

О РАЗРУШЕНИИ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ

А. Ф. Никитенко, О. В. Соснин

(Новосибирск)

В условиях повышенных температур материал под нагрузкой ведет себя, как диссипативная среда. Работа материала сопровождается процессом ползучести и, как принято называть, накоплением повреждаемостей, ведущих к конечному времени службы конструкции. Если рассмотреть произвольное тело, нагруженное внешними усилиями и работающее в условиях повышенных температур, то, естественно, встает вопрос об оценке в любой фиксированный момент времени интенсивности процесса ползучести в какой-либо точке тела; здесь целесообразно использовать основное свойство при ползучести — диссипативность процесса, считая, что процесс идет более интенсивно там, где удельная мощность диссипации механической энергии

$$W = \sigma_i \eta_{ij} \quad (1)$$

больше; σ_{ij} , η_{ij} — компоненты, соответственно, тензоров напряжений и скоростей деформации ползучести. Очевидно, этот критерий идентичен с существующими критериями ползучести Треска и Мизеса, ассоциированными с их же законами течения, и в то же время обладает большей общностью, не будучи связанным, например, с условиями изотропности среды. За меру накопленной повреждаемости за любой промежуток времени Δt_i примем величину рассеянной в процессе ползучести удельной работы

$$A(\Delta t_i) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \sigma_{ij} \eta_{ij} dt \quad (2)$$

Последняя гипотеза в несколько иной формулировке была выдвинута в [1].

Высказанные выше положения проверялись на ряде материалов; результаты этих исследований составляют содержание предлагаемой заметки.

Эксперименты проводились на трех видах материалов, каждый из которых при разрушении вел себя различно. Из листового материала Д16АТ толщиной 4 и 2,5 мм изготавливались плоские образцы с длиной рабочей части 60 мм и испытывались при постоянной температуре 250° С в интервале напряжений от 14 до 20 кг/мм². Длительность до разрушения образца менялась соответственно от 6 до 0,25 час. Разрушение этих образцов носило хрупкий характер, деформация ползучести при разрыве не превышала 5% с малым образованием шейки.

Вторая серия образцов изготовлялась из пруткового (диаметром 14 мм) материала Д16Т с длиной рабочей части 50 мм и диаметром 8 мм. Эксперименты проводились при 250° С в интервале напряжений от 9 до 15 кг/мм². Длительность испытания до разрушения менялась при этом от 100 до 3,5 час. Характер разрушения был средним между хрупким и вязким, с явно выраженным локальным образованием шейки, деформация ползучести составляла примерно 15%.

Третья серия образцов тех же геометрических размеров, что и второй серии, изготовлялась из плиты мягкого дуралюминия толщиной 20 мм. Эксперименты проводились при 200° С в интервале напряжений от 6 до 9 кг/мм². Длительность испытания менялась соответственно от 100 до 5 час. Характер разрушения был существенно вязким, шейки образовывались одновременно в нескольких местах по длине образца. При достижении деформации ползучести порядка 25—30% эксперимент прекращался.

Кривые деформации ползучести, построенные во времени вплоть до момента разрушения, неподобны. Эксперименты показывают, что чем выше уровень напряжения, при котором проводился эксперимент, тем при меньшей величине накопленной деформации ползучести начинается третья стадия. Соответственно и суммарная деформация ползучести при разрушении уменьшается с увеличением напряжения, при котором проводился эксперимент. Если же построить графики удельной работы рассеяния как функции от времени для каждого фиксированного напряжения, то легко обнаружить их геометрическое подобие в том смысле, что если для некоторого напряжения σ_n имеем $A_n = \varphi_n(t)$, то для любого другого напряжения σ_m получим $A_m = \varphi_n(k_m t)$.

Таким образом, изменяя масштаб времени в k_m раз, можно кривые удельной работы рассеяния для разных напряжений свести в одну на всех трех участках ползучести. Это положение было проверено экспериментально и получило хорошее подтверждение на всех трех видах материалов как при постоянных, так и меняющихся в две — три ступеньки напряжениях. В последних случаях коэффициент подобия k_m при перестроении графика удельной работы рассеяния на ступеньке с напряжением σ_m брался тот же, что и при перестроении соответствующего графика работы при постоянном напряжении того же уровня σ_m .

