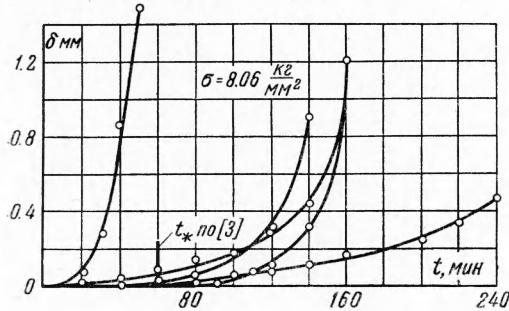


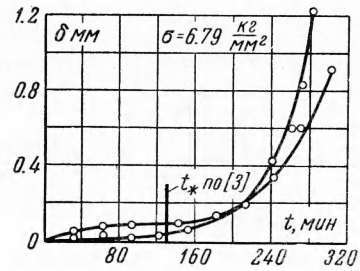
## УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ДУРАЛЮМИНА В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ

А. П. Кузнецов  
(Новосибирск)

Исследование устойчивости сжатых стержней в условиях ползучести было проведено на образцах диаметром 6 мм и длиной 100 мм, изготовленных из прутка дуралюмина Д16Т. Начальный прогиб образцов в середине не превышал 0.01 мм. Исследование проводилось при температуре 250°C на простейшей машине рычажного типа, предназначенной для испытания образцов на ползучесть при растяжении. Для проведения испытаний на устойчивость при сжатии было изготовлено специальное реверсивное приспособление с двумя шаровыми опорными головками, расположенными по оси приспособления, на которых устанавливались образцы, имевшие в центрах торцевых поверхностей небольшие углубления. Такое устройство опор обеспечивало шарнирное крепление образца.



Фиг. 1



Фиг. 2

Время нагрева и выдержка в сумме составляли один час, после чего к стержню плавно прикладывалась заданная постоянная продольная нагрузка, при которой стержень испытывался до потери несущей способности. В процессе эксперимента через определенные промежутки времени индикаторами измерялся прогиб стержня в середине в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Всего было испытано 66 образцов при семнадцати уровнях напряжения.

$\sigma$ кг/мм <sup>2</sup>	Время до разрушения в мин.					$\tau_m$ мин.
12.31	0.4	0.1	0.1			0.2
11.88	2	0.9	0			1
11.46	2	1.2	0	0.2		0.9
11.03	7	5	6	1	9	5.6
10.61	13	7	9	8.5	5	8.5
10.19	9.5	16	14.5	20	20	16.8
9.76	35.5	32	25.5	28.5	53.5	34.9
9.34	48	41.5	44	43	32.8	41.8
8.91	34	56	46.5	44.2	>90	>45.1
8.49	73	68	92.5	65	101.5	90
8.06	164	149	327	163	58	172
7.64	386	208	150			248
7.21	182	306	77			188
6.79	332	286	>390			>336
6.37	441					
5.94	573					
5.52	680	870	2340	1680		1390

В таблице приведено время до разрушения  $\tau$  в мин. для каждого образца для различных значений напряжения  $\sigma$ , а также среднее время до разрушения  $\tau_m$  в мин. В тех случаях, когда образцы не были доведены до разрушения, в таблице указано время прекращения испытаний и отмечено, что время до разрушения больше указанного.

На фиг. 1—3 для трех уровней напряжения построены графики изменения прогибов стержней в середине  $\delta$  в зависимости от времени  $t$ . На каждой из фигур помещены результаты испытаний одинаковых образцов при одном и том же напряжении. Видно, что прогиб стержня начинает расти сразу же после приложения нагрузки, причем скорость прогиба со временем увеличивается, резко возрастая к моменту раз-

рушения. У отдельных образцов прогибы вначале растут медленно, и лишь через некоторое время начинается более быстрый рост прогибов.

