

О ДЕФОРМАЦИОННО-СКОРОСТНОМ ПАРАМЕТРЕ ПОВРЕЖДЁННОСТИ И ВРЕМЕНИ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ

Панамарев В.А.,

к.ф.-м.н., доцент,

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк
panamar2k@gmail.ru

Карпов Е.В.,

к.ф.-м.н., ст. научный сотрудник,

Институт гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск
1karpov1@yandex.ru

Ларичкин А.Ю.,

мл. научный сотрудник,

Институт гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск
laracroft2013@gmail.com

Журавлева М.И.,

ст. преподаватель,

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк
craneoff@mail.ru

Материалы II международной научно-практической конференции “Современные тенденции и инновации в науке и производстве”, г. Междуреченск, 3-5 апреля 2013 г.

ABOUT THE DEFORMATION AND HIGH- SPEED PARAMETER OF DAMAGE AND TIME OF DESTRUCTION OF MATERIALS AT CREEP

Panamarev V.A.,

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, the associate professor,
the Siberian state industrial university, Novokuznetsk

Karpov E.V.,

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior research officer, Hydrodynamics Institute of M.A.Lavrentyev,
the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Novosibirsk

Larichkin A.Yu.,

Junior research officer, Hydrodynamics Institute of M.A.Lavrentyev,
the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Novosibirsk

Zhuravleva M.I.,

senior lecturer, the Siberian state industrial university, Novokuznetsk

Materials of the Second international scientific and practical conference “Current Trends and Innovations in Science and Production”, Mezhdurechensk, 3-5 of April, 2013.

Согласно кинетической теории считается, что процесс ползучести протекает одновременно с процессом повреждаемости материала и эти процессы взаимно зависимы [1]. При этом некоторый параметр повреждённости ω характеризует собой изменения, возникшие в материале в процессе

деформирования. В исходном состоянии материала $\omega = 0$, а в момент разрушения $\omega = 1$. При высоких температурах некоторые металлические материалы в процессе ползучести разрушаются при постоянной, критической величине логарифмической деформации ϵ_* , не зависящей от величины действующего напряже-

ния и, следовательно, от скорости деформации. Для подобных материалов в качестве параметра поврежденности можно принять отношение текущей логарифмической деформации к критической $\omega = \varepsilon / \varepsilon_*$ [2]. В этом случае параметр ω пропорционален величине деформации и его можно называть деформационным параметром поврежденности. Но если эксперименты показывают, что деформация разрушения материала ε_* существенно зависит от скорости деформации, то для такого материала параметр поврежденности вида $\omega = \varepsilon / \varepsilon_*$ не приемлем. К такому материалу относится, например, алюминиевый сплав В950чТ1 при температуре 165°C. В таблице 1 приведены значения деформаций разрушения стержня из этого сплава ε_* при различных скоростях деформации ξ в состоянии ползучести, полученные в отделе механики деформируемого твердого тела Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН.

Таблица 1

Экспериментальные значения ε_* при различных ξ

ξ, c^{-1}	$4,10 \cdot 10^{-6}$	$4,10 \cdot 10^{-5}$	$4,10 \cdot 10^{-4}$
ε_*	0,105	0,175	0,240

В соответствии с приведёнными экспериментальными данными рассчитана следующая параболическая зависимость величины деформации разрушения стержня ε_* из сплава В950чТ1 при температуре 165°C от скорости его деформации ξ :

$$\varepsilon_*(\xi) = -4,2396 \cdot 10^6 \cdot \xi^2 + 2,0882 \cdot 10^3 \cdot \xi + 0,0965; \quad \xi \in (4,10 \cdot 10^{-6}; 4,10 \cdot 10^{-4}). \quad (1)$$

В работе [3] предложен деформационно-скоростной параметр поврежденности, определённый по формуле

$$\omega(t) = \int_0^t \frac{\xi(t)}{\varepsilon_* [\xi(t)]} dt, \quad (2)$$

где скорость деформации является переменной величиной, область значений которой принадлежит некоторому ε_* от скорости его деформации ξ :

$$\varepsilon_* [\xi(t)] = a \cdot \xi^2(t) + b \cdot \xi(t) + c \quad (3)$$

формула (2) примет вид

$$\omega(t) = \int_0^t \frac{\xi(t)}{a \cdot \xi^2(t) + b \cdot \xi(t) + c} dt \quad (4)$$

Поставим задачу: аналитически определить деформационно-скоростной параметр поврежденности вида (4) растягиваемого в состоянии ползучести стержня при постоянной скорости его деформирования, являющуюся скоростью изменения его текущей длины $L: v = dL / dt = const$.

