

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ ОРГАНОПЛАСТИКА ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ

МАРТИРОСЯН М. М.

Исследованиями [1; 2; 3] установлено, что органопластик независимо от ориентации волокон склонен к ползучести, которая в общем имеет нелинейный характер. Предлагая модели и методы, позволяющие предсказать ползучесть органопластика, авторы вместе с тем не приводят анализ зависимости между напряжениями и деформациями ползучести.

В настоящей статье приведены результаты экспериментального исследования ползучести однонаправленного органопластика в направлении волокон при одноосном растяжении в нормальных условиях температуры и влажности.

Сделана попытка анализировать зависимость между напряжением, временем и деформациями ползучести органопластика, загруженного в направлении армирующих волокон. На основании полученных результатов дано описание кривых ползучести.

Эксперименты проводились на плоских однонаправленных образцах толщиной в 2 мм, изготовленных фрезерованием из прямоугольных полосок толщиной 4 мм, шириной и длиной соответственно 15 и 300 мм. Материал был получен методом мокрой намотки органоволокна [7] на плоскую оправку с дальнейшей термообработкой. Связующее — ЭДТ-10. Толщина 2 мм выдерживалась только в рабочей зоне образца длиной 150 мм и, таким образом, сравнительно толстые участки в местах зажима обеспечивали надежное крепление и разрушение образца по рабочей зоне.

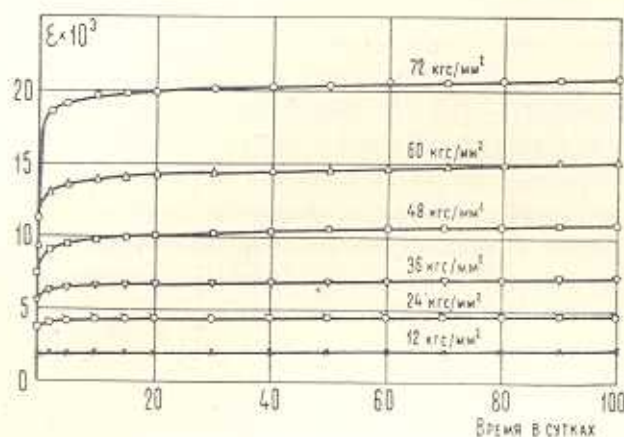
Диапазон напряжений был выбран от $0,1 \sigma_s$ до $0,6 \sigma_s$ с интервалом в $0,1 \sigma_s$, где σ_s — предел кратковременной прочности образцов, определяемый перед испытаниями на ползучесть (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика	Среднее значение	Колич. образцов	Статистическая обработка данных				
			Среднее квадрат. отклонен.	Средняя ошибка	Коэфф. вариации	Показатель точн.	Доверительный интервал при довер. вероятности 0,95
кгс/см ²	кгс/см ²	шт.	кгс/см ²	кгс/см ²	%	%	кгс/см ²
σ_s	12120	11	668	201	5,5	1,66	12120 ± 450
<i>E</i>	547000	12	23000	6628	4,2	1,20	547000 ± 14600

По каждому уровню напряжения на ползаучесть устанавливали по три зачетных образца, а кривые ползаучести строили по средним значениям зачетных наблюдений, число которых было не менее двух. Деформации измеряли механическими тензометрами часового типа МК-3. Длительность эксперимента была более ста суток.

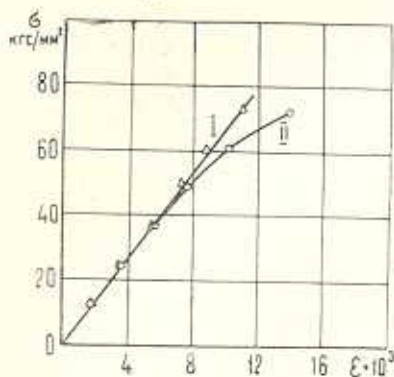
На фиг. 1 приведены кривые полных деформаций ползаучести однонаправленного органопластика.



