

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФАКУЛЬТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ползучесть материалов

Рогозин Владимир
Группа Б03-106

Цель работы:

- 1) Проверить линейность ползучести материала.
- 2) Проверить принцип суперпозиции Больцмана для линейно ползучих материалов.

Теоретические сведения:

Способность материала деформироваться под действием постоянных напряжений называется *ползучестью*.

Результаты испытаний при одноосном растяжении представляются в виде *кривых ползучести* – кривых зависимости деформации от времени.

С увеличением времени наблюдается возрастание деформации при постоянном уровне напряжений. Полная деформация образца в момент времени t' определяется суммой упругой деформации $\varepsilon^y(t_0)$ и *деформацией ползучести* $\varepsilon^п(t')$:

$$\varepsilon(t') = \varepsilon^y(t_0) + \varepsilon^п(t') = \frac{\sigma}{E} + \Pi(\sigma, t_0, t'),$$

где Π – *функция ползучести*, E – модуль Юнга.

Если увеличение деформаций ползучести пропорционально увеличению напряжений, то говорят о *линейной ползучести*, в противном случае – о *нелинейной ползучести*.

При линейной ползучести кривые, полученные при разных уровнях напряжений, оказываются подобными. Это означает, что деформация ползучести может быть найдена как произведение двух функций: одна из которых зависит только от напряжения, вторая – только от времени.

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E} + \Pi(t, t_0)\sigma.$$

В некоторых материалах наблюдаются изменения механических свойств во времени при неизменных условиях. Это явление получило условное название «старение». Деформация ползучести при «старении» зависит не только от уровня и продолжительности действия нагрузки, но и от момента её приложения (возраста материала).

Ползучесть нестареющих материалов зависит только от уровня напряжения и продолжительности его действия, и не зависит от момента приложения нагрузки.

У нестареющих материалов функция ползучести Π будет разностного типа:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E} + \Pi(t - t_0)\sigma.$$

В силу линейности задачи (если рассматривать только линейную ползучесть) для получения зависимости между переменными напряжениями и деформациями важное значение имеет *принцип суперпозиции Больцмана*. Согласно ему суммарная деформация ползучести при переменном напряжении может быть найдена как сумма деформаций ползучести, вызванных соответствующими приращениями напряжений. Величина деформации ползучести $\Delta\varepsilon^n$ зависит от величины приращения напряжений $\Delta\sigma$ и продолжительности его действия, но не зависит от величины и длительности действия других приращений.

$$\varepsilon(t_4) = \frac{\sigma(t_4)}{E} + \Pi(t_4 - t_0)\Delta\sigma_1 + \Pi(t_4 - t_1)\Delta\sigma_2 + \Pi(t_4 - t_2)\Delta\sigma_3 + \Pi(t_4 - t_3)\Delta\sigma_4.$$

Если изменение напряжения протекает по непрерывной кривой, то суммирование заменяется интегрированием

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \int_0^t \Pi(t - \tau) d\sigma(\tau),$$

где t – момент наблюдения, τ – текущее время.

