

ТЕРМОДИНАМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РІВНЯНЬ СТАНУ ПОВЗУЧОСТІ З ПОШКОДЖЕННЯМ

Морачковський О.К.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Для термодинамічного обґрунтування рівнянь стану, як завжди в теорії повзучості, введемо в розгляд потенціал дисипації: $\hat{O} = \hat{O}(\sigma_{ij}, Y, T)$, $\dot{\sigma}_{ij} = \dot{\lambda} \partial \hat{O} / \partial \sigma_{ij}$, $\dot{Y} = \partial \hat{O} / \partial Y$, що відображає функціональну залежність незалежних між собою термодинамічних сил – σ_{ij} і Y , пов'язаних з внутрішніми змінними стану s_{ij} та ω . Нерівність Клаузіуса - Дюгема в ізотермічному випадку має такий вигляд: $(\dot{\sigma}_{ij} - \dot{\lambda} \partial \hat{O} / \partial \sigma_{ij}) \sigma_{ij} + (\dot{Y} - \partial \hat{O} / \partial Y) Y \geq 0$. Приймаючи, що повна деформація $\dot{\sigma}_{ij} = \dot{\sigma}_{ij}^e + \dot{\sigma}_{ij}^p$ є сумою незалежних між собою деформацій, а потенціал дисипації зв'язано з невід'ємною потужністю дисипації: $\tilde{A} = -\dot{\sigma}_{ij}^e \sigma_{ij} + \dot{\sigma}_{ij}^p \sigma_{ij}$, $\tilde{A} \geq 0$, $\tilde{A} = (\sigma_{ij} - \partial F / \partial e_{ij}) \dot{\sigma}_{ij}^e + \sigma_{ij} \dot{\sigma}_{ij}^p + \dot{Y} Y \geq 0$, знаходимо: $\sigma_{ij} = \partial F / \partial e_{ij}$, $\tilde{A} = \dot{\sigma}_{ij}^p \sigma_{ij} + \dot{Y} Y \geq 0$, $\tilde{A} \geq 0$.

Для характеристики процесів повзучості і пошкоджуваності введені інваріантні величини: еквівалентні напруження – $s_e = a s_1 + (1 - a) s_i$, $\sigma_i = \sqrt{3/2 s_{ij} s_{ij}}$, s_1 – максимальне головне напруження; еквівалентну швидкість деформації повзучості – $\dot{\sigma}_e = \sqrt{2/3 \dot{\sigma}_{ij} \dot{\sigma}_{ij}}$, енергії термічної активації процесів повзучості й пошкоджуваності – Q, \bar{Q} , де s_{ij}, c_{ij} – девіатори відповідних тензорів, a – параметр чутливості матеріалу до виду руйнування (крихке – $a = 1$, в'язке – $a = 0$, та змішане – $0 < a < 1$). Потенціал дисипації прийнято у вигляді:

$$\hat{O} = \sigma_i^2 \exp(-Q / R T) + \hat{O}_Y(Y) \exp(-\bar{Q} / R T),$$

$$\hat{O}_Y(Y) = Y_T (r + 1)^{-1} (Y / Y_T)^{r+1} (1 - \omega)^{-m}, \quad 0 \leq \omega \leq 1,$$

де Y_T, r, m – матеріальні сталі та R – універсальна газова стала.

Термодинамічно обґрунтовані рівняння стану повзучості з пошкодженням мають вигляд:

$$\dot{\sigma}_{ij} = \frac{3}{2} b \frac{\sigma_i^{n-1}}{(1 - \omega)^m} \exp(-\frac{Q}{RT}) s_{ij}, \quad \dot{Y} = d \frac{\sigma_e^r}{(1 - \omega)^m} \exp(-\frac{\bar{Q}}{RT}),$$

де $b, n, m, Q, d, r, \bar{Q}$ – матеріальні сталі, R – універсальна газова стала.