

3. Необхідною передумовою для точного визначення механічних властивостей кісткової тканини є стандартизація методики виготовлення зразків і умов навантаження з урахуванням орієнтації ліній максимальної жорсткості, притаманних нижній щелепі.

#### Список літератури

1. Бегун П.И., Шукейло Ю.А. Биомеханика: Учебник для вузов. - СПб.: Политехника, 2000.-463 с.
2. Добелис М.А., Саулгозис Ю.Ж. Роль структурных компонентов компактной костной ткани в ее деформативности и несущей способности. В кн. Современные проблемы биомеханики. Выпуск 2. Механика биологических тканей. Рига «Зинатне», 1985, с. 70-102.
3. Кадурін О.К., Вирва О.С., Леонтьєва Ф.С. Біофізичні властивості компактної кісткової тканини. – Х.: Прапор, 2007–136с.
4. Arendts F.J., Mechanical characteristics of the human mandible and study of in vivo behavior of compact bone tissue, a contribution to the description of biomechanics of the mandible-II // Biomed Tech. 1990 35(6):123-30.
5. Hara T, Takizawa M, Sato T, Ide Y. Mechanical properties of buccal compact bone of the mandibular ramus in human adults and children: relationship of the elastic modulus to the direction of the osteon and the porosity ratio. Bull Tokyo Dent Coll. 1998 Feb;39(1):47-55.
6. Linde F, Hvid I, Madsen F. The effect of specimen geometry on the mechanical behaviour of trabecular bone specimens. J Biomech. 1992 Apr;25(4):359-68
7. Natali A. N., Meroi E. A., A review of the biomechanical properties of bone as a material. Journal of Biomechanical Engineering (1988), 11, 266-275.
8. O'Mahony AM, Williams JL, Katz JO, Spencer P. Anisotropic elastic properties of cancellous bone from a human edentulous mandible. Clin Oral Implants Res. 2000; 11(5):415-421.
9. Schwartz-Dabney C.L., Dechow P.C. Variations in cortical material properties throughout the human dentate mandible // American journal of physical anthropology 120:252–277 (2003)
10. Shahar R, Zaslansky P, Barak M, Friesem AA, Currey JD, Weiner S. Anisotropic Poisson's ratio and compression modulus of cortical bone determined by speckle interferometry. J Biomech. 2007;40(2):252-64.

УДК 539.388.1

Т.Н. Можаровская канд.техн.наук, В.Н. Можаровский, канд.техн.наук Н.И. Штефан, канд.техн.наук  
НТУ Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

## О ЗАВИСИМОСТИ ВРЕМЕНИ ДО РАЗРУШЕНИЯ И УСТАНОВИВШЕЙСЯ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*В статті представлені закономірності деформування сталі 08X18N9 ( $T=873K$ ) при довготривалому статичному навантаженні. Встановлено залежність між мінімальною швидкістю деформації повзучості і часом до руйнування конструкційних матеріалів. Виконаний комплекс досліджень дозволить в подальшому розробити експериментально обґрунтовані підходи щодо оцінки ресурсу конструкційних матеріалів з урахуванням ряду експлуатаційних факторів.*

*The paper presents the regularities of deformation in steel 08Kh18N9 ( $T = 873K$ ) under long-term static loading. The relationship between the minimum strain rate in creep and the time to fracture of structural materials has been established. A complex set of the performed investigations will make it possible to further develop the experimentally justified approaches for assessing the life of structural materials with consideration of a number of service factors.*

Большинство реальных элементов конструкций в процессе их эксплуатации подвергается действию комплекса термомеханического нагружения. Повышение требований к точности расчетов ответственных элементов конструкций с точки зрения их несущей способности предопределяет необходимость всестороннего исследования закономерностей деформирования и разрушения конструкционных материалов с учетом факторов, которые сопутствуют реальным условиям эксплуатации (температура, вид напряженного состояния, вид нагружения и др.) и совершенствование методов их расчета.

В этой связи представляется актуальным исследование свойств существующих конструкционных материалов в условиях ползучести.

