

УДК 539.376+620.172.251.2

**КРАТКОВРЕМЕННАЯ ПОЛЗУЧЕСТЬ СПЛАВА АМг6  
ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ**

*В. П. Ермаков, А. П. Кузнецов*

*(Новосибирск)*

Рассматривается метод описания ползучести для случая, когда необходимо учитывать все три стадии деформирования: неустановившуюся, установившуюся и начало ускоренной стадии. Результаты расчета сопоставляются с данными экспериментального исследования кратковременной ползучести сплава АМг6-М при изменяющихся нагрузках.

В работах [1, 2] на основании экспериментальных данных делается вывод о том, что для многих технических сплавов кратковременная ползучесть может быть учтена как ползучесть без упрочнения. Такой подход существенно упрощает анализ и сокращает объем вычислений при решении частных задач. Однако, как отмечают авторы [1, 2], некоторые материалы в условиях кратковременной ползучести обнаруживают более сложное поведение.

1. Следуя Грэхему [3], при обработке кривых ползучести сделаем следующие допущения:

1) полная деформация ползучести  $p$  — простая сумма вкладов, вносимых независимыми механизмами;

2) деформация  $p_i$ , обусловленная каждым  $i$ -м механизмом, может быть представлена для фиксированных напряжений и температур формулой

$$p_i = f_i(\sigma, T) t^{m_i} \quad (1.1)$$

Здесь  $\sigma$  — напряжение,  $T^\circ \text{K}$  — температура испытания,  $t$  — время,  $m_i$  — константа.

Аппроксимирующие функции, пригодные для описания ползучести в достаточно широком диапазоне напряжений и температур, могут быть взяты в виде

$$f_i(\sigma, T) = (a_i \sigma^{n_i} + b_i e^{\beta_i \sigma}) e^{-\alpha_i/T} \quad (1.2)$$

Здесь  $a_i, b_i, \alpha_i, \beta_i, n_i$  — константы, подлежащие определению из эксперимента.

В случае изменяющихся напряжений и температур для расчета  $i$ -й компоненты деформации можно использовать соотношение, которое обычно принимается для описания начальных участков кривых ползучести

$$\dot{p}_i p_i^{(1-m_i)/m_i} = m_i f_i^{1/m_i}(\sigma, T) \quad (1.3)$$

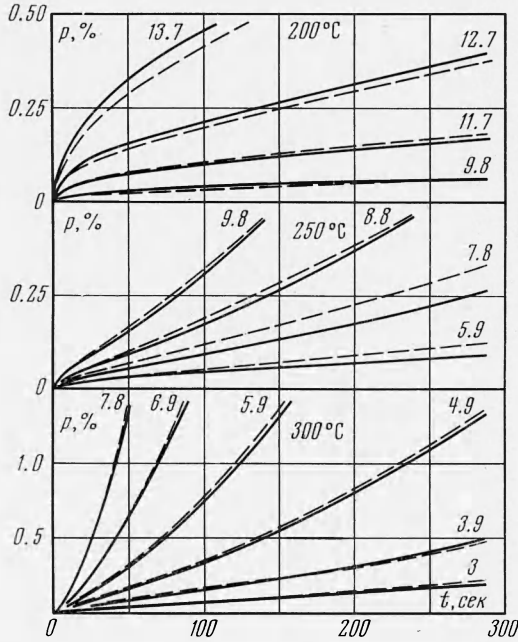
Уравнение (1.3) получается из (1.1) дифференцированием и последующим исключением времени.

2. Приведенные выше зависимости применялись для обработки результатов испытаний на растяжение в условиях кратковременной ползучести образцов из сплава АМг6-М ( $\sigma_b = 35 \text{ кг/мм}^2$ ,  $\sigma_{0.2} = 16 \text{ кг/мм}^2$ ). Эксперименты проводились с плоскими образцами шириной 10 мм и расчетной длиной 100 мм, вырезанными вдоль направления прокатки из листов толщиной 2,5 мм. Уровни температур при испытаниях составляли 175, 200, 225, 250, 275, 300, 325°С, а напряжения лежали в пределах от 1 до 15 кг/мм<sup>2</sup>. Продолжительность экспериментов не превышала 8 мин.

