

## ПРЯМОЕ И ОБРАТНОЕ КРУЧЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ

В. С. Наместников

(Новосибирск)

Для современных теорий ползучести обычно постулируется справедливость их как для постоянных, так и для переменных напряжений. Необходимость экспериментальной проверки этого постулата очевидна. Выполненные различными авторами экспериментальные исследования по проверке применимости теорий ползучести для переменных нагрузок в основном проводились на цилиндрических образцах в условиях одноосного растяжения. Нагрузка в этих исследованиях изменялась всегда таким образом, что напряжение знака не меняло. Для деталей, работающих при одноосном напряженном состоянии, такие условия будут, по-видимому, выполняться в большинстве случаев. Для деталей же, работающих при переменных нагрузках в условиях сложного напряженного состояния, напряжение во многих случаях может менять знак. В связи с этим возникает необходимость проведения эксперимента при переменных нагрузках, в котором напряжение меняло бы знак.

С этой целью было проведено семь экспериментов на ползучесть при кручении тонкостенных трубчатых образцов при напряжении, меняющем знак.

В качестве материала исследования был выбран дуралюмин Д16Т в состоянии поставки, т. е. в закаленном и естественно состаренном состоянии. Материал был поставлен в виде прутка.

Трубчатый образец имел внешний диаметр  $15.5 \pm 0.01$  мм, внутренний  $14.0 \pm 0.01$  мм и рабочую часть длиной  $100 \pm 0.1$  мм. Испытания проводились на той же установке, что и в работе [1], к которой было сделано приспособление, позволившее менять направление кручения. Температура контролировалась тремя хромель-алюмелевыми термопарами, расположенными в среднем и двух крайних сечениях образца. Точность поддержания температуры  $\pm 1^\circ$ , перепад температуры по длине рабочей части образца не превышал  $0.5^\circ$ . Температура испытаний  $150^\circ$ , продолжительность каждого опыта составляла 100 часов. Образец монтировался в машине в холодном состоянии, после чего печь включалась на разогрев. С момента включения печи и до момента приложения нагрузки проходили сутки, в течение которых температура поднималась до заданной и стабилизировалась. Показания температуры и деформации снимались в первый час после приложения нагрузки через каждые десять минут, во второй час — через 30 минут и далее через каждый час.

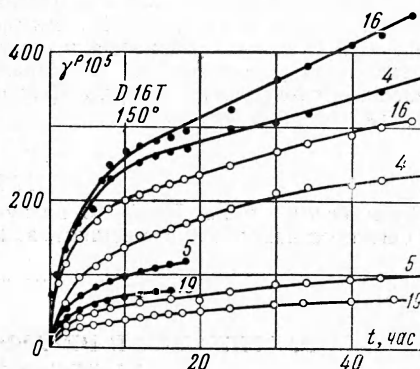
В закрученной тонкостенной трубе напряженное состояние однородно и описывается касательным напряжением  $\tau$ , действующим в плоскости поперечного сечения образца.

Все эксперименты выполнялись по следующей программе. К образцу прикладывался крутящий момент, создающий напряжение  $\tau = \text{const}$ .

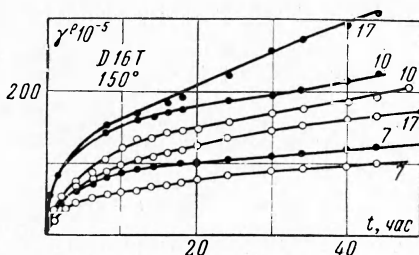
При этом постоянном напряжении образец испытывался в течение пятидесяти часов. По прошествии пятидесяти часов образец разгружался и затем снова нагружался таким же по величине, но обратным по направлению крутящим моментом, создающим в образце напряжение  $-\tau = \text{const}$ , и испытывался еще 50 часов.

Как известно, первая и третья главные оси направлены под углом  $45^\circ$  к образующей трубы и  $\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau$ . При перемене знака крутящего момента оси 1 и 3 меняются местами (растяжение меняется на сжатие и наоборот).