При той же температуре были получены кривые ползучести при растяжении образцов, изготовленных из прутка той же плавки. На каждом из выбранных уровней напряжений было испытано по четыре образца и по этим четырем испытаниям построены осредненные кривые, приведенные на фиг. 4. Испытания образцов на растяжение проводились на машине того же типа, что и испытания образцов на устойчивость. Согласно работе [1] для дуралюмина Д16Т справедлив закон упрочнения, и процесс ползучести может быть описан уравнением

$$\dot{\rho} \rho^{\alpha} = A \sigma^n \quad (\alpha, n, A = \text{const})$$

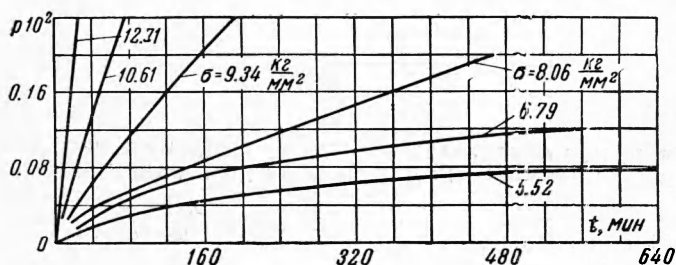
Фиг. 3

В результате обработки кривых ползучести, приведенных на фиг. 4, были получены следующие значения  $\alpha, n$  и  $A$

$$A = 8.995 \cdot 10^{-7} \frac{\text{М.М}^{2n}}{\text{кг}^n \text{час}}, \quad n = 1.358 \quad \text{для } \sigma < 9 \frac{\text{кг}}{\text{М.М}^2}$$

$$A = 3.476 \cdot 10^{-12} \frac{\text{М.М}^{2n}}{\text{кг}^n \text{час}}, \quad n = 7.31 \quad \text{для } \sigma > 9 \frac{\text{кг}}{\text{М.М}^2}$$

Аналитические кривые, построенные по вышеприведенной зависимости с указанными значениями постоянных, в первой стадии хорошо совпадают с кривыми ползучести фиг. 4.



Фиг. 4

Продольная деформация в эксперименте на устойчивость не измерялась, но, располагая кривыми ползучести, ее можно найти расчетным путем. Она определялась следующим образом: мгновенная деформация предполагалась упругой ( $E =$

$= 5,9 \cdot 10^3 \text{ кг/М.М}$ ), а деформация ползучести, соответствующая данному времени при заданном уровне напряжения, определялась по кривым фиг. 4.

На фиг. 5 кружками отмечены значения продольной деформации  $\epsilon$  в момент разрушения стержня, полученные в результате описанной обработки данных таблицы. Черными кружками отмечены значения продольной деформации, соответствующие среднему времени до разрушения  $t_m$  из таблицы. Диагональ на фиг. 8 соответствует мгновенной упругой деформации.

Согласно работе [2] критическая деформация, при которой происходит потеря устойчивости прямого стержня в условиях ползучести, определяется по формуле:

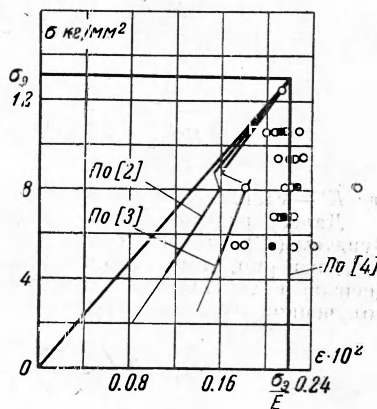
$$\epsilon_* = \frac{\alpha}{n} \frac{\sigma_0}{E} \frac{\sigma}{E} \left( 1 - \frac{\alpha}{n} \right)$$

В работе [3] для определения критической деформации предложена формула:

$$\epsilon_* = 2 \frac{\alpha}{n} \frac{\sigma_0}{E} + \frac{\sigma}{E} \left( 1 - 2 \frac{\alpha}{n} \right)$$

Полуэмпирическая гипотеза работы [4] дает для критической деформации значение

$$\epsilon_* = \frac{\sigma_0}{E}$$



Фиг. 5.