Экспериментальная установка КВП-11 рычажного типа с печью инфракрасного нагрева позволяла осуществлять быстрый нагрев образца за 30—60 сек и обеспечивала поддержание заданной температуры в пределах  $\pm 0,5\%$  с помощью системы терморегулирования на базе прибора ЭПР-09-М3. Выравнивание температуры по длине образца достигалось за счет дополнительных нагревателей, вмонтированных в тяги. Быстрое и плавное нагружение (в течение 0,3—0,7 сек) производилось эксцентриковым механизмом с демпфером, а заданный уровень напряжения обеспечивался с точностью не менее  $\pm 1\%$  набором грузов. Для измерения деформаций использовался экстензометр на базе индикатора часового типа с ценой деления 0,002 мм и верхним пределом измерения 2 мм. Регистрация показаний индикатора и секундомера осуществлялась автоматически с помощью фотокамеры РФК-1М.

На фиг. 1 сплошными линиями изображены в виде кривых ползучести осредненные результаты испытаний листового материала толщиной 2,5 мм (здесь и на остальных фигурах, кроме фиг. 4, цифрами у кривых обозначены величины напряжений в кг/мм<sup>2</sup>). На каждом режиме испытывалось от 2 до 4 образцов. Разброс по деформациям

при этом не превышал  $\pm 10\%$ . В качестве начального отсчета для деформаций ползучести принималась деформация, соответствующая моменту окончания нагружения. Этот момент определялся по осциллограмме сигнала тензодатчиков, установленных на тяге вне зоны нагрева.



Фиг. 1

ботки сведены в таблицу, а о качестве аппроксимации можно судить по фиг. 1, где расчетные кривые изображены пунктиром. Здесь следует отметить, что константы таблицы не носят универсального характера и их использование вне области напряжений, температур и деформаций, указанных на фиг. 1, может привести к ошибке.

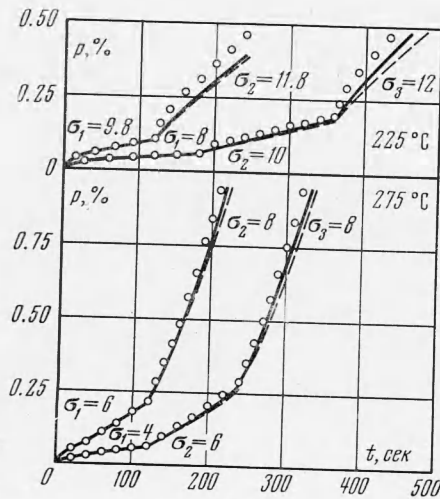
Как следует из фиг. 1 при температурах  $\sim 200^\circ\text{C}$  ползучесть сопровождается значительным упрочнением материала. С повышением температуры до  $\sim 300^\circ\text{C}$  первый участок на кривых ползучести практически исчезает, но уже при деформации  $\sim 0,3\%$  начинает проявляться третья стадия ползучести. Удлинение образца к моменту разрушения может достигать десятков процентов.

3. В связи с изложенным выше каждая кривая ползучести при обработке аппроксимировалась трехчленом вида

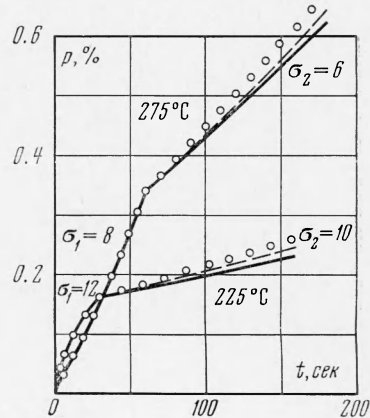
$$p = f_1 t^{1/3} + f_2 t + f_3 t^2$$

Здесь показатели степени выбираются из условия лучшего соответствия опытным кривым, а также удобства вычислений. Для определения коэффициентов  $f_1, f_2, f_3$  можно использовать метод наименьших квадратов. Константы в соотношениях типа (1.2) вычислялись обычным способом. При этом было использовано то упрощающее обстоятельство, что при температурах 275, 300, 325 $^\circ\text{C}$  влиянием

слагаемого  $b_i e^{\beta_i \sigma}$  для напряжений, не превышающих предела упругости, можно пренебречь. Результаты обра-