Фиг. 1. Кривые полных деформаций ползаучести (ϵ_n) однонаправленного органопластика.

В момент нагружения в образце развиваются мгновенные деформации, характер которых зависит от величины напряжения и скорости нагружения. В наших экспериментах величина деформаций в момент нагружения, условно названных мгновенно-упругими, определялась из диаграмм σ — ϵ , полученных при растяжении со скоростью $v = 300$ мм/мин., которые затем сравнивались со значениями этих деформаций, полученных при быстрой разгрузке образцов сразу же после их полного нагружения.

На фиг. 2 приведены диаграммы σ — ϵ_n , полученные в двух случаях нагружения. Первая диаграмма получена при кратковременном растяжении со скоростью $v = 300$ мм/мин., вторая—в процессе нагружения образца постоянными нагрузками. Как видно, при низких уровнях напряжений две диаграммы полностью совпадают. С повышением уровня напряжения, когда время полного нагружения образца увеличивается, условно мгновенные деформации чувствительно растут за счет вязко-



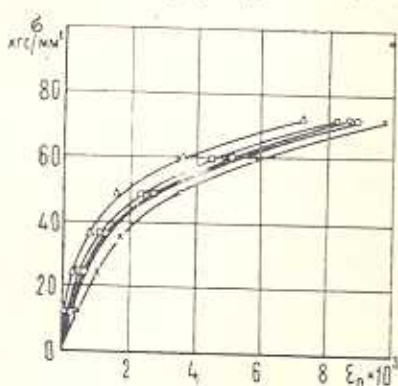
Фиг. 2. Диаграмма σ — ϵ при двух значениях скоростей нагружения образца.

упругих и остаточных деформаций. Интересно отметить, что для однонаправленного стеклопластика типа СВМ зависимость мгновенных дефор-

маций от напряжений в момент нагружения линейна вплоть до разрушения [4]. Величина условно-мгновенных деформаций, определяемая различными методами, никак не отражается на кривых полных деформаций ползучести. Однако, кривые ползучести, получаемые при различных скоростях нагружения, параллельно перемещаются по оси ϵ_c на величину разности значений мгновенных деформаций.

Исследования показывают, что величина напряжения существенно влияет на ползучесть органопластика, при этом нет прямой пропорциональности между напряжениями и деформациями ползучести. Так, если при низких уровнях ($0,1 \sigma_n$) увеличение напряжения в два раза ($0,2 \sigma_n$) приводит к изменению деформации ползучести примерно в два раза, то с повышением уровня напряжений до $0,5$ и $0,6 \sigma_n$ деформации растут более, чем в 20 и 40 раз.

На фиг. 3 в координатах $\sigma - \epsilon_c$ построены кривые зависимости напряжений от деформаций ползучести для 4-х фиксированных значений времени t . Из диаграммы видно, что эта зависимость имеет ярко выраженный нелинейный характер, который проявляется в течение всего времени ползучести. Влияние величины напряжения весьма чувствительно в первые дни ползучести, когда практически развивается основная часть деформации. Эксперименты показывают, что уже на второй день при напряжении $0,6 \sigma_n$ накапливается более 75% деформации ползучести, фиксированных на сотый день ползучести, тогда как при напряжении $0,1 \sigma_n$ — только 30%.



Фиг. 3. Зависимость деформации ползучести от напряжения: \triangle — 2 дня, \square — 10 дней, ∇ — 20 дней; \circ — 30 дней, \times — 100 дней.

Отсутствие линейной связи между напряжениями и деформациями ползучести является предвестником того, что деформации ползучести от единичного напряжения для всех уровней напряжения не имеют единого графика, и, таким образом, удельная деформация ползучести (податливость) не постоянна, а тесно связана с величиной напряжения.

С другой стороны, анализ показывает, что между кривыми нет и строгого подобия, то есть между соседними кривыми не соблюдается равенство

$$\epsilon_c(\sigma_1; t) = k \epsilon_c(\sigma_2; t) \quad (1.1)$$

где k — коэффициент подобия.

