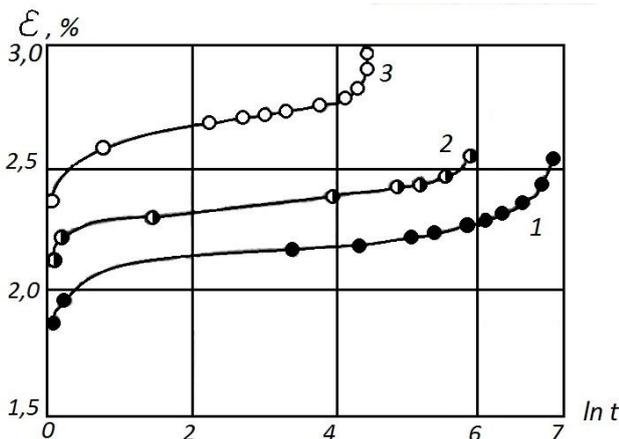
заказчика работы – НПО «Композит».

Образцы подвергались длительному воздействию нагрузок при уровнях растягивающих напряжений от  $0,1 \sigma_0$  до  $0,9 \sigma_0$ . При малых напряжениях ( $0,1 \sigma_0$  и  $0,2 \sigma_0$ ) испытания проведены на установках с нагружением образцов весом подвешенных грузов. Известно [1], что такой метод поддержания требуемой нагрузки в течение длительного времени (недели или месяцы) обеспечивает наибольшую точность. При высоких напряжениях (от  $0,5 \sigma_0$  и выше) испытания выполнены на установках с дифференциальным рычажным нагружающим устройством с передаточным отношением 1:100 и точностью поддержания нагрузки 1%. Продольная деформация рабочей части образцов измерялась на базе 70 мм с помощью катетометра КМ-8 с точностью измерений  $\pm 0,02$  мм.

При малых напряжениях ( $0,1 \sigma_0$  и  $0,2 \sigma_0$ ), когда разрушение образцов маловероятно, целесообразно проводить испытания до полного прекращения роста деформации, т.е. до наступления равновесного состояния на второй стадии ползучести. Поэтому при указанных уровнях напряжений образцы не доводились до разрушения, несмотря на большую продолжительность испытаний – свыше 1-2 лет. Для определения влияния малоинтенсивных длительных нагрузок на прочностные свойства 10 образцов из органопластика, испытанных при  $0,1 \sigma_0$  и  $0,2 \sigma_0$ , после снятия длительной нагрузки были испытаны на статическое растяжение до разрушения. Среднее значение разрушающего напряжения составило  $\sigma_0=1510$  МПа, т.е. по сравнению с вышеуказанным начальным значением  $\sigma_0=1790$  МПа оно уменьшилось примерно на 15%.

*Ромашов Роберт Васильевич, кандидат технических наук, профессор. E-mail: sopromosu@rambler.ru*  
*Горелов Станислав Николаевич, кандидат технических наук, доцент. E-mail: stgorelov@yandex.ru*

При высоких напряжениях (от  $0,7 \sigma_0$  и выше) образцы доводились до разрушения. При этом время до разрушения изменялось от нескольких часов при  $0,9 \sigma_0$  до восьми месяцев и выше при  $0,7 \sigma_0$ . Наибольшая продолжительность опыта составила 260 суток. На рис. 1 показаны типовые кривые ползучести органоластика при высоких уровнях напряжений, представленные в полулогарифмических координатах. На кривых ползучести наблюдается три характерные стадии. Однако при напряжениях  $0,7 \sigma_0$  и  $0,8 \sigma_0$  для некоторых образцов из партии не удалось четко зафиксировать третью стадию – стадию разрушения материала. Это объясняется тем, что при указанных напряжениях испытания до разрушения продолжают в течение нескольких недель или месяцев, и время между замерами деформаций может оказаться больше продолжительности третьей стадии. Отсутствие ярко выраженного третьего участка ползучести, по данным работы [2], уменьшает вероятность отклонения опытных данных от аппроксимирующих уравнений при больших временах.