Более наглядную качественную и количественную сторону зависимости между долговечностью и рассеянной в процессе ползучести работой можно получить, построив графики удельной мощности диссипации механической энергии как функции вре-

мени; последние представляют семейство кривых, расположенных одна под другой по мере уменьшения напряжения, при котором проводился эксперимент, и соответственно более вытянутых вдоль оси времени. Выбирая некоторую кривую $W = W(t)$ за основную, а у остальных увеличив (уменьшив) масштаб по оси ординат в k_m раз, чтобы совпали горизонтальные участки, уменьшив (увеличив) при этом в k_m раз соответственно масштаб по оси абсцисс, можно все кривые свести в один пучок. На фигуре в переменных $w = Wk_m$ и $\tau = t/k_m$ представлены перестроенные таким образом кривые удельной мощности диссипации для вязкого материала. Величина рассеянной при ползучести удельной работы за некоторое время τ численно равна площади, ограниченной осями координат, кривой w и отрезком прямой $\tau = \text{const}$. Из приведенного графика видно, что все кривые w практически сливаются в одну до начала третьей стадии ползучести и далее располагаются в заштрихованной области.

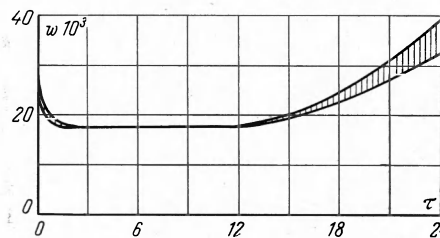
Аналогичные графики имеют место и для материалов двух других серий. Отличие их от приведенного графика заключается в относительном уменьшении продолжительности третьей стадии и увеличении крутизны подъема на ней кривых w по мере увеличения хрупкости материала. Общая тенденция для всех трех материалов — некоторое увеличение крутизны подъема кривых w на третьих участках по мере уменьшения напряжения, при котором проводился эксперимент. Другими словами, с увеличением продолжительности эксперимента материал ведет себя в третьей стадии как более хрупкий, относительная положительность третьей стадии при этом несколько уменьшается.

Из кривых на фигуре (а также аналогичных для других материалов) вытекает, что к началу третьей стадии величина рассеянной удельной работы при ползучести остается постоянной с очень большой степенью точности. Таким образом, если считать, например, переход в третью стадию ползучести как начало разрушения, которой на первых двух стадиях предшествовало некоторое накопление повреждаемостей, то, по-видимому, должна иметь место определенная корреляция между последним и величиной рассеянной в процессе ползучести удельной работы.

В третьей стадии с некоторой погрешностью также можно говорить о постоянстве величины удельной работы рассеяния к любому моменту времени τ вне зависимости от уровня напряженного состояния. В силу изложенного, за один из основных параметров, характеризующих процесс накопления повреждаемостей на всех трех стадиях ползучести, целесообразно принять величину удельной работы рассеяния.

Если принимать в расчет только первые две стадии ползучести, относя все оставшееся в запас по долговечности, то величина рассеянной удельной работы

$$A = \int_0^{t^*} \sigma_{ij} \eta_{ij} dt \quad (3)$$



Фиг. 1

за период этих стадий при заданном температурном режиме будет для данного материала константой, не зависящей от уровня напряженного состояния (t^* — время начала третьей стадии).

Эту константу можно определить из относительно коротких экспериментов, а также из соотношения (3), если величина $W = \sigma_{ij} \eta_{ij}$ известна как функция времени, и таким образом рассчитать долговечность для более длительных сроков службы. Очевидно, что известная формула линейной суммируемости повреждаемостей вытекает из (3) автоматически и приобретает простую физическую интерпретацию.

Не связывая долговечность с какой-либо условной точкой третьей стадии ползучести, из рассмотрения фигуры можно сделать весьма полезный вывод: долговечность двух одинаковых конструкций, работающих в условиях высоких температур, обратно пропорциональна их удельным мощностям диссипации энергии в стадии установившейся ползучести.

Поступила 4 VI 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова В. С., Одинг И. А., Фридман З. Г. Некоторые закономерности длительной прочности. Изв. АН СССР, ОТН, Metallургия и топливо. 1960, № 5.