На фиг. 1 и 2 представлены результаты экспериментов. Здесь кружками нанесены экспериментальные точки прямого кручения, а точками — обратного. Для обратного кручения время отсчитывается с момента, когда напряжение меняет знак.  $\gamma^2$  в случае прямого кручения означает деформацию сдвига, накопленную после приложения крутящего момента, а в случае обратного кручения  $\gamma^2$  означает абсолютную величину деформации сдвига, накопленной после перемены знака крутящего момента; на фиг. 2 нижняя кривая для образца 7 соответствует прямому кручению, а верхняя — обрат-



Фиг. 1



Фиг. 2

ному. Цифры на фигурах соответствуют номерам образцов:

№ образца	4	5	7	10	16	17	19
$\tau, \text{кг/мм}^2$	14.00	11.56	11.56	13.00	14.74	14.10	10.11

(Заметим, что для образца 10 при обратном кручении  $\tau = 12.2 \text{ кг/см}^2$ .) Как видно из кривых, для всех экспериментов абсолютное значение деформации сдвига, накопленной при обратном кручении, значительно больше деформации сдвига, накопленной при прямом кручении. Таким образом, кручение в прямом направлении разупрочняет материал по отношению к кручению в обратном направлении.

Обнаруженный в этих экспериментах эффект напоминает известный эффект Баушингера; однако обнаруженный нами эффект не может быть сведен к эффекту Баушингера, поскольку напряжения в описываемых экспериментах выбирались не выше предела пропорциональности материала при данной температуре. Между тем, за внешним сходством этих двух эффектов, по-видимому, кроется физическое сходство процесса деформирования.

Поступила  
26 XI 1959

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Наместников В. С. О ползучести при постоянных нагрузках в условиях сложного напряженного состояния, Изв. АН СССР, ОТН, 1957, № 4.

### НАПРЯЖЕНИЕ В НЕРАВНОМЕРНО НАГРЕТЫХ ДИСКАХ ЗА ПРЕДЕЛОМ УПРУГОСТИ

Ю. В. Немировский  
(Новосибирск)

Рассматривается задача о температурных напряжениях в круглом диске при следующих условиях:

- а) рассматривается тонкий диск постоянной толщины, так что реализуется плоско-напряженное состояние;
- б) температура установившаяся и зависит только от радиуса;
- в) материал диска считается идеальнопластическим;
- г) упругие константы диска, модуль Юнга  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$ , не зависят от температуры. Последнее допущение возможно, если температура диска повышается не настолько, чтобы изменить существенным образом  $E$  и  $\nu$ .

При сделанных предположениях известное упругое решение есть [1,2]:

$$\sigma_r = -\frac{E}{r^2} \int_a^r \alpha t r dr + C_1 - \frac{C_2}{r^2}, \quad \sigma_\theta = \frac{E}{r^2} \int_a^r \alpha t r dr - E \alpha t + C_1 + \frac{C_2}{r^2} \quad (1)$$

где  $t$  — температура и  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения.

При условии отсутствия внешних поверхностных сил на контурах диска постоянные  $C_1$  и  $C_2$  определяются из условий

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= 0 \quad \text{при } r = a, & \sigma_r &= 0 \quad \text{при } r = b \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В результате получим для упругих напряжений

$$\sigma_r = E \left[ \theta(b) \frac{b^2}{(b^2 - a^2)} - \theta(r) \frac{r^2}{(r^2 - a^2)} \right] \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right)$$

$$\sigma_\theta = E \left[ \theta(b) \frac{b^2}{(b^2 - a^2)} \left( 1 + \frac{a^2}{r^2} \right) + \theta(r) - \alpha t \right]$$

где

$$\theta(r) = \frac{1}{r^2} \int_a^r \alpha t r dr$$

Заметим, что напряжение  $\sigma_r$  пропорционально разности между половиной средней температуры целого диска и половиной средней температуры части диска радиуса  $r$

$$\theta(b) \frac{b^2}{(b^2 - a^2)} = \frac{r^1}{2\pi(b^2 - a^2)} \int_a^b 2\pi \alpha t r dr, \quad \theta(r) \frac{r^2}{(r^2 - a^2)} = \frac{1}{2\pi(r^2 - a^2)} \int_a^r 2\pi \alpha t r dr$$

Исходя из этого, можно заключить, что если  $\Delta t = t_b - t_a < 0$ , то всюду  $\sigma_r < 0$ , если же  $\Delta t > 0$ , то всюду  $\sigma_r > 0$ .

