

## О ВЗАИМОСВЯЗИ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЗУЧЕСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*В статті представлені закономірності деформування сталі 15Х2МФА ( $T=550^0$  С) 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 15Kh2MFA ( $T = 550^0$  C) 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 широкого спектра факторов, таких как температура, вид нагружения, вид напряженного состояния и др., которые оказывают существенное влияние на их долговечность и несущую способность.

Совершенствование методов расчета ответственных элементов конструкций, работающих в условиях повышенных температур с точки зрения их долговечности, а также повышение требований к точности этих расчетов предопределяет необходимость всестороннего исследования свойств существующих металлов и их сплавов в условиях ползучести.

Поскольку расчеты на ползучесть в основном базируются на результатах экспериментальных исследований при одноосном напряженном состоянии, несомненный интерес представляют исследования конструкционных материалов в условиях линейного напряженного состояния. Причем наибольший интерес представляют первая и вторая стадия ползучести в связи с тем, что при эксплуатации элементов конструкций не допустима потеря их устойчивости и развитие в них трещин, что непосредственно связано с третьей стадией ползучести.

В качестве основной характеристики при расчетах на ползучесть в условиях линейного напряженного состояния принимают минимальную скорость деформаций ползучести  $\xi_{c, \min}$ , а при расчетах элементов конструкций на долговечность – время до разрушения  $t_p$ . Поэтому установление взаимосвязи между этими характеристиками является весьма актуальной задачей. Такая взаимосвязь может быть представлена в виде модифицированного критерия Хоффа [1].

В настоящей статье представлены закономерности деформирования стали 15Х2МФА при  $T=550^0$  С в условиях длительного статического нагружения и установлена взаимосвязь между основными характеристиками ползучести  $\xi_{c, \min}$  и долговечности  $t_p$  исследуемого материала, что в дальнейшем предоставит возможность разработать экспериментально обоснованные подходы по оценке ресурса конструкционных материалов с учетом ряда эксплуатационных факторов и позволит распространить их на более широкий класс материалов.

На рис. 1. представлены кривые ползучести стали 15Х2МФА при  $T=550^0$  С, первые два участка которых удовлетворительно могут быть описаны уравнением:

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

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

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 представленные на рис. 1, позволили установить взаимосвязь минимальной скорости деформации ползучести ( $\xi_{c, \min}$ ) и времени до разрушения ( $t_p$ ) от величины действующего напряжения  $\sigma$  (рис. 2 и рис. 3).

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

$$\xi_{c \min} = B\sigma^n, \quad (2)$$

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

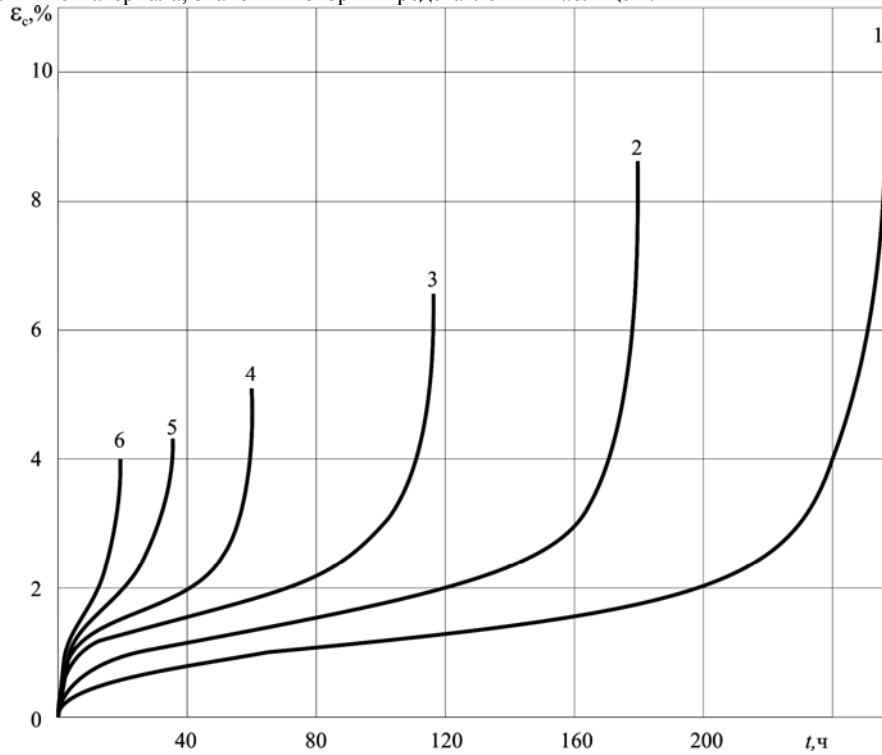


Рис. 1. Кривые ползучести стали 15X2MFA при  $T=550^{\circ}\text{C}$  (1 -  $\sigma=350\text{МПа}$ , 2 -  $\sigma=360\text{МПа}$ , 3 -  $\sigma=370\text{МПа}$ , 4 -  $\sigma=400\text{МПа}$ , 5 -  $\sigma=420\text{МПа}$ , 6 -  $\sigma=440\text{МПа}$ ).

