

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ПОВТОРНО-ПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ ОБРАЗЦОВ ИЗ ВЯЗКОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ

Одинокова О.А.

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

Технико-экономическая эффективность применения новых материалов в промышленности во многом зависит от того, насколько их использование соответствует задачам повышения надежности и безопасности конструкции.

Однако значительное разнообразие и изменчивость свойств полимеров требуют проведения экспресс испытаний контрольных партий, из которых предполагается выпуск изделий. Гарантированный срок службы конструкций с использованием пластмасс должен быть рассчитан на основе таких строго количественных экспериментальных данных, поэтому математическое описание процессов деформирования становится необходимым при решении практических инженерных задач.

При определении прочностного предела ползучести предложенным нами методом [1,9,10] возникает необходимость в проведении испытаний одного образца растяжением и сжатием в условиях ползучести при равных уровнях постоянного напряжения.

Однако при циклических деформациях обнаруживаются некоторые особенности свойств пластмасс, требующие специального рассмотрения.

Отличие этих испытаний от обычных кратковременных измерений заключается в невозможности нормализации образцов между последовательными нагружениями [2,3,4]. Эти выводы получили экспериментальное подтверждение в работах Г.И. Брызгалова [5] и С.С. Воюцкого [6]. Они подтвердили принцип сложения, то есть справедливость линейной теории ползучести в тех случаях, когда механическое воздействие не приводит к существенным изменениям структуры материала. Результаты таких опытов представляют в виде периодически повторяющихся деформационных кривых (рис 1).

Зависимость деформаций от напряжений можно выразить в интегральной форме. В области малых рабочих деформаций согласно линейно-наследственной теории ползучести Больцмана-Вольтерры, используем интегральное уравнение Вольтерры второго рода:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{E} \cdot \int_0^t k(t-\tau)\sigma(\tau)d\tau \quad (1)$$

где: $\sigma(t)$ и $\varepsilon(t)$ – напряжения и деформации в момент наблюдения t при одноосном напряженном состоянии;

τ - предшествующее моменту t время;

$k(t-\tau)$ – ядро, которое можно представить в виде комбинации конечного (или бесконечного) числа экспоненциальных функций:

$$k = (t-\tau) = \sum_{i=1}^n A_i \cdot e^{-\alpha_i(t-\tau)} \quad (2)$$

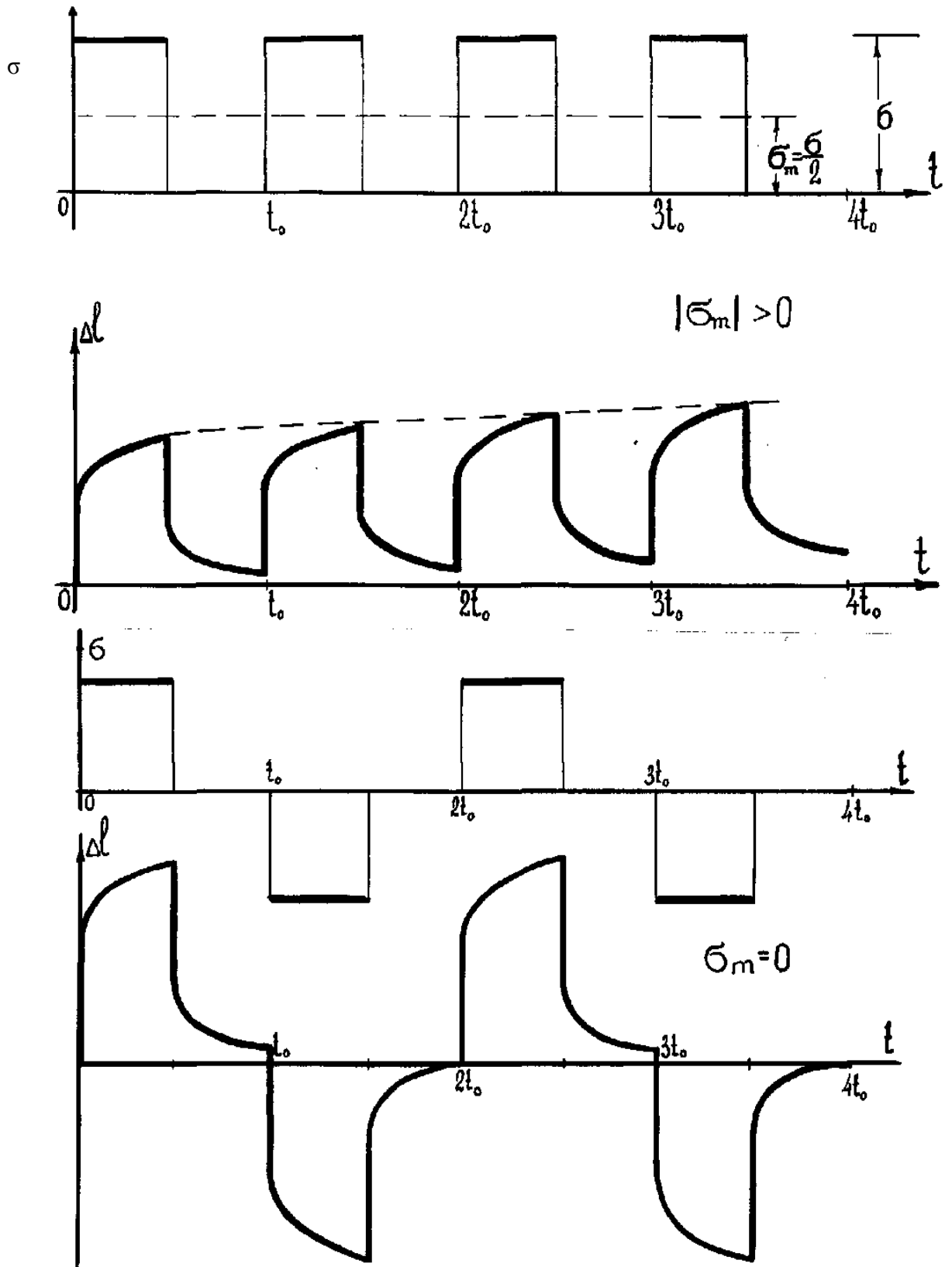


Рис. 1. Графики развития деформации при циклических нагрузках постоянным напряжением

Интегральные соотношения наследственной теории упругости с ядром в виде суммы экспоненциальных функций эквивалентны линейным дифференциальным соотношениям с постоянными коэффициентами. Но при обработке опытных данных оказывается, что такие ядра плохо подходят для описания деформационных свойств реальных поли-

мерных материалов, так как не обладают свойствами сингулярности: при $t = \tau$ они имеют конечную величину.

При постоянном напряжении $\sigma = \sigma_0$ уравнение (1) принимает вид:

$$\varepsilon(t) = \sigma_0 \cdot \left[\frac{1}{E} + \int_0^t k(t-\tau)\sigma(\tau)d\tau \right]. \quad (3)$$

В выражении (3) содержание квадратных скобок представляет собой функцию ползучести:

$$П = \frac{1}{E} + \int_0^t k(t-\tau)\sigma(\tau)d\tau,$$

которую принимаем в виде:

$$\varepsilon(t) = a + b \lg t + c \lg^2 t. \quad (4)$$

Параметры этой функции возможно определить с использованием метода равных сумм.

Механическое кондиционирование образцов при повторно-переменном нагружении

Способ многократного испытания одного образца повторяющейся нагрузкой имеет явные преимущества по сравнению со способом однократного испытания многих образцов вследствие сокращения времени на изготовление, измерение, установку образцов, экономии материалов и энергоресурсов, исключения разброса данных из-за различия свойств самих образцов. Однако при многократном нагружении образца растягивающим (или сжимающим) напряжением в образце накапливаются остаточные деформации, даже если период “отдыха” значителен. Это свидетельствует о наличии ориентационных процессов, приводящих к изменению в структуре полимерного материала и не исчезающих со снятием нагрузки.