Расчеты на ползучесть в основном базируются на результатах экспериментальных исследований при одноосном напряженном состоянии. Причем наибольший интерес представляют первая и вторая стадии ползучести поскольку при эксплуатации элементов конструкций не допускается потеря устойчивости или развитие трещин, что присуще третьей стадии ползучести, изучение которой существенно в связи с анализом разрушения элементов конструкций.

В качестве основной характеристики при расчетах на ползучесть в условиях линейного напряженного состояния принимают минимальную скорость деформаций ползучести  $\dot{\xi}_{c.min}$ . Поэтому несомненный интерес представляет взаимосвязь между минимальной скоростью деформаций ползучести ( $\dot{\xi}_{c.min}$ ) и временем до разрушения ( $t_p$ ) материалов.

В настоящей работе представлены результаты такой взаимосвязи для стали 08X18H9 (T=873K) при длительном статическом нагружении в виде модифицированного критерия Хоффа [1].

Обработка проведенных экспериментальных исследований показала, что кривые ползучести (рис.1) на первых двух участках удовлетворительно описываются уравнением [2, 3]:

$$\varepsilon_c = \left(\frac{kt}{\beta}\right)^\beta \exp\left(\frac{\beta\sigma}{c}\right), \quad (1)$$

где  $k, \beta, c$  - постоянные материала, значения которых для исследуемой стали и температуры испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения постоянных  $k, \beta, c$  для стали 08X18H9 (T=873K)

$k, (\%)^{1/\beta}$	$\beta$	$c, \text{МПа}$
$4,2 \cdot 10^{-7}$	0,700	14,00

Третья стадия ползучести, как видно из рис.1, составляет сравнительно небольшую часть времени до разрушения. Это объясняется быстрым ростом скорости деформации ползучести на этом этапе.

Полученные результаты исследований, которые представлены на рис.1, позволили установить взаимосвязь минимальной скорости ползучести ( $\dot{\xi}_{c.min}$ ) и времени до разрушения ( $t_p$ ) от величины действующего напряжения  $\sigma$  (рис.2 и рис.3).

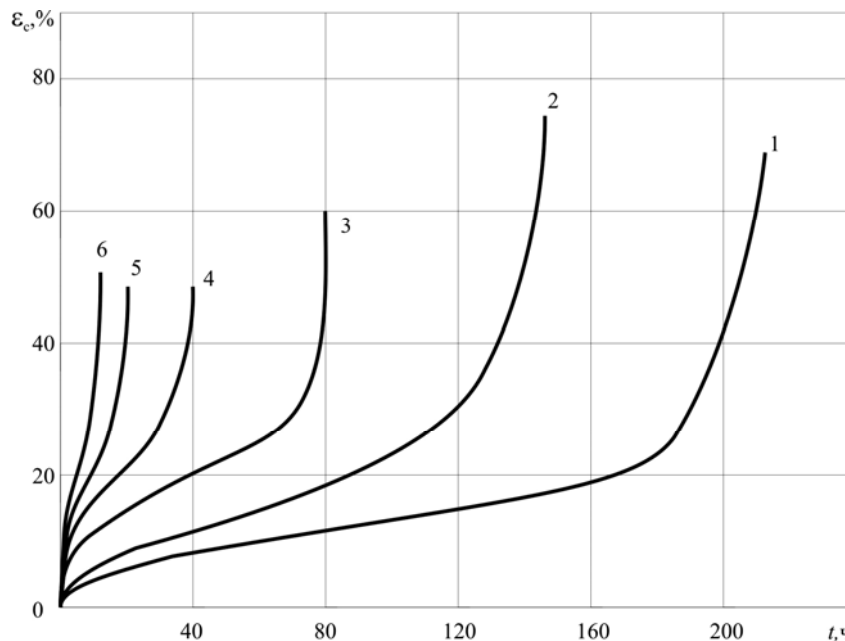


Рис. 1. Кривые ползучести стали 08X18H9 при T=873K (1-  $\sigma=190$ МПа, 2 -  $\sigma=200$ МПа, 3 -  $\sigma=220$ МПа, 4 -  $\sigma=240$ МПа, 5 -  $\sigma=260$ МПа, 6 -  $\sigma=280$ МПа)

Зависимость, представленная на рис.2, удовлетворительно описывается уравнением [3]:

$$\dot{\xi}_{c.min} = B\sigma^n, \quad (2)$$

где  $B, n$  – постоянные материала, значения которых представлены в таблице 2.

