

ПОЛЗУЧЕСТЬ ТЕПЛОПРОЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА
ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

В. П. Ермаков, А. И. Равикович

(Новосибирск)

Приводятся некоторые результаты экспериментальных исследований ползучести теплопрочного алюминиевого сплава АК4-1 при постоянных и переменных нагрузках при температуре 175° С и продолжительности испытаний 100 час.

На основе экспериментальных данных проводится проверка теории ползучести, базирующейся на следующих гипотезах:

- 1) изменение объема упруго;
- 2) девиатор скоростей деформаций ползучести пропорционален девиатору напряжений;
- 3) интенсивности напряжений, деформаций ползучести и их скоростей связаны соотношением, не зависящим от вида напряженного состояния.

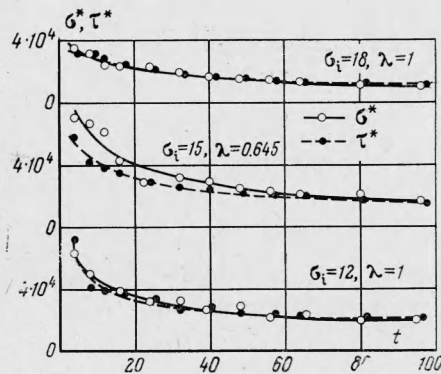
Необходимо указать, что результаты исследования ползучести при сложном напряженном состоянии углеродистых, низколегированных, аустенитных сталей, меди и некоторых легких сплавов приводятся в работах [1-6].

1. Исследования проводились на трубчатых образцах из одного и того же материала АК4-1 при одной и той же температуре 175° С; образцы имели расчетную длину 100 мм, средний диаметр 16 мм, толщину стенки 1 мм. Конструкция машины позволяла осуществлять различные сочетания нормальных и касательных напряжений от одноосного растяжения до чистого кручения. Точность поддержания нагрузки при совместном действии растяжения и кручения составляла для растягивающих усилий ±1% и для крутящего момента ±2%. Точность поддержания температуры составляла ±2° С.

Перед основными испытаниями производилась проверка исходной изотропии материала. Материал был поставлен в виде плит толщиной 40 мм. Образцы, вырезанные из плиты в продольном и поперечном направлениях, испытывались на простое растяжение, а также на кручение при интенсивностях напряжений и при температуре основных испытаний. Полученные данные позволили считать исследуемый материал достаточно изотропным.

Испытания при постоянных нагрузках проводились сериями, в каждой из которых интенсивность напряжений была постоянной, но от опыта к опыту изменялся вид напряженного состояния, т. е. параметр $\lambda = \tau / \sigma$.

Для получения более надежных результатов каждый опыт повторялся 2-4 раза. Всего было проведено четыре серии испытаний при интенсивностях напряжений $\sigma_i = 12, 15, 18$ и $21 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$. (Все указанные в работе значения напряжений даются в $\text{кг} \cdot \text{мм}^{-2}$, время — в час.) Общее число испытанных образцов равнялось 40. На основании экспериментальных



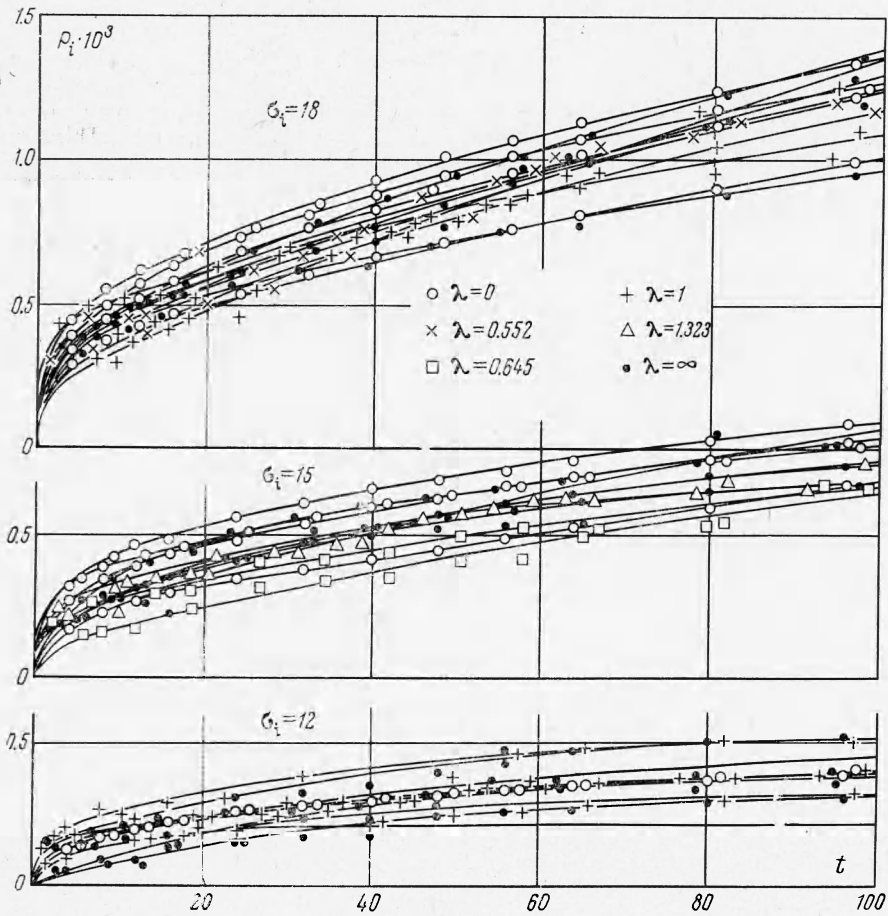
Фиг. 1

данных, полученных при постоянных нагрузках, производилась проверка перечисленных выше гипотез ползучести.