В этих формулах  $\sigma_c$  — критическое напряжение для упругого стержня, определенное по формуле Эйлера.

На фиг. 5 построены графики для определения критической деформации шарнирно опертого стержня по вышеприведенным формулам.

Сравнивая результаты эксперимента с расчетами по формулам работ [2,3,4], следует отметить, что гипотеза, предложенная в работе [4], может быть принята для определения деформаций, при которых происходит разрушение сжатых стержней из дуралюмина в условиях ползучести. Критическое значение, деформаций, полученное в работах [2, 3], в большинстве случаев значительно ниже значений, определенных экспериментом. Несовпадение можно объяснить тем, что в эксперименте фиксируется момент разрушения, происходящий при значительных прогибах. Этот момент времени, очевидно, не соответствует ни критическому времени, определяемому в [2], ни критическому времени, определяемому в [3].

Критическое время согласно [3], по-видимому, можно трактовать как время, после которого прогибы начинают возрастать относительно быстро. Моменты времени, соответствующие критической деформации по [3], отмечены на фиг. 1—3.

Поступила 3 VIII 1961

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Наместников В. С., Хвостунков А. А. Ползучесть дуралюмина при постоянных и переменных нагрузках. ПМТФ, 1960, № 4.
2. Работнов Ю. Н., Шестериков С. А. Устойчивость стержней и пластинок в условиях ползучести. ПММ, 1957, т. XXI, вып. 3.
3. Куршин Л. М. Устойчивость стержней в условиях ползучести. ПМТФ, 1961, № 6.
4. Gerard G. A Creep Buckling Hypothesis. JAS, 1956, Vol. 23, No. 9.
5. Справочник по авиационным материалам. Том II, Оборонгиз, М., 1958.

#### ПОПРАВКА К СТАТЬЕ Г. И. БАРЕЙБЛАТТА «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ РАВНОВЕСНЫХ ТРЕЩИН, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ХРУПКОМ РАЗРУШЕНИИ», ПМТФ, № 4, 1961

В формулы (5.44) этой статьи вкралась неточность. Следует записать эти формулы в виде:

$$\begin{aligned}
 N_b &= \frac{V\sqrt{2}}{\pi \sqrt{b(b^2 - a^2)}} \left[ \int_a^b p(t) t \sqrt{\frac{t^2 - a^2}{b^2 - t^2}} dt + C \right] \\
 N_a &= \frac{V\sqrt{2}}{\pi \sqrt{a(b^2 - a^2)}} \left[ \int_a^b p(t) t \sqrt{\frac{b^2 - t^2}{t^2 - a^2}} dt - C \right] \\
 C &= \frac{b_4}{K' \left( \frac{a}{b} \right)} \int_a^b \frac{dt}{\sqrt{(b^2 - t^2)(t^2 - a^2)}} \int_a^b \frac{p(t_0) \sqrt{(b^2 - t_0^2)(t_0^2 - a^2)} dt_0}{t_0 + t}
 \end{aligned} \tag{5.44}$$

где  $K'$  — стандартное обозначение эллиптического интеграла.

Далее, решение задачи о двух коллинеарных трещинах, данное Винном и Вундтом (32) (номера ссылок идут по нашей статье) и приведенное в нашей работе, неверно, так как оно основано на неправильных выражениях для коэффициентов интенсивности напряжений. Выражение для критического напряжения, полученное Уилмором (21), правильно; оно имеет вид

$$p_1 = \sqrt{\frac{2}{b}} \frac{K}{\pi} \left\{ \frac{K'(\alpha) \sqrt{\alpha(1 - \alpha^2)}}{E'(\alpha) - \alpha^2 K'(\alpha)} \right\}, \quad \alpha = \frac{a}{b} < 1$$

где  $E'$ ,  $K'$  — стандартные обозначения эллиптических интегралов. Критическое значение  $\alpha$ , разделяющее два вида разрушения в этой задаче, равно 0.027.

Г. И. Барейблатт