Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. В. Стружанов, Определение инкрементальных модулей по результатам испытаний на растяжение с построением полной диаграммы, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2008, выпуск 1(), 160–163

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu591>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.224.187.69

26 апреля 2023 г., 16:07:45

*E. V. Bashkinova***MATHEMATICAL MODELING OF LONG DURABILITY OF THICK-WALLED PIPES ON THE BASIS OF CONCEPT THE INTEGRAL-AVERAGE EQUIVALENT PRESSURE**

The generalized model of long durability construction's elements on the basis of integral-average equivalent stresses is offered. It is shown, that integral-average equivalent stresses are practically invariant sizes during deformation of a pipe from elastic (elastoplastic) conditions down to fracture. Results developed a generalized model for thick-walled pipes are resulted at creep for one-parametrical loading with use of various kinds integral-average equivalent stress are given. Check of adequacy calculation's data to experimental data is executed.

Samara State Technical University, Samara, Russia

Received 12.12.2007

УДК 539.3*В. В. Стружанов***ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНКРЕМЕНТАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ НА РАСТЯЖЕНИЕ С ПОСТРОЕНИЕМ ПОЛНОЙ ДИАГРАММЫ**

Формулируются требования к эксперименту на растяжение, выполнение которых необходимо для определения инкрементальных модулей как на стадии упрочнения, так и на стадии разупрочнения материала. Приводятся экспериментальные данные для серого чугуна, полученные на специальной установке с переменной жёсткостью, и реализуется их пересчёт в зависимости инкрементальных модулей от продольной деформации.

В работе [1] показано, что для определения инкрементальных модулей материала на всех стадиях деформирования необходимо иметь зависимости условных напряжений и поперечных деформаций от продольных деформаций как при упрочнении, так и при разупрочнении. Тогда

$$E^p = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}, \quad \nu^p = -\frac{d\varepsilon^\nu}{d\varepsilon}, \quad K^p = \frac{E^p}{1 - 2\nu^p}, \quad G^p = \frac{E^p}{2(1 + \nu^p)}. \quad (1)$$

Здесь E^p , K^p , G^p — соответственно инкрементальные (мгновенные, касательные) модули: продольный, объёмный и сдвига; σ — условное напряжение растяжения, ε — продольная деформация, ν^p — мгновенный коэффициент поперечной деформации, ε^ν — поперечная деформация. Указанные зависимости можно получить, используя экспериментальную полную диаграмму деформирования, состоящую из восходящей и ниспадающей до нуля ветвей, а также результаты замеров поперечной деформации. Необходимыми условиями для получения таких экспериментальных данных являются, во-первых, повышенная жёсткость нагружающего устройства, позволяющая избежать динамического разрушения образца при неизбежной локализации деформаций, во-вторых, отсутствие локального сужения в образце, что обеспечивает корректность измерения поперечной деформации.

Первому условию удовлетворяет, например, устройство для растяжения, выполненное по схеме реверсора [2] (рис. 1, а). Она содержит две массивные треугольной формы неподвижные платформы 1, скреплённые тремя стержнями 3, две массивные треугольной формы подвижные платформы 2, скреплённые тремя стержнями 4, червячный редуктор 5, нажимной винт 6, дюралюминиевый стержень 7. При необходимости для увеличения жёсткости установка снабжается двумя упругими стержнями 9 (упругими тягами), расположенными параллельно образцу 8.

При повороте ручки редуктора винт 6, упирающийся в стержень 7, вворачивается в верхнюю подвижную платформу, увеличивая расстояние u (рис. 1, а). Нижняя подвижная платформа, перемещаясь при этом вверх, растягивает образец, увеличивая его длину на величину u_2 . В результате действия возникающих в системе усилий стержни 3 укорачиваются на величину u_1 , а верхний конец стержня 7 перемещается вниз на величину u_7 .

