

## ПОЛЗУЧЕСТЬ СТАЛИ IX18H9T ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

Л. А. Прищепионок

(Новосибирск)

Для исследования ползучести при сложном напряженном состоянии типа двухосного растяжения в Институте гидродинамики СО АН СССР была спроектирована и изготовлена испытательная машина. Настоящая работа ставила своей целью, с одной стороны, выявление возможностей новой машины, с другой — получение данных по законам ползучести при сложном напряженном состоянии, имея в виду выяснение влияния третьего инварианта на распределение скоростей ползучести. При постановке экспериментов имелась в виду обработка данных по методике, намеченной в работе [1].

В качестве объекта исследования был выбран хорошо изученный материал — сталь IX18H9T, данные по ползучести этой стали при совместном действии растяжения и кручения содержатся в работе [2], анализ этих данных приводится в [1].

1. Испытания проводились при нагружении образцов осевой силой и внутренним давлением.

Образцы для экспериментов изготавливались из прутков диаметром 35 мм материала IX18H9T промышленной плавки. Химический состав металла следующий: С — 0.9, Mn — 1.05, Si — 0.57, P — 0.032, S — 0.006, Cr — 17.92, Ni — 9.44, Ti — 0.4%. Материал на заводе-изготовителе был термообработан по режиму: нагрев до 1100°С и охлаждение в воде. Металлографический анализ на образцах размером 10 × 10 × 15 мм, грани которых были направлены параллельно и перпендикулярно оси прутка, показал достаточно мелкое зерно. Размер зерен порядка 9—13 мк.

Преимущественных направлений ориентации зерен не обнаружено. Дополнительной термообработке материал не подвергался.

Эксперименты проводились на образцах с наружным диаметром 16 мм, толщиной стенки 0.75 мм и длиной рабочей части 100 мм. Нагрузки на каждый образец подсчитывались по фактическим размерам образцов.

Испытания велись при 600°С. Температура измерялась тремя хромель-алюмелевыми термопарами, приваренными конденсаторной сваркой к образцу. Температура поддерживалась около заданной с точностью ± 1.5°, а перепад температуры по длине рабочей части не превышал 2°С.

Прогрев образца до температуры испытания длился 2.5—3 час, нагрузка прикладывалась через 5—6 час с момента включения печи.

Эксперименты были проведены при соотношениях  $\lambda = \sigma_3 / \sigma_2 = \infty, 1, 7/8, 3/4, 5/8, 1/2, 1/4, 0$ . Здесь за  $\sigma_3$  принято осевое напряжение, за  $\sigma_2$  — тангенциальное.

Уровни напряжений были взяты следующие: 12, 14, 16 и 19 кг/мм<sup>2</sup>. Для ряда условий испытаний эксперименты дублировались.

2. Напряженные состояния при  $\lambda = 0$  и  $\lambda = \infty$  определяют растяжение в тангенциальном и осевом направлениях. Для этих видов испытаний кривые ползучести в пределах погрешности эксперимента совпали. Совпадение кривых показало достаточную степень изотропии материала.

Результаты экспериментов, представленные в координатах  $\lg p - \lg t$ , дали ряд прямых, параллельных между собой в пределах экспериментального разброса. Из этого можно сделать вывод о подобии кривых ползучести для различных видов напряженного состояния. Поэтому уравнение любой кривой ползучести может быть представлено в виде  $p = \epsilon t$ .

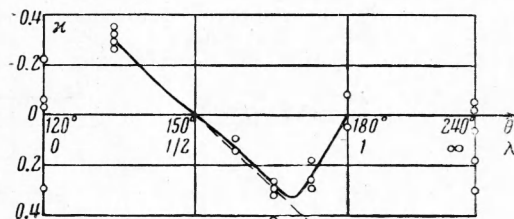
Здесь  $\epsilon$  — скорость ползучести по отношению к измененному времени  $\tau = t$ .

В качестве эталонной кривой ползучести была принята кривая для  $\lambda = \infty$  и  $\sigma = 19$  кг/мм<sup>2</sup>, эта кривая являлась графиком функции  $\tau(t)$ . Все индивидуальные кривые перестраивались путем изменения масштаба по оси ординат таким образом, чтобы добиться наилучшего совпадения с эталонной кривой. Масштаб построения определял скорость по отношению к измененному времени  $\tau(t)$ .