2. Гипотеза подобия девиаторов с учетом несжимаемости материала может быть записана в виде

$$p_{kj} \dot{=} Q \sigma_{kj}^* \quad (2.1)$$

Здесь $p_{kj} \dot{}$ — компоненты тензора скоростей деформаций ползучести, σ_{kj}^* — компоненты девиатора напряжений, Q — функция инвариантов.



Фиг. 2

При постоянных нагрузках в случае растяжения с кручением из соотношения (2.1) следует:

$$\frac{2\sigma}{3\varepsilon_p} = \frac{2\tau}{\gamma_p} \quad (2.2)$$

Здесь ε_p — осевая деформация ползучести, γ_p — сдвиговая деформация ползучести, σ , τ — нормальные и касательные напряжения.

Левая и правая части уравнения (2.2) представляют собой функции, зависящие от времени

$$2\sigma/3\varepsilon_p = \sigma^*(t), \quad 2\tau/\gamma_p = \tau^*(t)$$

На фиг. 1 изображены графики этих функций для различных интенсивностей напряжений, определенные по осредненным кривым ползучести. Как видно из графиков, соотношение (2.2) выполняется удовлетворительно. Таким образом, девиаторы можно считать приблизительно пропорциональными.

Согласно третьей гипотезе кривые ползучести, построенные в координатах интенсивность деформаций — время, должны совпадать при одной и той же интенсивности напряжений для различных видов напряженного состояния. На фиг. 2 представлены кривые ползучести отдельно по каждому испытанному образцу, чтобы можно было судить о разбросе опытных данных. Приведенные на этих графиках величины интенсивностей деформаций ползучести p_i и интенсивностей напряжений σ_i определялись по формулам

$$p_i = \sqrt{\varepsilon_p^2 + \gamma_p^2} / 3, \quad \sigma_i = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (2.3)$$

Из графиков видно, что разброс характеристик ползучести индивидуальных образцов больше, чем какое-либо систематическое расслоение опытных точек в зависимости от параметра λ .

Для аналитического выражения третьей гипотезы было принято часто употребляемое соотношение, вытекающее из теории упрочнения

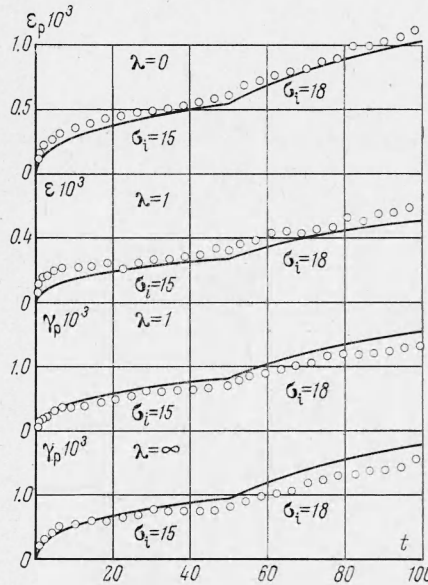
$$p_i \cdot p_i^\alpha = k \sigma_i^n \quad (2.4)$$

Здесь точка означает дифференцирование по времени. Для констант ползучести получены значения

$$\alpha = 1.5, \quad n = 7.5, \quad k = 8,375 \cdot 10^{-20}$$

3. Справедливость соотношений (2.1) и (2.4) проверялась так же для случая изменяющихся нагрузок. При этом осуществлялась следующая программа экспериментов: образец нагружался до $\sigma_i = 15 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$ и при этой интенсивности напряжений выдерживался в течение 50 час; затем нагрузка ступенчато повышалась до $\sigma_i = 18 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$ и испытания продолжались еще 50 час. Эксперименты проводились при простом растяжении, кручении и совместном действии растяжения с кручением ($\lambda = 1$), причем в последнем случае выполнялось условие пропорционального нагружения. Аналогичные опыты проводились со ступенчатым понижением нагрузки от $\sigma_i = 18 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$ до $\sigma_i = 15 \text{ кг} \cdot \text{мм}^{-2}$. Результаты экспериментов при возрастающей нагрузке приведены на фиг. 3. Здесь кружками изображены осредненные по 2 ÷ 3 образцам осевые и сдвиговые деформации ползучести. Сплошными линиями показаны расчетные значения этих деформаций, определенные из соотношения

$$p_{kj} = \frac{3}{2} \frac{p_i}{\sigma_i} \sigma_{kj}^* \quad (3.1)$$



Фиг. 3

Это равенство получается из (2.1), если учесть условие пропорциональности нагружения. Входящая в выражение (3.1) интенсивность деформации ползучести p_i находилась путем интегрирования уравнения (2.4).

Сравнивая результаты расчета и эксперимента, можно сделать вывод, что степень соответствия между ними при произвольном отношении τ / σ такая же, как и в случае простого растяжения.

Поступила 19 IX 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. J o h n s o n A. E. Behaviour of cast steel at elevated temperatures. Engineer, 1949, vol. 188, No 4879.
2. О д и н г И. А., Т у л я к о в Г. А. Ползучесть аустенитной стали при сложном напряженном состоянии. Изв. АН СССР, ОТН, 1958, № 1.
3. Н а м е с т н и к о в В. С. Ползучесть дуралюмина в условиях сложного напряженного состояния. ПМТФ, 1960, № 2.
4. Н а м е с т н и к о в В. С. Ползучесть технически чистой меди при сложном напряженном состоянии. ПМТФ, 1965, № 3.
5. J o h n s o n A. E., K h a n B. Creep under changing complex — stress systems in copper at 250° C. Internat. J. Mech. Sci., 1965, vol. 7, No. 12.
6. Р а б о т н о в Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций. М., «Наука», 1966.