Таблица 1.

Значения постоянных  $k, \beta, c$  для стали 15X2MFA ( $T=550^{\circ}\text{C}$ )

$k, (\%)^{1/\beta}$	$\beta$	$c, \text{МПа}$
$4,3 \cdot 10^{-12}$	0,650	16,25

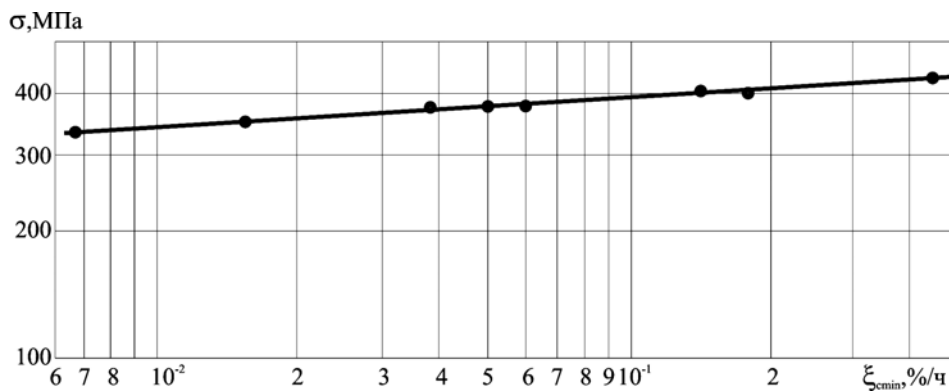


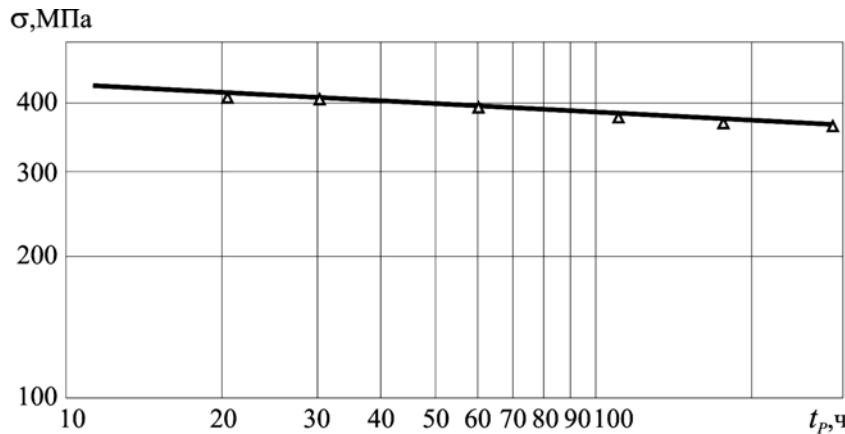
Рис. 2. Зависимость минимальной скорости деформаций ползучести от напряжения для стали 15X2MFA при  $T=550^{\circ}\text{C}$ .

Зависимость времени до разрушения ( $t_p$ ) от величины действующего напряжения  $\sigma$  (рис. 3.) может быть удовлетворительно описана уравнением [2]:

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

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

При достаточно высоких напряжениях, в условиях растяжения зависимость времени до разрушения ( $t_p$ ) от

Рис. 3. Кривая длительной прочности для стали 15X2МФА при  $T=550^{\circ}\text{C}$ .

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, объем тела остаётся постоянным ( $C$  – постоянная материала).

Таблица 2.

Значения постоянных  $B, n$  для стали 15X2МФА ( $T=550^{\circ}\text{C}$ )

$B, \frac{\%}{\text{ч}} (\text{МПа})^{-n}$	$n$
$4,739 \cdot 10^{-65}$	22,86

Таблица 3.

Значения постоянных  $A, m$  для стали 15X2МФА ( $T=550^{\circ}\text{C}$ )

$A, (\text{МПа})^m \text{ч}$	$m$
$3,594 \cdot 10^{32}$	11,91

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

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

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 одинаковы. Так например, это наблюдается для алюминиевого сплава 3SH18 [5].

Исходя из полученных результатов испытаний стали 15X2МФА ( $T=550^{\circ}\text{C}$ )  $|m| \neq |n|$ .

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

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

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, экспериментальные исследования на ползучесть при длительном статическом нагружении в условиях линейного напряженного состояния, проведенные для стали 15X2МФА ( $T=550^{\circ}\text{C}$ ) позволили установить взаимосвязь между основной характеристикой при расчетах на ползучесть – минимальной скоростью деформаций ползучести  $\xi_{c, \min}$  и основной характеристикой при расчетах на долговечность – временем до разрушения  $t_p$  в виде модифицированного критерия Хоффа (6).

Полученный критерий (6) позволит распространить его использование на более широкий класс материалов при оценке ресурса элементов конструкций с учетом различных 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. Малинин И.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести.- М.: Машиностроение, 1975.- 387с.
3. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций.- М.: Наука, 1966.- 752с.
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.