Обработка результатов испытаний проводилась по формулам

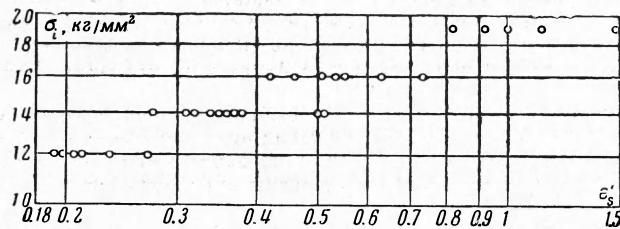
$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{2}{3} [\epsilon_1 \cos \theta + \epsilon_2 \cos (\theta - \frac{2}{3}\pi) + \epsilon_3 \cos (\theta - \frac{4}{3}\pi)] = gv(\sigma_i g) \\ \epsilon_t &= -\frac{2}{3} [\epsilon_1 \sin \theta + \epsilon_2 \sin (\theta - \frac{2}{3}\pi) + \epsilon_3 \sin (\theta - \frac{4}{3}\pi)] = v(\sigma_i g) dg / d\theta \end{aligned} \quad (1)$$

На фиг. 1 представлена зависимость величины  $\kappa = \epsilon_t / \epsilon_s$  от вида напряженного состояния.



Фиг. 1

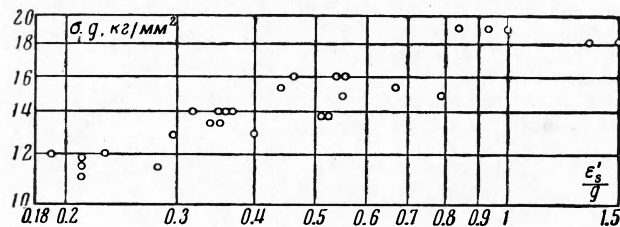
В работе [1] на основании анализа ряда опытных данных показано, что при высоком уровне напряжений закон течения, ассоциированный с условием наибольшего касательного напряжения, лучше отвечает опытным данным, чем закон течения типа Мизеса. Однако допустить существование угловых точек на поверхности ползучести трудно, приходится предполагать, что углы шестигульника Треска — Сен-Венана скруглены. Действительно, при  $\lambda = 0$ ,  $\lambda = \infty$  и  $\lambda = 1$ , что соответствует сжатию с наложенным всесторонним растяжением, отмечался большой разброс опытных точек.



Фиг. 2

При незначительных отклонениях напряжений от расчетных в ту или другую сторону вектор скорости деформации ползучести будет резко менять свое направление.

В условиях нагружения образца только внутренним давлением ( $\lambda = 1/2$ ) ползучесть в осевом направлении отсутствовала, это также подтверждалось и ранее [3]. При  $\lambda = 1/4$  величина принимает отрицательное значение, разброс экспериментальных точек невелик. В условиях  $\lambda = 5/8, 3/4$  и  $7/8$  знак  $\lambda$  меняется на противоположный, точки для  $\sigma = 12, 14$  и  $16$  кг/мм<sup>2</sup> лежат довольно близко друг от друга.



Фиг. 3

Пунктирная линия на фиг. 1 соответствует закону течения, ассоциированному с условием Треска — Сен-Венана. Как видно, на участке ( $134^\circ < \theta < 166^\circ$ ) опытные точки группируются около пунктирной линии, что находится в соответствии с выводами работы [1]. Для выяснения поведения функции  $\kappa(\theta)$  в области, близкой к значению  $\theta = \pi$ , были проведены опыты при  $\lambda = 1/8$  ( $\theta = 173^\circ$ ). Соответствующие точки уходят от пунктирной кривой. Сплошная линия изображает предполагаемую истинную зависимость  $\kappa(\theta)$  при естественном допущении, что  $\kappa(\pi) = 0$ . Одна точка при  $\lambda = 3/4$  выпадает, причину этого выяснить не удалось.

Проверка инвариантных зависимостей производилась по формуле (1)

$$\epsilon_s / g = v(\sigma_i g)$$

Функция  $g(\theta)$  находилась путем численного интегрирования, а именно

$$g(\theta) = \exp \int_0^\theta \kappa(\theta) d\theta$$

Инвариантные зависимости обнаруживают довольно большой разброс, сравнение зависимостей  $\epsilon'_s - \sigma_i$  (фиг. 2) и  $\epsilon'_s / g - \sigma_i g$  (фиг. 3) не позволяют сделать достаточно четкого вывода. Аналогичная ситуация отмечалась и при обработке опытов других авторов [1].

Поступила 30 XII 1964

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Работнов Ю. Н. Опытные данные по ползучести технических сплавов и феноменологические теории ползучести (обзор). ПМТФ, 1964, № 6.
2. Одинг И. А., Туляков Г. А. Ползучесть аустенитной стали при сложном напряженном состоянии. Изв. АН СССР, ОТН, 1958, № 1.
3. Качанов Л. М. Теория ползучести. Физматгиз, 1960.