На нижнем захвате 10 (рис. 1, а) наклеен тензометрический мост для измерения усилий в образце. В ходе растяжения измеряется диаметр рабочей части образца с помощью модернизированных тензодатчиков прибора СИП 250. Измерительная система снабжена необходимыми средствами усиления

Рис. 1. Схема установки (а); стержневой аналог установки (б)

и расшифровки сигналов, которые вводятся в персональный компьютер, снабжённый специальным программным обеспечением для обработки сигналов [2].

Решающую роль при экспериментальном построении полных диаграмм растяжения играет жёсткость установки. Для определения этой характеристики мысленно скрепим захваты (образец и тяги отсутствуют) и, вворачивая винт, зафиксируем некоторое значение u . В результате полная потенциальная энергия установки (деформирование упругое) определится выражением

$$\Pi = \frac{3E_3F_3}{2L_3}v_1^2 + \frac{E_7F_7}{2L_7}(v_7 - v_1)^2 + \frac{E_{10}F_{10}}{2L_{10}}v_2^2 + \frac{3E_4F_4}{2L_4}(u - v_7 - v_2)^2 - \int_0^u Q du.$$

Здесь $E_3 = E_{10} = E_4 = 2,1 \cdot 10^5$ МПа (модуль Юнга стали), $E_7 = 7,5 \cdot 10^4$ МПа (модуль Юнга дюралюминия), $F_3 = F_4 = 706,5$ мм² (площади поперечных сечений стержней 3 и 4), $F_{10} = 615,5$ мм² и $F_7 = 103$ мм² (площади поперечных сечений стержней 10 и 7), $L_3 = 342$ мм, $L_4 = 240$ мм, $L_7 = 60$ мм, $L_{10} = 280$ мм (длины соответствующих стержней), Q — сила, с которой винт давит на стержень 7. Согласно принципу минимума потенциальной энергии система находится в равновесии, если

$$\frac{\partial \Pi}{\partial v_1} = 0, \quad \frac{\partial \Pi}{\partial v_2} = 0, \quad \frac{\partial \Pi}{\partial v_7} = 0, \quad \frac{\partial \Pi}{\partial u} = 0. \quad (2)$$

Разрешая уравнения (2), находим

$$Q = \left(\frac{L_4}{3E_4F_4} + \frac{L_{10}}{E_{10}F_{10}} + \frac{L_7}{E_7F_7} + \frac{L_3}{3E_3F_3} \right)^{-1} \cdot u = cu,$$

где c — жёсткость установки. После необходимых вычислений получаем $c = 88,9$ кН/мм.

Таким образом, данная установка подобна по энергии стержневой системе, состоящей из образца 1, упругих тяг 2, 3 с жёсткостью k каждая и упругого стержня 4 с жёсткостью, равной c (рис. 1, б). Растяжение осуществляется посредством задания перемещения u свободному концу стержня 4 (x — удлинение образца).

Система описывается потенциальной функцией [3]

$$\Pi = \int_0^x q(x)dx + \frac{1}{2}c(u - x)^2 + kx^2,$$

где q — усилие растяжения образца. Известно [2], что равновесный характер квазистатического деформирования нарушается тогда, когда

$$\frac{d^2\Pi}{dx^2} = \frac{dq}{dx} + c + 2k = 0.$$

Следовательно, равновесное деформирование будет иметь место, когда выполняется неравенство $\frac{dq}{dx} > -c - 2k$. Таким образом, если для получения экспериментальной зависимости $\sigma(\varepsilon)$ с падающей ветвью жёсткости c установки недостаточно, то во многих случаях этого можно добиться, подбирая жёсткость k упругих тяг.

На описанной выше установке испытывали специальные образцы с малой рабочей частью из литого в землю серого чугуна. Образцы имели длину 2 мм и диаметр 3 мм [4]. Выбор материала обусловлен отсутствием локального сужения (шейки) при растяжении, а геометрия образца обусловлена жёсткостью установки и возможностью её увеличения посредством подключения упругих тяг.