Однако, с некоторыми допущениями можно считать, что кривые при напряжениях $0,3; 0,4; 0,5$ и $0,6 \sigma_n$ подобны. Условие подобия для этих кривых в пределах принятой базы времени $t = 100$ дней соблюдается при максимальном отклонении не более 10%.

Сравнивая ползучесть однонаправленного органопластика с ползучестью однонаправленного стеклопластика типа СВМ, можно заключить,

что чувствительные деформации первого являются результатом податливости армирующих органических волокон.

Имея результаты исследования ползучести органопластика, мы задались целью дать математическое описание экспериментальных кривых.

При аппроксимации предполагается, что при постоянном напряжении имеется определенная зависимость между полной деформацией, напряжением и временем [5], то есть

$$F(\varepsilon_0; \sigma; t) = 0 \quad (1.2)$$

при этом

$$\varepsilon_n(\sigma; t) = \varepsilon_n(\sigma) + \varepsilon_e(\sigma; t) \quad (1.3)$$

Выше был описан метод определения мгновенных деформаций. Отметим еще раз, что в наших экспериментах они определялись из диаграммы

$$\sigma - \varepsilon, \text{ как } \varepsilon_n(\sigma) = \sigma/E \quad (1.4)$$

Для деформации ползучести в случае ее нелинейной зависимости от напряжения можно записать (условно принимая кривые подобными)

$$\varepsilon_e(\sigma, t) = f(\sigma) \varphi(t) \quad (1.5)$$

где $\varphi(t)$ — податливость материала (удельная деформация ползучести), которая при нелинейной ползучести является функцией, зависящей от напряжения и времени.

Принимая значение удельной деформации ползучести от напряжения $0,1\sigma_n$ за меру ползучести, определяем величину $f(\sigma)$ для нескольких фиксированных значений времени

$$f(\sigma_i) = \frac{\varepsilon_n(\sigma_i, t) 0,1\sigma_n}{\varepsilon_n(0,1\sigma_n; t)} \quad (1.6)$$

Расчеты показывают, что с увеличением длительности эксперимента кривая $f(\sigma)$ стремится к предельному значению, после которого практически перестает зависеть от времени.

Для определения вида функции была принята кривая, соответствующая $t = 30$ дней. Максимальное отклонение $f(\sigma)$ при $t = 30$ дней от кривой стодневной длительности составляет 15%. Для описания кривой принята степенная функция вида [6]

$$f(\sigma) = \alpha\sigma + \beta\sigma^n \quad (1.7)$$

где $n = 3,8$; $\beta = 0,000034$; $\alpha = 0,964257$, при этом сохранено условие

$$f(0,1\sigma_n) = 0,1\sigma_n$$

и

$$\alpha + \beta(0,1\sigma_n)^{n-1} = 1$$

Имея значения $f(\sigma)$ из расчетной формулы (1.7), с помощью (1.5) вычисляем $\varphi(t)$ при заданных напряжениях и различных моментах времени.

На фиг. 4 показана кривая $\varphi(t)$. Она построена с соблюдением условия наименьшего отклонения среднего значения от расчетных при высоких уровнях напряжений ($0,3\sigma_n$ и выше).

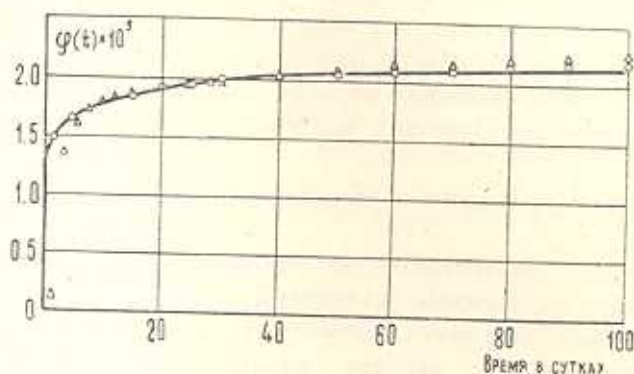
Аналитическое выражение для функции $\varphi(t)$ имеет вид

$$\varphi(t) = \varphi_0 [1 - (a_1 e^{-\gamma_1 t} + a_2 e^{-\gamma_2 t})] \quad (1.8)$$

где φ_0 — предельное значение $\varphi(t)$ при $t = \infty$; γ_1, γ_2, a_1 и a_2 — опытные постоянные.