**Рис. 1.** Типовые кривые ползучести образцов органоластика, доведенных до разрушения (время  $t$  в сутках) при напряжениях  $0,7 \sigma_0$  (1),  $0,8 \sigma_0$  (2) и  $0,9 \sigma_0$  (3)

Кривые ползучести перестраивались в изохронные кривые ползучести – зависимости напряжения от деформации для каждого фиксированного момента времени [3]. С помощью изохронных кривых легко определяются напряжения и деформации для заданного значения времени, что необходимо знать при расчетах деталей на прочность и жесткость с учетом ползучести.

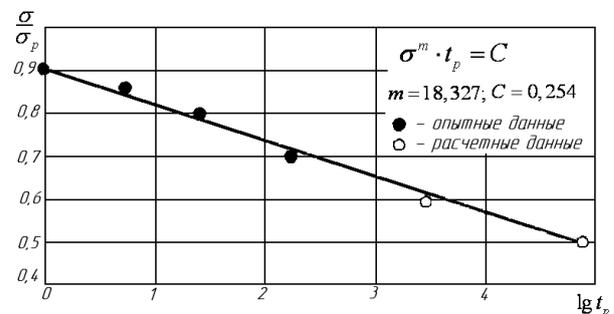
Для оценки длительной прочности композиционных материалов предложены различные эмпирические зависимости между напряжением

и временем до разрушения (степенная, экспоненциальная, уравнение Ларсена-Миллера и др.), однако надежные методы экстраполяции отсутствуют. В связи с этим часто исследователи идут по пути использования более простых эмпирических зависимостей. В данной работе для аппроксимации кривых длительной прочности (рисунок 2), выражающих зависимость времени до разрушения  $t_0$  от напряжений, удобно использовано уравнение вида [4]:

$$\sigma^m \cdot t_p = C$$

где  $m$ ,  $C$  – параметры (константы) материала. В частности, для металлов параметр  $m$  обычно лежит в пределах  $m=4 \dots 16$  [4]. Параметры  $m$  и  $C$  можно определить по результатам испытаний на длительную прочность при любых двух уровнях напряжений, желательно отстоящих друг от друга на большую величину.

**Выводы:** для органоластика получены значения  $m=18,327$  и  $C=0,254$ . Зная  $m$  и  $C$ , можно прогнозировать долговечность при низких напряжениях, что важно с точки зрения возможной продолжительности эксплуатации конструкций: 5, 10, 15 лет и др. Провести эксперименты на такой большой временной базе практически не представляется возможным из-за их высокой трудоемкости и продолжительности.



**Рис. 2.** Кривая длительной прочности для однонаправленного органоластика (время  $t_0$  в сутках)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Испытательная техника. Справочник. Книга 2. Под ред. В.В. Клюева – М.: Машиностроение, 1982. 560 с.
2. Немец, Я. Прочность пластмасс / Я. Немец, С.В. Серенсен, В.С. Стреляев. – М.: Машиностроение, 1970. 336 с.
3. Малинин, Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. 400 с.
4. Биргер, И.А. Сопротивление материалов / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов. – М.: Наука, 1986. 560 с.

## **CREEP AND RUPTURE LIFE OF CARBON AND ORGANIC PLASTICS AT STRETCHING**

© 2014 R.V. Romashov, S.N. Gorelov

Orenburg State University

In article the results of experimental researches of creep and rupture life of flat samples from carbon and organic plastics at monoaxial stretching at the room temperature are given. Coefficients of the equation, allowing to predict durability of organic plastic at low tension for the terms of 5, 10, 15 years of construction operation are received.

Key words: *creep, rupture life, organic plastic, monoaxial stretching, forecasting, durability*

---

*Albert Romashov, Candidate of Technical Sciences, Professor.  
E-mail: [sopromosu@rambler.ru](mailto:sopromosu@rambler.ru)  
Stanislav Gorelov, Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor. E-mail: [stgorelov@yandex.ru](mailto:stgorelov@yandex.ru)*