При $v = const$ логарифмическая деформация стержня примет вид

$$\varepsilon = \ln(L / L_0) = \ln[(L_0 + v \cdot t) / L_0], \quad (5)$$

где L_0 – начальная длина стержня в момент времени $t = 0$. Скорость логарифмической деформации $\xi \equiv \frac{d\varepsilon}{dt}$ определяется соотношением

$$\xi(t) = \frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{dt} = \frac{v}{L_0 + v \cdot t}. \quad (6)$$

Подставляя значение $\xi(t)$ из соотношения (6) в равенство (4), после соответствующих преобразований получим

$$\omega(t) = \frac{1}{c v} \cdot \int_0^t \frac{v t + L_0}{t^2 + \left(\frac{b}{c} + \frac{2L_0}{v}\right)t + \frac{a}{c} + \frac{bL_0}{c v} + \frac{L_0^2}{v^2}} dt \Leftrightarrow$$

$$\omega(t) = \frac{1}{c v} \cdot \int_0^t \frac{v t + L_0}{t^2 + p t + q} dt,$$

$$\text{где } p \equiv \left(\frac{b}{c} + \frac{2L_0}{v}\right), \quad q \equiv \frac{a}{c} + \frac{bL_0}{c v} + \frac{L_0^2}{v^2}. \quad (7)$$

Значения этого интеграла зависят от значения величины $4q - p^2$ [4].

При $4q - p^2 = 0$:

$$\omega(t) = \frac{1}{c} \cdot \ln \left| \frac{2t + p}{p} \right| - \left(\frac{2L_0 - v p}{c v} \right) \cdot \left(\frac{1}{2t + p} - \frac{1}{p} \right); \quad (8)$$

$$\text{при } 4q - p^2 > 0: \quad \omega(t) = \frac{1}{2c} \cdot \ln \left| \frac{t^2 + p \cdot t + q}{q} \right| +$$

$$+ \frac{2L_0 - \nu p}{c\nu \cdot \sqrt{4q - p^2}} \cdot \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{2t + p}{\sqrt{4q - p^2}} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{p}{\sqrt{4q - p^2}} \right) \right]; \quad (9)$$

$$\text{при } 4q - p^2 < 0: \quad \omega(t) = \frac{1}{2c} \cdot \ln \left| \frac{t^2 + p \cdot t + q}{q} \right| +$$

$$+ \frac{2L_0 - \nu p}{2c\nu \cdot \sqrt{p^2 - 4q}} \cdot \ln \left| \frac{(\sqrt{p^2 - 4q} + p + 2t)(\sqrt{p^2 - 4q} - p)}{(\sqrt{p^2 - 4q} - p - 2t)(\sqrt{p^2 - 4q} + p)} \right|. \quad (10)$$

Во всех соотношениях (8)-(10) использованы обозначения, принятые в (7).

Приравняв левые части равенств (8)-(10) к единице, получим уравнения для определения времени

разрушения стержня $t = t_*$, поскольку в момент разрушения выполняется условие $\omega = 1$, то есть $\omega(t_*) = 1$. Полученные при этом трансцендентные уравнения относительно t_* при известных числовых параметрах a , b и c можно решить численным методом, то есть численно определить время t_* .

Таким образом, в работе аналитически определён деформационно-скоростной параметр повреждённости вида (4) растягиваемого в состоянии ползучести стержня при постоянной скорости его деформирования и показана возможность численного определения времени разрушения стержня.

Список литературы

1. Локощенко А.М. Моделирование процесса ползучести и длительной прочности металлов – М.: МГИУ, 2007. – 264 с.
2. Романов К.И. Механика горячего формоизменения металлов. М.: Машиностроение, 1993. – 240 с.
3. Панамарев В.А, Карпов Е.В., Перетяцько В.Н., Лактионов С.А. Об одном параметре повреждённости материалов при ползучести// Краевые задачи и математическое моделирование: сб. науч. ст. / НФИ КемГУ; под общ. ред. В.О. Каледина. – Новокузнецк, 2012. – С. 116–122.
4. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. Для вузов. М.: Физматгиз, 1961. – 748 с.

(Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 11-08-00845-а)