

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ СТАЛИ 10ГН2МФА

Киквидзе О. Г., Чумбадзе А.

Государственный университет им. А. Церетели, Кутаиси, Грузия,
Omari-k@rambler.ru

Сталь 10ГН2МФА испытывалась при температуре 1180 °С. Длина рабочей части образцов составляла 50 мм., диаметр 10 мм. Все образцы доводились до разрушения. Разрушение носит вязкий характер. Поперечное сечение в месте разрушения стягивалось в точку. Эксперименты показали, что на разных уровнях напряжений накопленная к моменту разрушения деформация ползучести почти одинакова. В табл.1 приведены значения начальных напряжений (σ_0), деформации разрушения (ϵ_*), и времени разрушения (t_*^e). (ϵ_*) и (t_*^e) для каждого уровня напряжений получались путем осреднения результатов трех опытов.

Таблица 1

Материал	Температура °С	Напряжение σ_0 , МПа	Деф. разр. ϵ_* , %	Время разр. t_*^e , С	m	$b \cdot 10^{14}$ МПа ^{-m} С ⁻¹
10ГН2МФА	1180	19,7	86	206	6,26	32,63
		22,2	90	190		
		24,2	88	158		
		26,1	92	127		

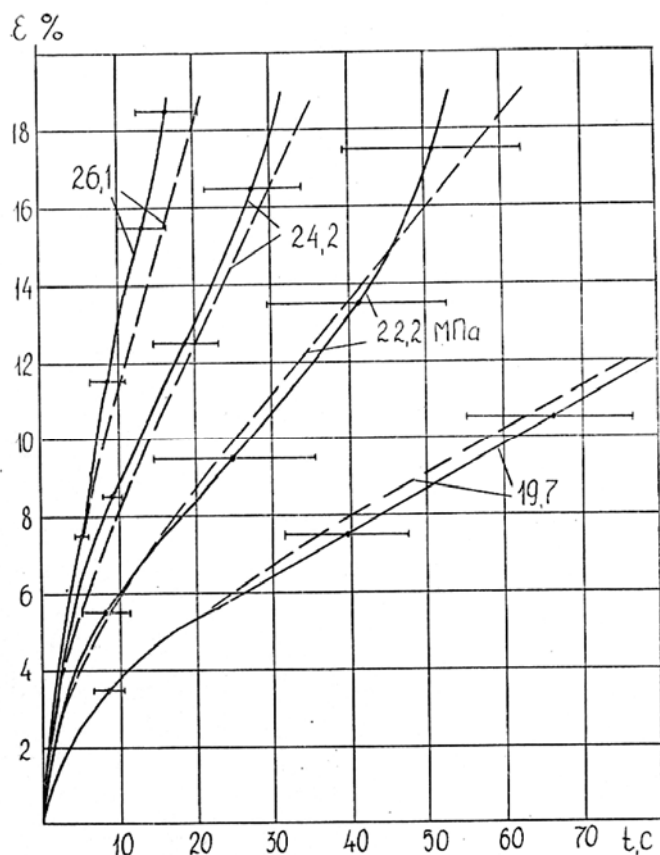


Рис. 1.

На рис.1 сплошными линиями построены осредненные экспериментальные кривые ползучести на которых ярко выражен участок упрочнения.

Как известно [1], при больших деформациях и наличии участка упрочнения, кривые ползучести хорошо описываются по теории упрочнения в формулировке:

$$\xi \bar{\epsilon}^\beta = k \sigma^\nu, \quad (1)$$

где: β, k, ν – постоянные материала при определенной температуре, $\xi = \xi_0 / (1 + \epsilon)$ – скорость логарифмической деформации, $\bar{\epsilon} = \ln(1 + \epsilon)$ – логарифмическая деформация, $\sigma = \sigma_0(1 + \epsilon)$ – действительное напряжение, ϵ – обычная деформация ползучести, $\xi_0 = d\epsilon / dt$ – скорость обычной деформации.

Методика определения постоянных материала β, k, v путем статистической обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов приведена в работе [2]. В таб.2 приведены значения постоянных полученные в результате обработки кривых ползучести при больших деформациях. Используя найденные значения постоянных, на рис.1 штриховыми линиями построены теоретические кривые ползучести по уравнению [1]:

$$t = \left\{ \int_0^{\varepsilon} [\ln(1 + \varepsilon)]^{\beta} d\varepsilon / (1 + \varepsilon)^{v+1} \right\} / (k\sigma_0^v). \quad (2)$$

Поврежденность материала приближенно может быть оценена на основе кинетического уравнения для сплошности (ψ):

$$d\psi / dt = -b(\sigma / \psi)^m, \quad (3)$$

где b, m – постоянные материала при определенной температуре.