Фиг. 2



Фиг. 3

4. Для проверки возможности использования уравнений типа (1.3) в случае нестационарных режимов были проведены опыты с напряжениями, изменяющимися во времени ступенями. Данные экспериментов при температурах 225 и 275 $^\circ\text{C}$  изображены

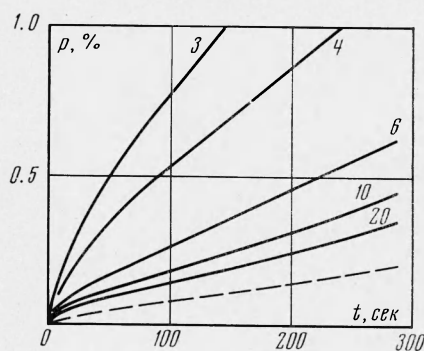
$i$	$n_i$	$m_i$	$\alpha_i 10^{-3}, ^\circ\text{K}$	$\beta_i, \text{мм}^2/\text{кгс}$	$a_i$	$b_i$
1	1	1/3	4.6	0.72	$5.9 \cdot 10^{-2}$ $\text{мм}^2/\text{сек}^{1/3} \cdot \text{кгс}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$ $\text{сек}^{-1/3}$
2	3	1	16.8	0.98	$1.05 \cdot 10^6$ $\text{мм}^6/\text{сек} \cdot \text{кгс}^3$	$5.0 \cdot 10^4$ $\text{сек}^{-1}$
3	8	2	34.8	—	$4.9 \cdot 10^{13}$ $\text{мм}^{18}/\text{сек}^2 \cdot \text{кгс}^8$	0

кружками на фиг. 2 (догружение) и на фиг. 3 (разгружение). Здесь в качестве начальных отсчетов для деформаций ползучести принимались деформации, соответствующие моментам окончания перегрузки. Время перегрузки определялось по осциллограммам и не превышало 1 сек. Сплошными линиями на фиг. 2 и фиг. 3 показаны результаты расчета по соотношениям (1.2), (1.3) с использованием коэффициентов таблицы, а пунктирными — результаты графического построения в соответствии с кинетическим уравнением ползучести

$$\dot{p} = u(\sigma, T, p)$$

Из фиг. 2 и фиг. 3 видно, что опытные данные описываются удовлетворительно.

5. Для исследования влияния нагортки на ползучесть испытывались образцы из листового материала АМг6-Н ( $\sigma_b = 45 \text{ кг/мм}^2$ ,  $\sigma_{0.2} = 38 \text{ кг/мм}^2$ ) толщиной 2 мм. Из результатов эксперимента можно сделать следующие выводы. Во-первых, скорость ползучести нагартанного материала может в несколько раз и даже в десятки раз превышать скорость ползучести мягкого материала. Во-вторых, при температуре свыше  $\sim 250^\circ\text{C}$  материал АМг6-Н становится структурно неустойчивым. Последний факт иллюстрируется фиг. 4. Здесь сплошными линиями изображены кривые ползучести материала АМг6-Н при температуре  $300^\circ\text{C}$  и напряжении  $3 \text{ кг/мм}^2$ . Цифры у кривых означают время (в минутах) выдержки образцов при температуре  $300^\circ\text{C}$  перед нагружением. Пунктирная линия соответствует мягкому материалу. Таким образом, пребывание нагартанного материала при повышенной температуре приводит к его упрочнению по отношению к ползучести.



Фиг. 4

Поступила 5 II 1971

## ЛИТЕРАТУРА

1. М и л е й к о С. Т., Р а б о т н о в Ю. Н. Некоторые результаты экспериментального исследования кратковременной ползучести при одноосном растяжении. ПМТФ, 1966, № 5.
2. Р а б о т н о в Ю. Н., М и л е й к о С. Т. Кратковременная ползучесть. М., «Наука», 1970.
3. К е н н е д и А. Д. Ползучесть и усталость в металлах. М., «Металлургия», 1965.

Технический редактор Э. Ф. Бунова

Сдано в набор 2/II-1971 г. Т-01190 Подписано к печати 2/II-1972 г. Тираж 2055 экз.  
 Зак. 3144 Формат бумаги 70×108<sup>1/16</sup> Усл. печ. л. 12,6 Бум. л. 4<sup>1/2</sup> Уч.-изд. л. 13,0

2-я типография издательства «Наука». Москва, Шубинский пер., 10