Восстановить исходную структуру образца может либо очень длительный “отдых”, либо термостатирование. Но необходимость длительного “отдыха”, несмотря на хорошее качество восстановления исходной структуры, значительно увеличивает продолжительность испытаний, а многократное термостатирование приводит к ускоренному “старению” материала. Кроме того, частые переустановки, связанные с необходимостью помещения образца в термостат, приводят к дополнительным затратам времени и труда на монтаж и демонтаж испытательного стенда. Последние операции значительно снижают точность проводимых испытаний. Поэтому с целью сокращения времени на восстановление первоначальных размеров образца перед каждым последующим нагружением к нему прикладывают статическую нагрузку противоположного знака. Но такое нагружение - жесткое и приводит лишь к принудительному, хотя и быстрому, восстановлению исходных размеров, но не исходной структуры образца.

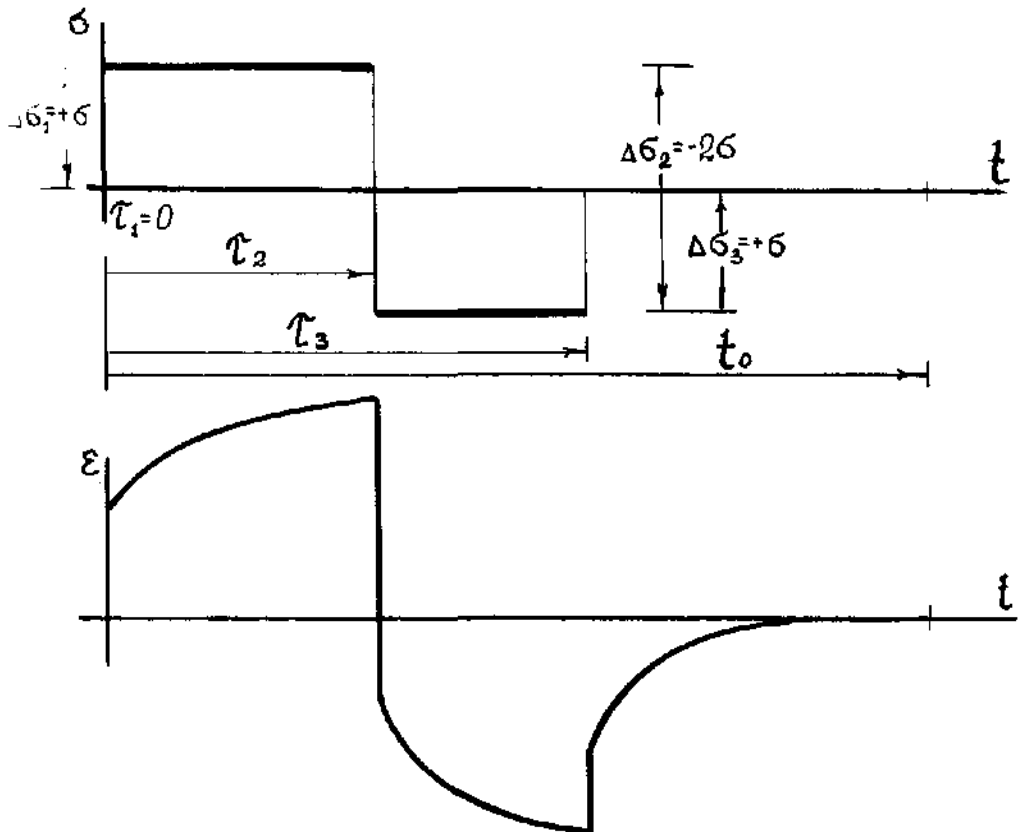


Рис. 2. Первая программа механического кондиционирования образца

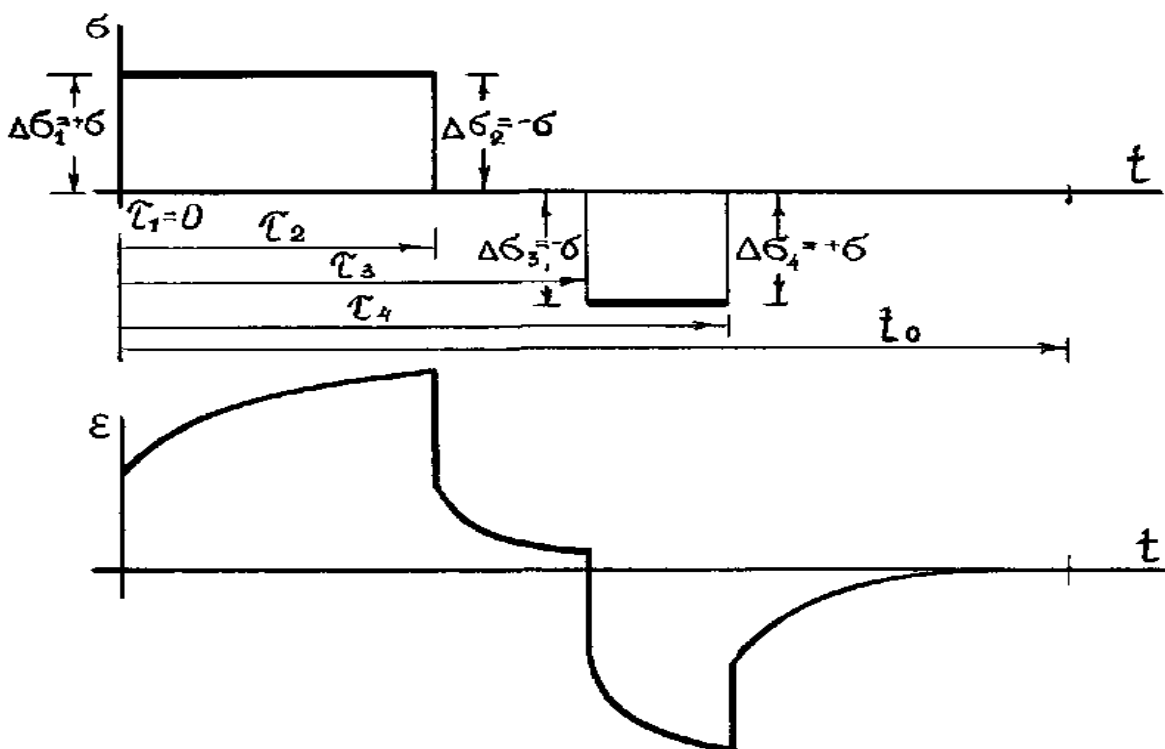


Рис. 3. Вторая программа механического кондиционирования образца

Для снижения влияния предыстории нагружения полимерного образца последующие нагружения производят при напряжениях, больших, чем предыдущие [11,12], но это вносит определенные ограничения в программу испытаний.

Нами разработан способ механического кондиционирования образцов, сочетающий положительный эффект и механического воздействия и естественного “отдыха” образца [7,8]. При этом возможны два варианта, в которых изменения напряжения подчиняются закону

$$\sigma = \sigma_0 \cdot h(t) + \sigma_0 \cdot h_1 \cdot (t - \tau_i),$$

где h – функция Хевисайда.

При $t < 0$ $h = 0$, а при $t > 0$ $h = 1$.

По первому варианту схема кондиционирования представлена на рис. 2. Нагружение образца постоянным напряжением σ_0 производят в момент времени $t=0$. Тогда τ_1 также равно нулю.

В этом случае длительность испытания определяет τ_2 , которое известно заранее. В момент $t = \tau_2$ на образец воздействует напряжение $\sigma = -2\sigma_0$. Длительность обратного нагружения определяется величиной τ_3 , которое нужно подобрать таким образом, чтобы к моменту времени $t=t_0$, большему, чем τ_3 , деформация образца стала равна нулю. При этом τ_3 определяет начало “отдыха” образца.

