

ПОВЗУЧИСТЬ ЖАРОМІЦНИХ СТАЛЕЙ В УМОВАХ СКЛАДНОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ

Для оцінювання пошкодження матеріалу під час повзучості та пояснення форми третьої стадії повзучості, Л.М. Работнов та Ю.Н. Качанов запропонували феноменологічну теорію, що містить численні сталі, які потрібно визначати порівнянням з експериментальними результатами.

Мета роботи полягала в отриманні рівняння для оцінювання залишкового ресурсу експлуатації та накопичення пошкоджень як в умовах одноосьового, так і багатоосьового станів сталей 12МХ, 15ХМ і 2,25 % Сг–1 % Мо, які застосовують для виготовлення обладнання у теплоенергетиці. Для більшості зразків термічна обробка полягала у нормалізації від 900–970 °С після витримки упродовж 15–30 хв та відпуску за 640–750 °С 1–3 год. Випробовували на повзучість в умовах одноосьового напруженого стану згідно з вимогами стандарту.

Показано, що залежність дійсної швидкості деформації $\dot{\epsilon}$ від дійсної деформації e , описує просте феноменологічне рівняння, що містить дві сталі A і B :

$$\dot{\epsilon} = A \exp(-Be) \quad (1)$$

Інтегрування рівняння (1) з $e = 0$ за час $t = 0$ дає:

$$e = -\frac{1}{B} \ln(1 - ABt) \quad (2)$$

Час до руйнування обчислювали за співвідношенням:

$$t_r = \frac{1}{AB} \quad (3)$$

Стала A відповідає мінімальній швидкості повзучості $\dot{\epsilon}_{\min}$. Між параметром B і деформацією під час руйнування e_r для всіх досліджуваних матеріалів і температур випробування існує залежність:

$$B = 5,6/e_r \quad (4)$$

Згідно з рівняннями (2), (3) та (4) отримали співвідношення для оцінювання залишкового ресурсу:

$$\exp(-Be) = 1 - t/t_r \quad (5)$$

Ступінь пошкодження m доцільно визначати, як:

$$m = \exp(-Be) \quad (6)$$

Параметр A за сталої температури залежить від напруження:

$$A = A' s^n. \quad (7)$$

Тоді отримаємо

$$m = 1 - BA' s^n t. \quad (8)$$

Рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$\epsilon = A' s^n / (1 - A' B s^n t) \quad (9)$$

або згідно з рівнянням (8):

$$\epsilon = A' s^n / m \quad (10)$$

На підставі цього нами для багатоосового напруженого стану були отримані узагальнені рівняння у вигляді:

$$\epsilon_{ij} = \frac{3}{2} A' (\bar{s})^{n-1} s_{ij} / \left(1 - A' B (D s_{ij})^n t\right) \quad (11)$$

$$m = -A' B (D s_{ij})^n \quad (12)$$

$$m = 1 - A' B (D s_{ij})^n t \quad (13)$$

Під час розриву $m = 0$ час до руйнування можна обчислити як:

$$t_r = 1 / A' B (D s_{ij})^n \quad (14)$$

Як приклад повзучості за багатоосового напруженого стану, розглянуто випадок тонкостінної труби з внутрішнім тиском P .

За рівнянням (14) умова розриву від дії тангенціальних напружень (напружень розтягу):

$$t_r = 1 / A' B (j s_q)^n \quad (15)$$

де j – константа, що змінюється від 0,866 до 1,5.

Розглянуто три випадки: $j = 0,866$, $j = 1,025$ і $j = 1,50$, які згідно з літературними даними відповідають різним ізохронним поверхням розриву та пошкодження матеріалу.

Використовуючи рівняння (14) і (15), для досліджуваних сталей були виконані обчислення, які показали, що напруження і час до розриву дуже чутливі до значення j , тобто форми ізохронного розриву. Форма кривих деформацій від часу сильно відрізняється для одноосових і багатоосових випадків.