

УДК 539.388.1

ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ СТАЛИ 15Х2МФА ($T = 550^{\circ}\text{C}$) В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ И СЛОЖНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Можаровская Т.Н.

НТУУ КПИ им. Игоря Сикорского, Киев, Украина

Аннотация. В докладе рассматриваются закономерности пластического деформирования стали 15Х2МФА ($T = 550^{\circ}\text{C}$) в условиях ползучести и сложного напряженного состояния. Представлено уравнение состояния, описывающее ползучесть стали с учетом влияния вида напряженного состояния на одну из основных характеристик при расчетах на ползучесть - интенсивность деформаций ползучести. Предложены некоторые подходы по оценке ползучести исследуемой стали, которые позволят сократить число экспериментов и затраты на их проведение, что в дальнейшем даст возможность усовершенствовать методы расчета конструкционных материалов на ползучесть при сложном напряженном состоянии

Ключевые слова: пластическое деформирование стали, ползучесть, сложное напряженное состояние

Большинство реальных элементов конструкций работают в условиях действия широкого спектра факторов, которые существенно влияют на их несущую способность и долговечность.

Таковыми факторами могут быть вид напряженного состояния, высокие температуры и др.

В связи с этим, актуальной проблемой современного машиностроения являются исследования закономерностей деформирования и разрушения конструкционных материалов в условиях ползучести.

В настоящем докладе рассматриваются закономерности механического поведения стали 15Х2МФА ($T = 550^{\circ}\text{C}$) при длительном статическом нагружении в условиях плоского напряженного состояния с точки зрения влияния вида напряженного состояния на одну из основных характеристик ползучести - интенсивность деформаций ползучести ε_{ic} .

Известно, что соотношения между интенсивностью напряжений σ_i и интенсивностью деформаций ползучести принимаются по одной из существующих формул [1, 2]:

$$\varepsilon_{ic} = \Omega(t)\sigma_i^n,$$

$$\varepsilon_{ic} = \left[\frac{Lt}{\beta}\right]^\beta \exp\left[\frac{\beta\sigma_i}{D}\right],$$

где $\Omega(t)$ – функция времени, n, L, β, D – постоянные материала при данной температуре исследований.

Из формул (1) и (2) следует, что интенсивность деформаций ползучести является функцией только интенсивности напряжений и, как результат, кривая ползучести конструкционных материалов при $\sigma_i = const$ и $T = const$ должна быть инвариантной к виду напряженного состояния, а это будет справедливым лишь в том случае, если угол вида девиатора напряжений будет величиной постоянной.

Однако, как показывали многие экспериментальные исследования различных конструкционных материалов [3, 4, 5, 6 и др.] кривые изотермической ползучести при $\sigma_i = const$ зависят от вида напряженного состояния.

В связи с вышеизложенным, была разработана программа исследований стали 15Х2МФА ($T = 550^{\circ}\text{C}$) [7] в упруго-пластической области ($\sigma_i > \sigma_{iT}$) в координатах А. А. Ильюшина [8] применительно к тонкостенным цилиндрическим образцам, которые подвергались одновременному нагружению растяжением и кручением.

При этом вид напряженного состояния характеризовался углом φ :

$$\varphi = \arctg \frac{\sqrt{3}\tau_{z\theta}}{\sigma_{zz}}$$

Обработка экспериментальных данных показала, что кривые ползучести могут быть описаны следующим уравнением состояния:

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

где $L(\varphi), \beta(\varphi), D(\varphi)$, - параметры, характеризующие способность материала к пластическому деформированию при ползучести в зависимости от вида напряженного состояния [2, 9], а β при всех значениях $\varphi (-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2})$ для исследуемой стали 15X2МФА ($T = 550^\circ\text{C}$) оказался величиной постоянной и равной $\beta = 0,43$.

Если ввести безразмерные параметры:

$$\frac{L(\varphi)}{L(0)} = \Phi(\varphi); \quad \frac{D(\varphi)}{D(0)} = \Omega(\varphi)$$

и описать аналитически зависимости $\Phi = f(\varphi); \Omega = f(\varphi)$, уравнение (4) примет вид:

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

где $L(0), L(\pi/2), D(0), D(\pi/2), \beta(0)$ – постоянные материала, определяемые из двух базовых опытов – при растяжении ($\varphi = 0$) и при кручении ($\varphi = \frac{\pi}{2}$), а $Z(\varphi)$ – универсальная функция, характеризующая вид напряженного состояния:

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

Таким образом, используя уравнение (6) при расчетах конструкционных материалов, работающих в условиях ползучести и сложного напряженного состояния, можно сократить число экспериментов и затраты на их проведение, а в качестве расчетных данных использовать данных, полученные при одноосном растяжении и кручении.

Список літератури:

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 растяжение 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. Ильющин А. А. Пластичность. –М.: Изд-во АН СССР, 1963. -272 с.
9. Зельдович Я. Б., Мышкис А. Д. Элементы прикладной математики. –М. : Наука, 1972. -592 с.