пермский политех

Представление модифицированной модели Сайнса многоосной усталости в инвариантной форме

А.И. Мугатаров, А.С. Янкин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, Комсомольский проспект, 29, г. Пермь, Российская Федерация

Ранее авторами была предложена модификация модели Сайнса многоосной усталости. Однако данная модель может быть использована лишь в системе координат, связанной с осями нагружения. С целью обобщения модели представим её в инвариантном относительно поворота системы координат виде.

При циклических нагрузках, действующих с периодом T, тензор напряжений имеет вид

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}(t), 0 \le t \le T; \sigma_{ij}(t) = \sigma_{ij}(t + nT), n \in N.$$

Пусть в некоторой системе координат известная каждая компонента тензора напряжений. Введем величину

$$\sigma_{ij}^{mean} = \frac{1}{T}\int_0^T \sigma_{ij}(t)dt\,,$$

которую назовем средней (постоянной) составляющей тензора напряжений. Затем введем тензор периодически меняющейся составляющей тензора напряжений

$$\sigma_{ij}^{per}(t) = \sigma_{ij}(t) - \sigma_{ij}^{mean}.$$

Для использования в модели выбраны первый инвариант тензора напряжений I_1 и второй инвариант девиатора напряжений I_2. Для ухода от временной зависимости данных инвариантов для периодической составляющей тензора напряжений будем использовать их максимальные и минимальные значения за период нагружения.

$$I_1^{mean} = \sigma_{11}^{mean} + \sigma_{22}^{mean} + \sigma_{33}^{mean}; I_2^{mean} = \frac{1}{6}\left((\sigma_{11}^{mean} - \sigma_{22}^{mean})^2 + (\sigma_{22}^{mean} - \sigma_{33}^{mean})^2 + (\sigma_{33}^{mean} - \sigma_{11}^{mean})^2\right)$$
$$+(\tau_{12}^{mean})^2 + (\tau_{13}^{mean})^2 + (\tau_{23}^{mean})^2; I_1^{\max(min)} = \max(\min)\left(I_1^{per}(t)\right); I_2^{\max(\min)} = \max(\min)\left(I_2^{per}(t)\right)$$

Модель многоосной усталости в инвариантном виде:

$$\sqrt{A_1\frac{I_2^{\max} + I_2^{\min}}{2} + A_2 I_2^{\text{mean}}} + A_3\frac{I_1^{\max} - I_1^{\min}}{2} + A_4 I_1^{mean} \le 1.$$

Параметры модели определяются из двух усталостных кривых (при симметричных растяжении-сжатии и циклическом кручении) и двух статических испытаний на растяжение и кручение:

$$A_1 = \frac{2}{\left(\tau_f'(2N)^{b_0}\right)^2}; A_2 = \frac{1}{\tau_B^2}; A_3 = \frac{1}{\sigma_f'(2N)^{b_1}} - \frac{1}{\sqrt{3}\tau_f'(2N)^{b_0}}; A_4 = \frac{1}{\sigma_B} - \frac{1}{\sqrt{3}\tau_B}.$$

Если задана одна усталостная кривая и точка на кривой, можно принять $b_0=b_1$. Если имеется только одна усталостная кривая на кручение, можно принять $A_3=0$. Если имеется один статический эксперимент, можно принять $A_4=0$.

Были проведены усталостные испытания образцов из сплава Д16Т при циклическом растяжении-сжатии с кручением (одноосном, пропорциональном, непропорциональном со сдвигом фаз). Измерены углы наклона площадок зарождения трещины к оси образца. Выявлено, что для одноосных усталостных испытаний на растяжение-сжатие площадки расположены под углом 141,4±1,6°, при одноосном кручении 90,5±0,3°. При пропорциональном нагружении площадки расположены под углами 151,9±3,9°. При сдвиге фаз имеются несколько зон инициации трещины, которые расположены под углами 151,7° и 91,4°, соответственно. В связи с этим можно предположить, что единая критическая площадка отсутствует.

Исследования проводились в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№FSNM-2020-0027).