Зависимость времени до разрушения ( $t_p$ ) от величины действующего напряжения  $\sigma$  (рис.3) может быть удовлетворительно описана уравнением [3]:

$$t_p = A\sigma^{-m}, \quad (3)$$

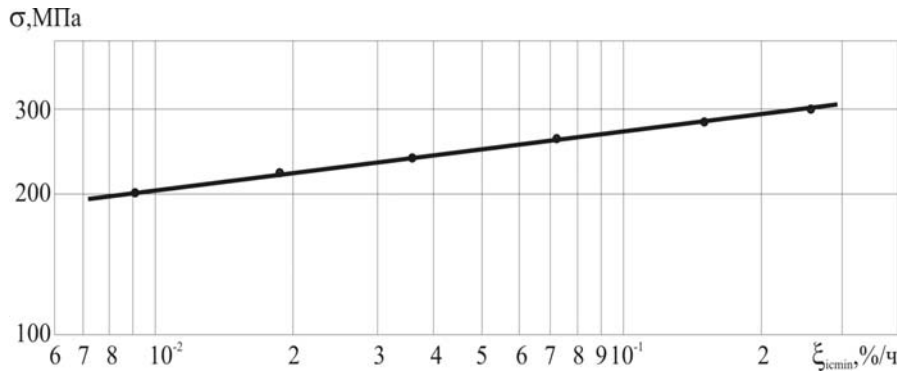


Рис. 2. Зависимость минимальной скорости деформаций ползучести от напряжения для стали 08X18N9 при T=873K

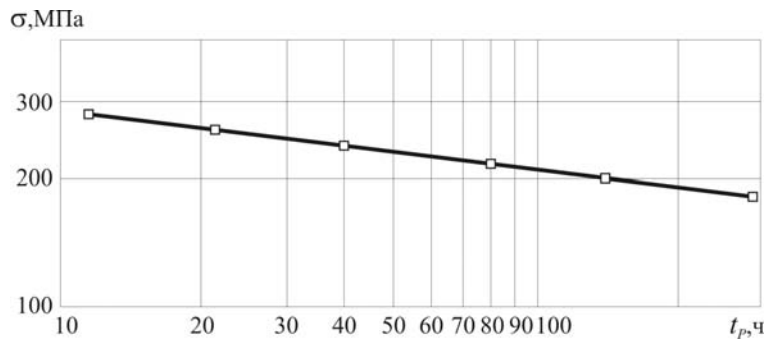


Рис. 3. Кривая длительной прочности для стали 08X18N9 при T=873K

Таблица 2

Значения постоянных  $B, n$  для стали 08X18N9 (T=873K)

$B \frac{\%}{ч} (МПа)^{-n}$	$n$
$8,579 \cdot 10^{-22}$	8,253

где  $A, m$  – постоянные материала, значения которых представлены в таблице 3.

Таблица 3

Значения постоянных  $A, m$  для стали 08X18N9 (T=873K)

$A, (МПа)^m ч$	$m$
$8,339 \cdot 10^{18}$	7,263

При достаточно высоких напряжениях, в условиях растяжения зависимость времени до разрушения ( $t_p$ ) от минимальной скорости деформации ползучести ( $\xi_{c.min}$ ) для ряда материалов и сплавов описывается известным критерием Хоффа [4]:

$$t_p \xi_{c.min} = C, \quad (4)$$

который получен исходя из предположения, что при длительном статическом одноосном нагружении цилиндрического образца в условиях ползучести, объём тела остаётся постоянным ( $C$  – постоянная материала).

Используя зависимости (3) и (2), получим:

$$t_p \xi_{c.min} = ADB \sigma^{n-m} = Cf(\sigma), \quad (5)$$

где  $A, B, m, n$  – постоянные материала, определяемые экспериментально (табл. 2, 3).