На фиг. 4 треугольниками обозначены значения $\varphi(t)$, определенные из (1.8), когда $\varphi_0 = 3 \cdot 10^{-5}$, $\varphi_1 = 0,005$; $\gamma_2 = 0,34$; $a_1 = 0,4$; $a_2 = 0,6$.

Сравнение показывает, что формула (1.8) вполне удовлетворительно описывает функцию $\varphi(t)$.

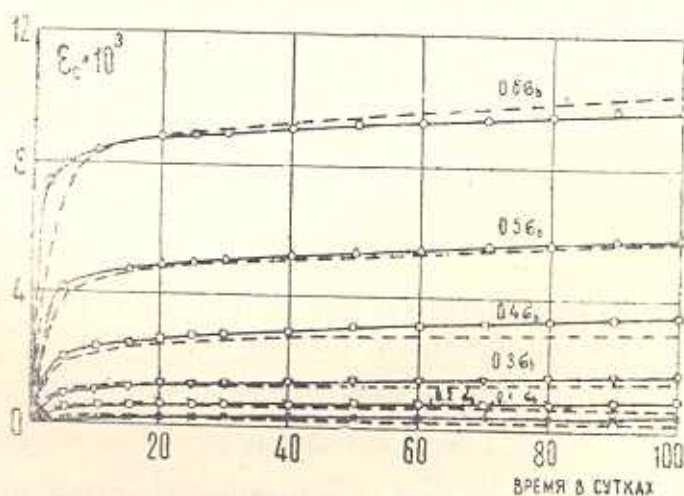


Фиг. 4. График функции времени $\varphi(t)$ для однонаправленного органо-пластика.

Подставляя значения $\dot{\epsilon}(\sigma)$ и $\varphi(t)$ в (1.5), для деформации ползучести однонаправленного органо-пластика получаем

$$\epsilon_c(\sigma, t) = 3 \cdot 10^{-5} [1 - (0,4 e^{-0,005t} + 0,6 e^{-0,34t})] \times (0,964257\sigma + 0,000034\sigma^{3,8}) \quad (1.9)$$

Насколько удачно выбрана эта зависимость можно судить, сравнивая расчетные данные с экспериментальными. На фиг. 5 пунктиром обозначены



Фиг. 5. Кривые ползучести органо-пластика: сплошные — эксперимент; пунктир — расчетные.

ны кривые, рассчитанные по формуле (1.9). Нужно заметить, что большие отклонения при малых напряжениях объясняются соответствующим выбором значений $\varphi(t)$. Отсутствие строгого подобия между кривыми при всех уровнях напряжений приводит к чувствительным отклонениям расчетных значений $\varphi(t)$ от среднего, и так как $\varphi(t)$ выбрано с расчетом лучшего описания кривых ползучести при высоких уровнях напряжений и больших значениях t , то, естественно, при малых (в основном при 0,1 и 0,2 σ_a) напряжениях и t расчетные кривые должны отклоняться от экспериментальных. Тем не менее, учитывая, что на практике обычно исследуется ползучесть при относительно высоких напряжениях и что при экстраполяции обычно рассматриваются области кривой, удаленной от начала координат, можно считать, что приведенная формула и методы ее построения вполне удовлетворительны для описания ползучести однонаправленного органо-пластика.

На основании приведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Ползучесть однонаправленного органо-пластика в направлении волокон имеет ярко выраженный нелинейный характер.
2. Для кривых ползучести органо-пластика однонаправленной структуры отсутствует строгое подобие, однако, с некоторыми допущениями можно считать, что кривые ползучести при напряжениях 0,3; 0,4; 0,5 и 0,6 σ_a подобны.
3. Для описания кривых ползучести при постоянном напряжении предложена формула (1.9), которая обеспечивает достаточную для практических целей точность.