При $\sigma = \sigma_0 = \text{const}$ условие кондиционирования запишется следующим образом:

$$\varepsilon(t_0) = \sigma \cdot P^+(t_0 - 0) - 2\sigma \cdot P^-(t_0 - \tau_2) + \sigma \cdot P^+(t_0 - \tau_3) = 0,$$

или, сократив на величину σ , получим

$$P^+(t_0 - 0) - 2P^-(t_0 - \tau_2) + P^+(t_0 - \tau_3) = 0. \quad (5)$$

где $P^+(t_0 - \tau_i)$ и $P^-(t_0 - \tau_i)$ – функции ползучести полимера при растяжении и сжатии.

Таким образом, параметры τ_1 , τ_2 , t_0 и σ_0 заданы программой испытания, а определяемым параметром является только τ_3 , который определяет соотношение длительности действия обратного нагружения и “отдыха” образца в пределах отводимого на цикл испытания времени.

Второй вариант программы механического кондиционирования образца представлен на рисунке 3. После основного испытания постоянным напряжением $\sigma = \sigma_0$ образец получает “отдых” в момент, равный τ_2 , и при $t = \tau_3$ производят обратное нагружение образца, которое длится до $t = \tau_4$. После чего наступает повторный “отдых” образца, длительность которого в момент $t = t_0$ должна закончиться выполнением условия равенства нулю деформации образца. Следовательно

$$\varepsilon(t_0) = \sigma \cdot P^+(t_0 - 0) - \sigma \cdot P^-(t_0 - \tau_2) - \sigma \cdot P^-(t_0 - \tau_3) + \sigma \cdot P^+(t_0 - \tau_4) = 0,$$

или

$$P^+(t_0 - 0) - P^-(t_0 - \tau_2) - P^-(t_0 - \tau_3) + P^+(t_0 - \tau_4) = 0. \quad (6)$$

При заданных параметрах τ_1 , τ_2 , t_0 и $\sigma = \sigma_0$ следует найти соотношения τ_3 и τ_4 , удовлетворяющие выражению (6).

Функции ползучести $P^+(t_0 - \tau_i)$ и $P^-(t_0 - \tau_i)$ определяют по результатам опытов на ползучесть при растяжении и сжатии согласно выражению 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 890132 СССР, МКИ G 01 N 3/08. Способ определения характеристик ползучести образцов материалов / Одинокова О.А., Даниловский Ю.М. (СССР). 1981. Бюл. № 46. 2 с.
2. Глухов Е.Е. Основные понятия о конструкционных и технологических свойствах пластмасс. М.: Химия, 1970. 128 с.

3. Прокопович И.Е., Зединидзе В.А. Прикладная теория ползучести. М.: Стройиздат, 1980. 240 с.
4. Бугаков И.И. Ползучесть полимерных материалов. М.:Наука, 1973. 288 с.
5. Брызгалин Г.И. Испытания на ползучесть пластинок из стеклопластика. // Прикладная механика и техническая физика. 1965. № 1.
6. Упруго-вязкие свойства нетканых текстильных материалов / С.С.Воюцкий, В.А.Каргин, Е.Т.Устинова, М.Н.Штединг // Докл. АН СССР, 1965. Т.160. № 1.
7. А.с. 922576 СССР, МКИ G 01 N 3/00. Способ испытания материалов на ползучесть / О.А. Одинокова, А.В.Одинокоев (СССР). 1982. Бюл. № 15.2 с.
8. Одинокова О.А., Одинокоев А.В.Способ испытания полимерных материалов на ползучесть: Информ. листок № 82-51 НТД. Хабаровск, 1982.:Межотраслевой территориальный ЦНТИ и пропаганды. 3 с.
9. Odinkova O.A. Creep strength of viscoelastic materials. *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, Issue 4 (2), (November), Volume 69. "Oxford University Press", 2016. - Pages 657-693.
- 10.Odinkova O.A. Method for determining creep strength. *National science review issue 4 (2), december 2017 volume 4* "Oxford university press" 2017- Pages 1443-1449.
11. А.с. 373577 СССР, МКИ G 01 N 3/08. Способ определения механической прочности полимерного материала / Л.П.Сошина, Ф.П.Заостровский, А.М.Нудель (СССР). 1973. Бюл. № 14. 2 с.
12. Тернер С. Механические испытания пластмасс: Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1979. 176.