

5. Каптелин Ю. П. Описание неустановившейся ползучести наклепанной меди. Сб. «Ползучесть и длительная прочность», Новосибирск, СО АН СССР, 1963.
6. Каптелин Ю. П. О точности измерений деформаций на машине ИП-2, предназначенной для испытания на ползучесть. Л., Сб. тр. Ленингр. ин-та инж. ж.-д. трансп., 1960, вып. 174.
7. Каптелин Ю. П. Применение машины ИП-2, предназначенной для испытания на ползучесть, в испытаниях на релаксацию. Л., Сб. тр. Ленингр. ин-та ж.-д. трансп., 1962, вып. 192.

ОБ УРАВНЕНИИ ПОЛЗУЧЕСТИ МАТЕРИАЛОВ С УПРОЧНЕНИЕМ

А. Ф. Никитенко (Новосибирск)

При описании процессов неустановившейся ползучести материалов по гипотезе деформационного упрочнения широкое распространение получила зависимость вида

$$p^\alpha dp = K_0 e^{\beta_0 \sigma} dt \quad (1)$$

Здесь p — деформация ползучести, σ — напряжение, t — время, α , K_0 , β_0 — постоянные характеристики материала при фиксированной температуре и заданном интервале напряжений. Однако в работе [1] отмечено, что α и β_0 не остаются постоянными величинами для широкого интервала напряжений. В предлагаемой заметке этот вопрос исследуется более детально на ряде экспериментальных данных, опубликованных в работах [2-5].

Определение характеристик материала обычно проводится следующим образом [2]: интегрируя (1) при $\sigma = \text{const}$ и полагая $1/(1 + \alpha) = m$, получим уравнение

$$p = \frac{K_0}{m} e^{m\beta_0 \sigma} t^m \quad (2)$$

которое в системе координат $\lg p$ — $\lg t$ представляет семейство прямых с параметром σ . В рассмотренных работах [2-5] эти прямые, исключая [3], были близки к параллельным линиям, что позволяет считать во всем рассматриваемом диапазоне напряжений $\alpha = \text{const}$.

Рассматривая значения деформации ползучести, соответствующие разным уровням напряжения при некотором фиксированном значении времени t , из (2) получим

$$\beta_0 = \frac{\lg p_j - \lg p_i}{0.4343m(\sigma_j - \sigma_i)} \quad (3)$$

откуда определяется среднее значение β_0 .

Обработка экспериментальных данных [2-5] показала, что β_0 монотонно растет с ростом σ . На фиг. 1 представлены значения β_0 , вычисленные из (3) для напряжений $\sigma = 1/2(\sigma_j + \sigma_i)$, при этом цифре 1 соответствуют данные работы [4], а цифре 2 — данные работы [5]. Из графиков видно, что $\beta_0 = \text{const}$ является довольно грубым приближением к действительности. Целесообразно считать β_0 некоторой функцией от напряжения, например степенной, заменив уравнение (1) на уравнение вида

$$p^\alpha dp = K e^{\beta_0 \sigma^n} dt \quad (n > 1) \quad (4)$$

а (2) соответственно на уравнение

$$p = \frac{K}{m} e^{m\beta_0 \sigma^n} t^m \quad (5)$$

Логарифмируя (5), получим

$$\lg p = 0.4343m\beta_0 \sigma^n + \lg \left(\frac{K}{m} t^m \right) \quad (6)$$

Если процесс ползучести описывается уравнением (4), то в системе координат $\lg p$ — σ^n экспериментальные точки должны лечь на одну из семейства прямых с параметром t . Из условия, чтобы три точки, изображающие состояние σ_1, p_1 ; σ_2, p_2 ; σ_3, p_3 ; при некотором фиксированном t , где $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$, лежали на одной прямой

$$(\sigma_2^n - \sigma_1^n) \lg p_3 + (\sigma_3^n - \sigma_2^n) \lg p_1 - (\sigma_3^n - \sigma_1^n) \lg p_2 = 0 \quad (7)$$

определяется показатель n .