ՕՐԳԱՆՈՊԼԱՍՏԻԿԻ ՍՈՂԲԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՄԻԱՌԱՆՅՔ
ՉԳՄԱՆ ԳԵՊԳՈՒՄ

Մ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. ի. մ.

Հոդվածում բերված է միաուղղված օրգանոպլաստիկի սողբի փորձարարական հետազոտման արդյունքները: Ելնելով ստացված արդյունքներից, փորձ է արված տալ սողբի կորերի մաթեմատիկական նկարագրումը:

Ցույց է արված հաշվարկային կորերի բավարար համընկնումը փորձարարական կորերի հետ:

THE INVESTIGATION OF ORGANO-PLASTIC CREEP
IN THE CASE OF UNIAXIAL STRESS

M. M. MARTIROSIAN

S u m m a r y

The results of experimental investigation of uniaxial organo-plastic creep are shown. From the conclusion of the obtained results, an

experiment was performed in order to give the mathematical description of creep curves.

The fair correspondance of calculated curves with the experimental curves was shown.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов Е. А. Возможности предсказания ползучести слоистого органического материала.—Механика композитных материалов, 1980, № 1.
2. Суворова Ю. В. Нелинейные эффекты при деформировании наследственных сред.—Механика полимеров, 1977, № 6, с. 976—980.
3. Соколов Е. А., Максимов Р. Д. Возможности предсказания ползучести, армированного полимерными волокнами. Механика полимеров, 1978, № 6, с. 1005—1012.
4. Андриевская Г. Д. Высокопрочные ориентированные стеклопластики. М.: Наука, 1966.
5. Гольденблат Н. И., Бажанов В. А., Копнов В. А. Длительная прочность в машиностроении. М.: Наука, 1977. 248 с.
6. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. М.: Гостехтеориздат, 1952. 323 с.
7. Сверхпрочное синтетическое волокно винилон Н. Информация ВНИИВ—Химическое волокно, 1971, № 1, с. 76.

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Ք Յ ՈՒ Ն

Բարաշանյան Կ. Հ.—Հեղուկի ոչ ստացիոնար շարժումը թափանցող պատերով խողովակներում	3
Ղափառյան Ա. Ա.—Ղեկավարվող կրիթ շարժունակության ստաթիան ունեցող ստաթական մանրաուլտասոնի հետազոտումը	12
Բանիշուկ Կ. Վ., Եվանովա Ս. Ֆու.—Կոմպոզիտ նյութերից թևերի համար ակտուալացվածությունների մի քանի օպտիմալ ստաթիկ խնդիրներ	21
Բրովկո Գ. Ա.—Պլաստիկության ընդհանուր տեսության խնդիրների դասում հաշտրդական մոտավորությունների մի մեթոդի դադարաբաշխման մասին	31
Փալադյան Փ. Մ.—Ողջանկյուն բաշխական կորվածքով շրջանային օղակի սկզբների շարժումը ու գծային սողի գեոմետրիա	44
Մարտիրոսյան Մ. Մ.—Փրզանդուլտասոնի սողի հետազոտումը միասնացր կցման դեպքում	55

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Бабаджания Г. А.—Нестационарное движение жидкости в трубах с проницаемыми стенками	3
Гукасян А. А.—Исследование управляемых движений упругого манипулятора с тремя степенями подвижности	12
Банишук Н. В., Иванова С. Ю.—Некоторые оптимальные задачи статической аэроупругости для крыльев из композитных материалов	21
Бровка Г. А.—О сходимости одного метода последовательных приближений в классе задач общей теории пластичности	31
Поладян Ф. М.—Кручение сектора кругового кольца с прямоугольным поперечным сечением при нелинейной ползучести	44
Мартиросян М. М.—Исследование ползучести органического пластика при одноосном растяжении	55