Для сплошности имеем следующие условия (t_* - время разрушения):

$$\psi(0) = 1, \quad \psi(t_*) = 0. \quad (4)$$

Для определения постоянных b и m проинтегрируем (3) с учетом (4), получим:

$$\int_0^{t_*} (1 + \varepsilon)^m dt = [(m + 1)b\sigma_0^m]^{-1}. \quad (5)$$

Заменяя переменную интегрирования используя уравнение состояния (1), из выражения (5) имеем:

$$\int_0^{\varepsilon_*} [\ln(1 + \varepsilon)]^{\beta} (1 + \varepsilon)^{m-v-1} d\varepsilon = k\sigma_0^{v-m} / [(m + 1)b]. \quad (6)$$

Сопоставляя результаты i – го и j – го опытов, методом простой итерации вычисляется постоянная ($m_{ij}^{(n)}$) (n – номер итерации):

$$m_{ij}^{(n)} = v + \ln \left| \frac{\int_0^{\varepsilon_{*j}} [\ln(1 + \varepsilon)]^{\beta} (1 + \varepsilon)^{m_{ij}^{(n-1)} - v - 1} d\varepsilon}{\int_0^{\varepsilon_{*i}} [\ln(1 + \varepsilon)]^{\beta} (1 + \varepsilon)^{m_{ij}^{(n-1)} - v - 1} d\varepsilon} \right| / \ln \left| \frac{\sigma_{0j}}{\sigma_{0i}} \right|. \quad (7)$$

Для оценки значения m принимается среднее арифметическое результатов m_{ij} . Зная m , из уравнения (6) определяются величины b_i для i – го опыта. Их среднее арифметическое считается оценкой постоянной b . Значения постоянных b и m приведены в табл.1.

Уравнение состояния (1) не описывает третью стадию на кривых ползучести и не учитывает влияние поврежденности на ползучесть. Для устранения этих недостатков в уравнение состояния вводится параметр поврежденности [3]. При наличии участка упрочнения и когда деформация разрушения не зависит от начального напряжения, кинетические уравнения ползучести и длительной прочности имеют вид [2]:

$$\xi = a [\sigma / (1 - \omega)]^{m_1} \bar{\varepsilon}^{-m_2}, \quad (8)$$

$$d\omega / dt = b_1 [\sigma / (1 - \omega)]^{m_1}, \quad (9)$$

где a, b_1, m_1, m_2 – постоянные материала при определенной температуре, ω – параметр поврежденности ($\omega(0) = 0, \omega(t_*) = 1$).

Используя уравнения (8) и (9), после несложных преобразований получаются выражения для деформации разрушения и параметра поврежденности:

$$\bar{\varepsilon}_*^{m_2+1} = a(m_2 + 1)b_1, \quad (10)$$

$$\omega = (\bar{\varepsilon} / \bar{\varepsilon}_*)^{m_2+1}. \quad (11)$$

Сопоставляя результаты i -го и j -го опытов, постоянные m_1 и b_1 находятся как:

$$m_{1ij} = \ln \left| \frac{\int_0^{t_{*j}} (1 + \varepsilon_j)^{m_1} dt}{\int_0^{t_{*i}} (1 + \varepsilon_i)^{m_1} dt} \right| / \ln \left| \frac{\sigma_{0i}}{\sigma_{0j}} \right|, \quad (12)$$

$$b_{1i} = 1 / [\sigma_{0i}^{m_1} (m_1 + 1) \int_0^{t_{*i}} (1 + \varepsilon_i)^{m_1} dt]. \quad (13)$$

Значения m_{1ij} вычисляются численно для каждой пары опытов, а их среднее арифметическое определяет оценку m_1 . Для нахождения постоянной m_2 имеется выражение:

$$m_{2i} = \ln \left| 1 - [1 - (m_1 + 1)b_1 \sigma_{0i}^{m_1} \int_0^{t_{*i}} (1 + \varepsilon_i)^{m_1} dt]^{1/(m_1+1)} \right| / \ln |\bar{\varepsilon}_i / \bar{\varepsilon}_{*i}| - 1. \quad (14)$$

Оценкой m_2 является среднее арифметическое величин m_{2i} . Используя выражение (10), определяется постоянная a_i в i -м опыте:

$$a_i = b_1 \bar{\varepsilon}_{*i}^{m_2+1} / (m_2 + 1).$$

В отличие от известной методики определения постоянных a, b_1, m_1, m_2 [2], в данной работе используются кривые ползучести до разрушения и для вычислений необходимо провести интегрирование а не дифференцирование деформации ползучести, что повышает точность вычислений.

В табл.2 даны значения постоянных a, b_1, m_1, m_2 для ст.10ГН2МФА после обработки экспериментальных данных по предложенной методике.

Таблица 2

Материал	Температура °С	ν	β	$k10^{14}$ МПа $^{-\nu}$ С $^{-1}$	m_1	m_2	$a10^6$ МПа $^{-m_1}$ с $^{-1}$	b_110^5 МПа $^{-m_1}$ с $^{-1}$
10ГН2МФА	1180	6,78	1,07	6,97	1,48	0,7	3,46	1,3

Список литературы

1. Малинин Н.Н. Ползучесть в обработке металлов.- М.: Машиностроение,1986.-220 с.
2. Романов К.И. Механика горячего формоизменения металлов. - М.: Машиностроение, 1993.-242 с.
3. Работнов Ю.Н. Введение в механику разрушения. - М.: Наука,1987.- 97 с.