Обработка данных [2-5] показала, что экспериментальные точки в системе координат $\lg p - \sigma^n$ при $t = \text{const}$ действительно хорошо ложатся на серию прямых, которые близки к параллельным. Например, из [5] получено, что колебания значений β , определенных в различных промежутках $[\sigma_i, \sigma_j]$ из (6) по формуле

$$\beta = \frac{\lg p_j - \lg p_i}{0.4343m(\sigma_j^n - \sigma_i^n)} \quad (8)$$

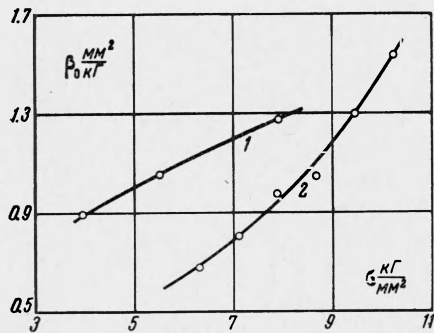
составляет $\pm 5\%$.

При решении уравнения (7) были получены следующие значения показателя n :

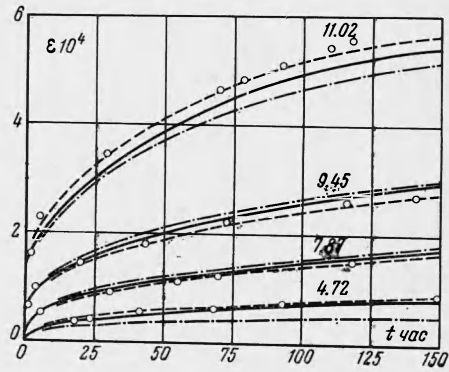
для дуралюмина Д16Т при 150° С [2]	$n = 2.817$,
для конструкционной стали 30ХМА при 500° С [3]	$n = 2.188$,
для сплава нимоник-75 при 650° С [4]	$n = 1.495$,
для алюминиевого сплава при 200° С [5]	$n = 2.620$,

Методика определения константы K остается прежней [2].

Кривые ползучести, рассчитанные по зависимости (4), очень хорошо согласуются с экспериментальными данными. Из приведенных значений видно, что величина n колеблется около двух. Так как введение в зависимость (4) дополнительной постоянной материала, вообще говоря, нежелательно и учитывая вышеприведенные результаты, целесообразно в уравнении (4) считать $n = 2$, оставив неизменной методику определения характеристик материала [2].



Фиг. 1



Фиг. 2

На фиг. 2 представлены результаты обработки данных работы [5], где пунктирные линии соответствуют расчетным кривым по зависимости (4) при $n = 2.620$, сплошные — по зависимости (4) при $n = 2$, штрих-пунктирные — по зависимости (1), а цифры соответствуют напряжениям в кг/мм^2 , при которых проводился эксперимент.

Таким образом, не усложняя методики получения характеристик материала, расчетные кривые по зависимости (4) при $n = 2$ дают существенно лучшее приближение, чем по зависимости (1).

Считаю своим долгом поблагодарить Митрофанову М. В. и Софиенко Г. Я. за оказанную помощь в обработке экспериментальных данных, а также Соснина О. В., по чьей инициативе выполнена эта работа.

Поступила 24 IX 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Соснин О. В., Горшенов Н. Г. Сжатие и выпучивание стержней при монотонно возрастающей нагрузке в условиях ползучести. ПМТФ, 1967, № 5.
2. Наместников В. С., Хвостунков А. А. Ползучесть дуралюмина при постоянных и переменных нагрузках. ПМТФ, 1960, № 4.
3. Даниловская В. И., Иванова Г. М., Работнов Ю. Н. Ползучесть и релаксация хромомолибденовой стали. Изв. АН СССР, ОТН, 1955, № 5.
4. Johnson A. E. Creep under complex stress systems at elevated temperatures. Proc. Inst. Mech. Engr., 1951, vol. 164, No. 4.
5. Johnson A. E. The creep of a nominally isotropic aluminum alloy under combined stress systems at elevated temperatures. Metallurgia, 1949, vol. 40, July, p. 125-139.