

УДК 539.388.1

## Вплив виду напруженого стану на інтенсивність деформацій повзучості конструкційних матеріалів сучасного машинобудування при довготривалому статичному навантаженні

Можаровська Т.М.

НТУУ “КПІ” імені Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

**Анотація.** В доповіді представлені закономірності пластичного деформування сталі 08X18H9 ( $T=600^{\circ}\text{C}$ ) в умовах повзучості при довготривалому статичному навантаженні і складному напруженому стані. Досліджено вплив виду напруженого стану на інтенсивність деформацій повзучості стосовно тонкостінних циліндричних зразків навантажених розтягуючою силою та крученням. Встановлена симетрія властивостей повзучості сталі при  $\sigma_i = \text{const}$  та при різних траєкторіях пропорційного навантаження, що дозволить скоротити число експериментів вдвічі. Представлене експериментально обґрунтоване рівняння стану, яке описує повзучість конструкційного матеріалу з урахуванням траєкторії пропорційного навантаження, що дозволить підвищити міцність та довговічність елементів конструкцій сучасного машинобудування.

**Ключові слова:** інтенсивність деформацій повзучості, довготривале статичне навантаження, вид напруженого стану.

Сучасний стан наукових досліджень з оцінки несучої здатності елементів конструкцій різного обладнання машинобудування зумовлює актуальність досліджень широкого класу конструкційних матеріалів, які працюють в умовах впливу на них складних механічних та теплових дій.

В більшості випадків конструктивні елементи працюють довготривалий час в умовах високих температур та складного (плоского чи об'ємного) напруженого стану, а фактором, лімітуючим їх безаварійну роботу, часто є деформація, яка черезмірно розвивається в процесі їх експлуатації.

Тому, практичний інтерес представляють питання досліджень пластичного деформування конструкційних матеріалів в умовах повзучості при довготривалому статичному та циклічному навантаженні.

В даній доповіді будуть розглянуті закономірності пластичного деформування сталі 08X18H9 ( $T=600^{\circ}\text{C}$ ) в умовах повзучості при довготривалому статичному навантаженні та складному напруженому стані, а також розглянуте питання впливу виду напруженого стану на інтенсивність деформацій повзучості.

Відомо, що співвідношення між інтенсивністю деформацій повзучості  $\varepsilon_{ic}$  і інтенсивністю напружень  $\sigma_i$ , можна прийняти у вигляді [1,2]:

$$\varepsilon_{ic} = \left[ \frac{L\beta}{D} \right]^{\beta} \exp \left[ \frac{\beta \sigma_i}{D} \right], \quad (1)$$

де  $L$ ,  $\beta$ ,  $D$  – постійні матеріалу при заданій температурі випробувань.

Із формули (1) витікає, що крива повзучості при  $\sigma_i = \text{const}$  і  $T = \text{const}$ , повинна бути інваріантною до виду напруженого стану.

Однак, як показано в багатьох експериментальних дослідженнях різних конструкційних матеріалів [3,4,5,6 та ін], криві ізотермічної повзучості при  $\sigma_i = \text{const}$  залежать від виду напруженого стану.

У зв'язку з цим була розроблена програма досліджень для сталі 08X18H9 ( $T=600^{\circ}\text{C}$ ) [7] в пружно – пластичній області ( $\sigma_i > \sigma_{T1}$ ) в координатах А.А. Ільющина [ 8 ] стосовно тонкостінних циліндричних зразків, що забезпечують широкий діапазон напружених станів та реалізацію всіх можливих комбінацій компонентів девіатора напружень, які піддавались дії одночасного навантаження розтягненням та крученням.

При цьому вид напруженого стану характеризувався кутом  $\varphi$ :

$$\varphi = \arctg \frac{\sqrt{3}\tau_{z\theta}}{\sigma_{zz}} \quad (2)$$

З'ясувалось, що отримані криві повзучості для сталі 08X18H9 ( $T = 600^\circ\text{C}$ ), можуть бути описані рівнянням:

$$\varepsilon_{ic}(\sigma_i, \varphi, t_i) = \left[ \frac{L(\varphi)t_i}{\beta(\varphi)} \right]^{\beta(\varphi)} \exp \left[ \frac{\beta(\varphi)\sigma_i}{D(\varphi)} \right], \quad (3)$$

де  $L(\varphi)$ ,  $\beta(\varphi)$ ,  $D(\varphi)$  – параметри, які характеризують здібність матеріалу до пластичного деформування при повзучості в залежності від виду напруженого стану [2,9], а параметр  $\beta$  залишився величиною постійною ( $\beta = 0,24$ ). Значення цих параметрів для деяких значень  $\varphi$  наведені в таблиці.