Из зависимости (5) следует, что  $t_p \xi_{c.min}$  при  $T=Const$  является нелинейной функцией напряжений.

Таким образом, критерий Хоффа может быть справедлив только для тех материалов и условий испытаний, при которых значения постоянных  $m$  и  $n$  по абсолютной величине равны. Так например, это наблюдается для алюминиевого сплава 3SH18 [5].

Исходя из полученных результатов испытаний стали 08X18N9 (T=873K)  $|m| \neq |n|$ .

В связи с вышеизложенным, критерий Хоффа (4) может быть представлен в виде:

$$t_p \xi^{\frac{m}{n}} c. \min = C \quad (6)$$

Соотношение (6) устанавливает взаимосвязь между установившейся скоростью деформаций ползучести и временем до разрушения и является критерием разрушения в условиях ползучести при одноосном растяжении для всех материалов при различных температурах испытаний. Нетрудно видеть, что при  $|m| = |n|$ , выражение (6) приводится к известному критерию Хоффа [4].

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования на ползучесть стали 08X18N9 (T=873K) при длительном активном нагружении в условиях одноосного растяжения позволили установить взаимосвязь между минимальной скоростью деформаций ползучести как основной характеристикой при расчетах на ползучесть и временем до разрушения, а также показать, что критерий Хоффа выполняем не для всех материалов, и тем самым модифицировать его и привести к виду (6), что позволит распространить его на более широкий класс материалов и в дальнейшем разработать экспериментально обоснованные подходы по оценке ресурса конструкционных материалов с учетом ряда эксплуатационных факторов.

### Список литературы

1. Можаровская Т.Н. О зависимости времени до разрушения при длительном нагружении в условиях плоского напряженного состояния от минимальной скорости деформаций ползучести. - Пробл. прочности, 1982, №12, с. 51-54.
2. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. - М.: Наука, 1966. - 752с.
3. Малинин И.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. - М.: Машиностроение, 1975. - 387с.
4. Hoff N.I. The necking and the rupture of rods subjected to constant tensile loads. - J. Appl. Mech., 1953, 20, №1, p. 105-108.
5. Хофф Н. Кратковременная ползучесть в конструкциях. - В кн.: Проблемы высоких температур в авиационных конструкциях. М.: Изд-во иностр. лит., 1961.

УДК 531.383

Н.В. Гнатейко, О.М. Безвесільна  
НТУ України «Київський політехнічний інститут» м.Київ, Україна

## ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРНОГО ГІРОСКОПА

*В работе рассматриваются принципы построения математической модели погрешности для высокоточного измерения углов при динамике движения объектов слежения с помощью обычных оптических устройств с использованием лазерных гироскопов в качестве чувствительных элементов процесса измерения.*

*Mathematical models of the angle measurement errors for highly precise measurement of angles in the dynamics of tracking with help of the conventional optical devices using laser gyroscopes as sensitive elements of the measurement have been researched in this work.*

### Вступ

В сучасних астронавігації, геодезії, метрології, верстатобудуванні, в системах спостереження за рухомими об'єктами для точного визначення їх координат і руху, в авіації і космонавтиці, тощо, широко застосовуються різні засоби точного вимірювання кутів для визначення рішень.

Однак більшість з них не мають потрібної високої точності, або працюють повільно у ручному або напівавтоматичному режимі, що не забезпечує потрібних до них вимог.

Одним з перспективних рішень такої задачі є розроблення систем точного вимірювання кутів за допомогою використання чутливих перетворювачів у вигляді лазерних гіроскопів, що дає можливість за допомогою оптичних засобів здійснювати високоточні вимірювання кутів знаходження об'єктів в динаміці на будь якій відстані з одного боку і в автоматичному режимі – з іншого [1], [2].

В статті наведений аналіз точності роботи автоматичної системи вимірювання кутів за допомогою лазерного гіроскопа [1] з урахуванням багатьох, діючих при цьому процесі, шкідливих факторів, які породжують різноманітні похибки вимірювання. Надається розроблена на цій базі математична модель такої загальної похибки визначення кута вимірювання, а також розглядається спрощений метод розрахунку похибки такого вимірювання. [2]