Экспериментальные данные [4] аппроксимировали зависимостями $\sigma = e^a \varepsilon^b e^{c\varepsilon}$ ($a = 8,844$, $b = 0,578$, $c = -133,083$) (рис. 2, а) и $\varepsilon^\nu = -e^m \varepsilon^n e^{l\varepsilon}$ ($m = 1,353$, $b = 1,388$, $l = -108,911$) (рис. 2, б). На этих рисунках ε_z — предельная деформация, ε^B — деформация предела прочности.

Теперь по формулам (1) находим выражения для инкрементальных модулей:

$$E^p = e^a (b\varepsilon^{b-1} + c\varepsilon^b) e^{c\varepsilon}, \quad \nu^p = e^m (n\varepsilon^{n-1} + l\varepsilon^n) e^{l\varepsilon}, \quad (3)$$

$$K^p = \frac{e^a (b\varepsilon^{b-1} + c\varepsilon^b) e^{c\varepsilon}}{1 - 2e^m (n\varepsilon^{n-1} + l\varepsilon^n) e^{l\varepsilon}}, \quad G^p = \frac{e^a (b\varepsilon^{b-1} + c\varepsilon^b) e^{c\varepsilon}}{2[1 + e^m (n\varepsilon^{n-1} + l\varepsilon^n) e^{l\varepsilon}]}. \quad (4)$$

Зависимости (3) и (4) изображены на рис. 3–4.

Рис. 2. Диаграмма растяжения (а); зависимость поперечной деформации от продольной деформации (б)

Рис. 3. Зависимость $E^p(\varepsilon)$ — а; зависимость $\nu^p(\varepsilon)$ — б

Рис. 4. Зависимость $K^p(\varepsilon)$ — а; зависимость $G^p(\varepsilon)$ — б

Зависимость $\nu^p(\varepsilon)$ (рис. 3, б) показывает, что после деформации $\varepsilon^* = 0,013$ сужение образца сменяется его расширением (происходит разбухание материала). На рис. 3–4 видно, что при деформации $\varepsilon = 0,04$ значения инкрементальных модулей мало отличаются от нуля, т.е. материал уже практически разрушен. В отличие от модельного примера, приведённого в работе [1], модуль K^p не имеет разрыва, так как мгновенный коэффициент поперечной деформации не достигает значения $\frac{1}{2}$. Плавный характер изменения инкрементальных модулей указывает на то, что процесс повреждения материала происходит постепенно и плавно, без скачкообразного возрастания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-01-96087-р-урал)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стружанов, В. В. Уругопластическая среда с разупрочнением. Сообщение 1. Свойства материала и инкрементальный закон пластичности при растяжении [Текст] / В. В. Стружанов // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки. — 2006. — № 42. — С. 49–61. — ISBN 5-7964-0815-1.
2. Миронов, В. И. Установка для определения механических свойств материала на стадии разупрочнения [Текст] / В. И. Миронов, В. И. Микушин, А. П. Владимиров и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2001. — Т. 67, № 3. — С. 48–51. — ISSN 1028-6861.
3. Стружанов, В. В. Деформационное разупрочнение материала в элементах конструкций [Текст] / В. В. Стружанов, В. И. Миронов. — Екатеринбург: УрО РАН, 1995. — 191 с. — ISBN 5-7691-0493-7.
4. Миронов, В. И. Свойства материала в реологически неустойчивом состоянии [Текст] / В. И. Миронов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2002. — Т. 68, № 10. — С. 47–52. — ISSN 1028-6861.

Институт машиноведения УрО РАН, г.Екатеринбург
stru@imach.uran.ru

Поступила 01.02.2008

V. V. Struzhanov

DETERMINATION OF INCREMENTAL MODULES ON BASE OF TENSION TEST RESULTS WITH FULL DIAGRAM CONSTRUCTION

Demands on the tension experiment to determine incremental modules both on hardening material stage and softening one are formulated. The experimental data for the grey iron obtained on the special test machine with altering rigidity are presented. The dependencies of incremental modules upon tensile strain are calculated on the base of experimental data.

Institute of Engineering Science, Ural Branch,
Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia
stru@imach.uran.ru

Received 01.02.2008