Таблиця

Значення параметрів  $L$ ,  $\beta$ ,  $D$  для деяких значень  $\varphi$ 

Матеріал, температура випробу- вань	Параметри	$\varphi$ , рад						
		$+\frac{\pi}{2}$	$+\frac{\pi}{3}$	$+\frac{\pi}{4}$	0	$-\frac{\pi}{4}$	$-\frac{\pi}{3}$	$-\frac{\pi}{2}$
08X18H9 $T = 600^\circ\text{C}$	$L(\varphi) \times 10^5$ , 1/год	3,620	5,398	6,758	8,259	6,851	5,410	3,581
	$D(\varphi)$ , МПа	11,673	16,248	17,661	20,866	16,961	16,045	11,401
	$\beta(\varphi)$	0,243	0,243	0,241	0,242	0,245	0,237	0,239

Рівняння (3) можна представити у вигляді :

$$\varepsilon_{ic}(\sigma_i, \varphi, t) = \left[ \frac{L(0)t}{\beta(0)} \right]^{\beta(0)} \exp \left\{ \frac{\beta(0)\sigma_i}{D(0)} \left[ \frac{1}{\frac{D(\pi/2)}{D(0)} + \left[ 1 - \frac{D(\pi/2)}{D(0)} \right] z^2(\varphi)} + \frac{D(0)}{\sigma_i} \ln \left\{ \frac{L(\pi/2)}{L(0)} + \left[ 1 - \frac{L(\pi/2)}{L(0)} \right] z^2(\varphi) \right\} \right] \right\}, \quad (4)$$

де  $L(0)$ ,  $L(\pi/2)$ ,  $D(0)$ ,  $D(\pi/2)$  – постійні матеріалу, які визначаються з експериментів при розтягненні ( $\varphi=0$ ) та при крученні ( $\varphi = \pi/2$ ), а  $Z(\varphi)$  – універсальна функція, що характеризує вид напруженого стану:

$$z(\varphi) = \frac{1 + \frac{3}{2}tg^2\varphi}{\sqrt{(1 + tg^2\varphi)^3}} \quad (5)$$

Таким чином, при розрахунках конструкційних матеріалів, які працюють в умовах повзучості при довготривалому статичному навантаженні і складному напруженому стані, в якості базових експериментів можна використовувати дані, які отримані при одновісному розтягненні та крученні, що дозволить скоротити число експериментів та удосконалити методи їх розрахунку.

### Влияние вида напряженного состояния на интенсивность деформаций ползучести конструкционных материалов современного машиностроения при длительном статическом нагружении

Можаровская Т.Н.

*Аннотация.* В докладе представлены закономерности пластического деформирования стали 08X18H9 ( $T=600^\circ\text{C}$ ) в условиях ползучести при длительном статическом нагружении и сложном напряженном состоянии. Исследовано влияние вида напряженного состояния на интенсивность

деформаций ползучести применительно к тонкостенным цилиндрическим образцам, нагруженных растягивающей силой и кручением. Установлена симметрия свойств ползучести стали при  $\sigma_i = \text{const}$  и при разных траекториях пропорционального нагружения, что позволит сократить число экспериментов вдвое. Представлено экспериментально обоснованное уравнение состояния, описывающее ползучесть конструкционного материала с учётом траектории пропорционального нагружения, что позволит повысить прочность и долговечность элементов конструкций современного машиностроения.

**Ключевые слова:** интенсивность деформаций ползучести, длительное статическое нагружение, вид напряженного состояния.

## **Influence of the type of stressed state on the intensity of creep deformation of structural materials of modern mechanical engineering under long-term static load**

**Mozharovska T. M.**

**Abstract.** The report presents patterns of plastic deformation of O8X18H9 steel ( $T = 600^\circ \text{C}$ ) under creep conditions under prolonged static loading and complex stress state. The influence of the type of stress state on the intensity of creep deformations was also applied to thin-walled cylindrical specimens loaded with tensile force and torsion. The symmetry of the creep properties of steel was established at  $\sigma_i = \text{const}$  and at different proportional load trajectories, which will reduce the number of experiments by half. An experimentally substantiated state equation describing the creep of structural material with regard to the proportional loading trajectory is presented, which will increase the strength and durability of structural elements of modern engineering.

**Keywords:** intensity of deformation of creep, long static drowing, kind oat a tense state

### **Список використовуваних джерел**

1. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М. : Машиностроение, 1975. – 387с.
2. Работнов Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций. –М. : Наука, 1966. -752с.
3. Горев Г. В., Рубанов В. В, Соснин О. В. О построении уравнений ползучести для материалов с различными свойствами на растяжении и сжатие.-Прикл. матем. и техн. физика.- 1979.-№4. – С. 121-128.
4. Ермаков В.П., Рабинович А. И. Ползучесть теплопрочного алюминиевого сплава при сложном напряженном состоянии.- Прикл. механика и техн. физика.-1971. -№2. –С.83-86.
5. Можаровский Н. С., Антипов Е. А., Бобырь Н. И., Ползучесть и долговечность материалов при программном нагружении.- Киев: Изд-во Вища школа, 1982. - 130с.
6. Наместников В. С. О ползучести при сложном напряженном состоянии. – В кн: Ползучесть и длительная прочность. Новосибирск, изд-во СО АН СССР, 1963,- С. 100-109.
7. Можаровская Т. Н. Программа и методика исследования ползучести и длительной прочности материалов с учетом вида девиатора напряжений и истории нагружения. – Пробл.прочности. -1984. -№11.-С. 83-98.
8. Ильюшин А. А. Пластичность. –М.: Изд-во АН СССР, 1963.-272 с.
9. Зельдович Я. Б., Мышкис А. Д. Элементы прикладной математики.-М.: Наука, 1972.-592с.