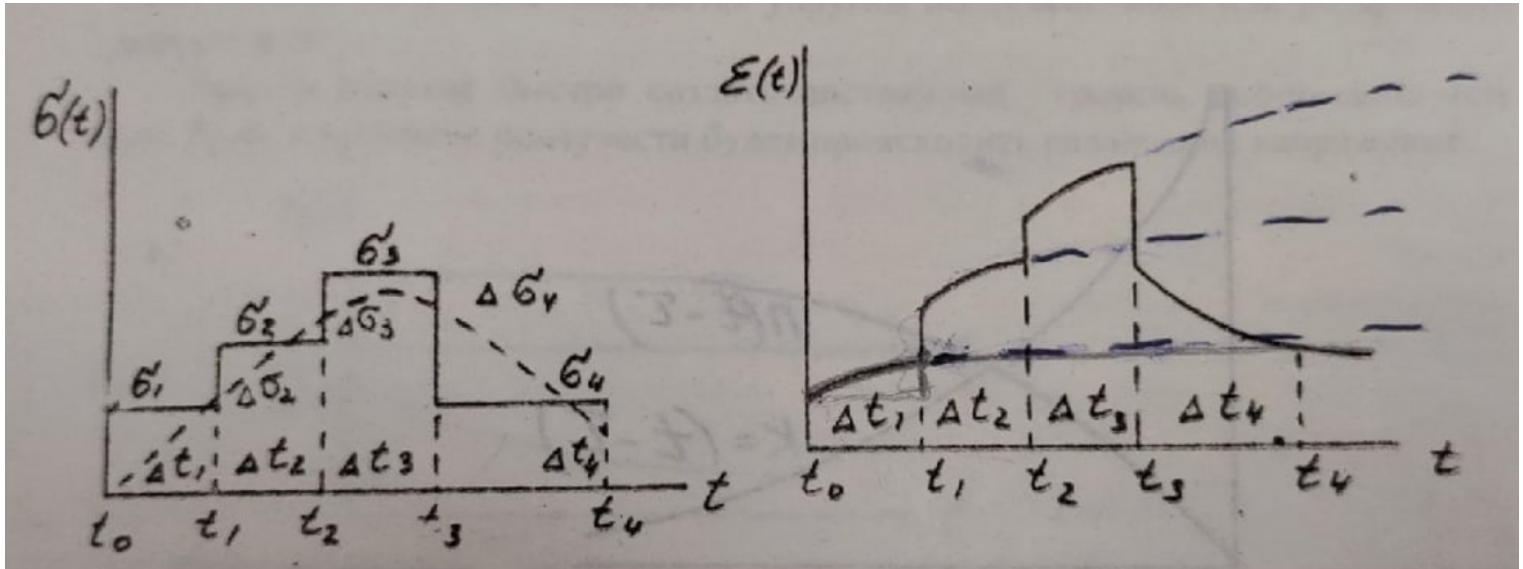


Рис. 1: Пример ступенчатого и непрерывного нагружения

Преобразуем подынтегральное выражение, для этого вычислим интеграл по частям:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \Pi(t - \tau)\sigma(\tau) \Big|_0^t - \int_0^t \frac{\partial}{\partial t} \Pi(t - \tau)\sigma(\tau) d\tau,$$

при $\tau = 0$, $\sigma(0) = 0$; при $\tau = t$, $\Pi(t - \tau) = 0$, откуда получаем

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

где $k(t - \tau) = -\partial \Pi(t - \tau) / \partial t$ – *ядро ползучести* или *функция влияния*.

В простейшем случае, функцию ползучести можно представить выражением

$$\Pi(t - \tau) = A - A \exp\{-\alpha(t - \tau)\}.$$

В данной работе будем использовать немного другое выражение для функции ползучести, а именно

$$\Pi(t - \tau) = A - B \exp\{-\alpha(t - \tau) - C \exp\{-\beta(t - \tau)\}\},$$

причём стоит заметить, что $A = B + C$, так как $\Pi(0) = 0$.

Обработка данных: Параметры установки: $b = 19,6$ мм, $d = 5,6$ мм, $S = b \cdot d$; $l_0 = 50$ мм. Будем снимать зависимость удлинения от времени в течение 20-ти минут. После первых 10-ти минут увеличим силу примерно в два раза. Результаты измерений представлены в таблице ниже. По данным из таблицы построим графики зависимости деформации и напряжения от времени.

Таблица 1: Данные измерений удлинения от времени

$F_1 = 30,5 \text{ Н}$			$F_2 = 60,8$		
$t, \text{ мин}$	$\Delta l, \text{ мм}$	$\varepsilon^п$	$t, \text{ мин}$	$\Delta l, \text{ мм}$	$\varepsilon^п$
0	0,2615	0	10	0,7280	0,004136
0,5	0,2845	0,00046	11	0,8231	0,006038
1	0,2938	0,000646	12	0,8714	0,007004
2	0,3031	0,000832	13	0,9029	0,007634
3	0,3123	0,001016	14	0,9278	0,008132
5	0,3214	0,001198	15	0,9465	0,008506
9	0,3336	0,001442	19	1,0080	0,009736
10	0,3367	0,001504	20	1,0142	0,009860

