

**УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ БАЗОВИХ
ВИПРОБУВАНЬ ПРИ РІЗНИХ МОДЕЛЯХ ВІДМОВ**

**Приймаков О.Г., к.т.н., проф.¹⁾, Градиський Ю.О., к.т.н., доц.²⁾,
Янчик О.Г., к.т.н.³⁾**

¹⁾*Харківський державний технічний університет будівництва і
архітектури*

²⁾*Харківський національний технічний університет сільського
господарства ім. П. Василенка*

³⁾*Об'єднане оперативне командування ЗСУ, м. Київ*

Розглянуто вплив на витривалість тривалої міцності при проведенні базових випробувань. Проведено узагальнення результатів базових випробувань при різних моделях відмов.

Вступ. Існує широкий клас конструкцій, що працюють в умовах високих температур. Елементи конструкцій надзвукових літаків нагріваються в польоті до 200°C і більше, деталі газових турбін авіаційних двигунів працюють при температурах 600...1000°C. Аналогічні умови виникають в енергетичному та хімічному машинобудуванні. При підвищених температурах конструкційні матеріали проявляють властивості повзучості і тривалої міцності. Повзучість проявляється у виникненні пластичної (залишкової) деформації при високих рівнях навантажень і температур. Вивчення впливу повзучості на міцність об'єднано в проблему тривалої міцності, під якою розуміють здатність металу опиратися тривалому впливу навантажень і температур [1]. Властивості повзучості та тривалої міцності проявляються в вуглецевих сталях при $T > 300^\circ\text{C}$, для легованих сталей при $T > 350^\circ\text{C}$, для алюмінієвих сплавів при $T > 100^\circ\text{C}$. В умовах підвищених температур знижуються звичайні межі міцності і плинності, що визначаються при короткочасних випробуваннях. Найбільш істотна особливість міцності при високих температурах - сильний вплив часу навантаження. Це пояснюється тим, що, починаючи з певних діапазонів температур, в матеріалах відбуваються структурні і фазові перетворення, що розвиваються в часі.

Як основна характеристика тривалої міцності використовується межа тривалої міцності (МТМ) $\sigma_o(T, t)$, що представляє напруження, при яких матеріал руйнується не раніше заданого часу t при даній температурі $T, ^\circ\text{C}$. При позначенні МТМ вказується тривалість навантаження і температура випробування, наприклад для нікелевого жароміцного сплаву

ХН77ТЮР при температурі $T = 700^\circ\text{C}$ і часу $t = 1000$ с, МТМ становить 330 Н/мм^2 [1].

Для порівняння необхідно відзначити, що для того ж сплаву при $T = 700^\circ\text{C}$ межі міцності і плинності (при короткочасних випробуваннях) $\sigma_B = 800 \text{ Н/мм}^2$; $\sigma_T = 560 \text{ Н/мм}^2$. В більшості випадків МТМ нижче границь текучості при короткочасних випробуваннях. Для розглянутої моделі відмов, викликаних порушенням тривалої міцності, базові випробування полягають в експериментальному визначенні залежності МТМ від часу при фіксованій температурі.

На рис. 1 показана залежність в подвійних логарифмічних координатах межі тривалої міцності $\sigma_\theta = \sigma_{B\tau}^T$ від часу t при навантаженні з постійною температурою (ізотермічне навантаження).

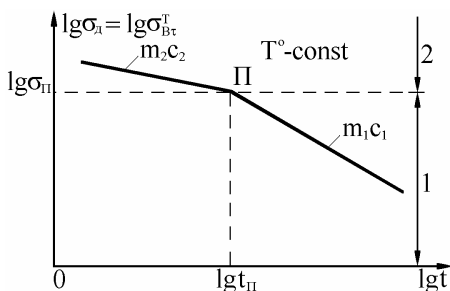


Рис. 1. Залежність межі тривалої міцності від часу при навантаженні з постійною температурою

Залежність $\sigma_\theta - t$ в логарифмічних координатах є кусочно-лінійною з точкою перелому t_{Π} , що відповідає степеневій залежності в звичайних координатах з кусочно-постійними показниками ступеня на різних ділянках. Звідси слідує, що криві тривалої міцності, що виражають залежність МТМ від часу, можна записати у вигляді

$$\sigma_\theta^m t = C, \quad (1)$$

де σ_θ - МТМ; t - час до руйнування; параметри матеріалу

$$m(\sigma, T) = \begin{cases} m_2(T), & \sigma_\theta \geq \sigma_{\Pi}, \\ m_1(T), & \sigma_\theta < \sigma_{\Pi}, \end{cases} \quad C(\sigma, T) = \begin{cases} C_2(T), & \sigma_\theta \geq \sigma_{\Pi}, \\ C_1(T), & \sigma_\theta < \sigma_{\Pi}. \end{cases} \quad (2)$$

Значення параметра m на різних ділянках перебувають в межах: $m_1 = 4 \dots 12$; $m_2 = 6 \dots 20$. Тривалість другої ділянки t_{Π} звичайно не перевищує $10^2 \dots 5 \times 10^2$ год. Наявність двох ділянок обумовлено зміною домінуючого механізму розвитку пошкоджень. На другій ділянці, як правило, від-

бувається в'язке руйнування, а на першому - крихке. Для визначення параметрів рівняння (1) при фіксованій температурі необхідне знання експериментальних точок на кожній з лінійних ділянок.

Якщо значення меж тривалої міцності при часі t_1 і t_2 становлять σ_{σ_1} і σ_{σ_2} , то

$$m = \frac{\lg t_2 - \lg t_1}{\lg \sigma_{\sigma_1} - \lg \sigma_{\sigma_2}}, \quad C = \sigma_{\sigma_1}^m t_1 = \sigma_{\sigma_2}^m t_2. \quad (3)$$

Відомі і більш загальні моделі тривалої міцності, що враховують вплив температури [2]. Зі збільшенням температури МТМ падає.

Вирішуючи рівняння (1) відносно $t = t_*$, одержуємо

$$T_B = t_* = \frac{C}{\sigma_{\sigma}^m}, \quad (4)$$

де константи m і C визначаються зі співвідношення (2).

Узагальнення результатів випробувань. Як слідує з попередніх матеріалів, результати базових випробувань для всіх розглянутих моделей відмов можна представити степеневою залежністю

$$N_B = CY^{-m}, \quad (5)$$

або

$$T_B = CY^{-m},$$

де Y – параметри НДС; C, m - кусочно-постійні функції Y .

Кількість і границі областей, в яких константи C, m можна вважати постійними, залежать від фізичної моделі відмови, матеріалу, умов випробувань. Для розглянутих випадків кількість таких областей, як правило, не більше двох. Їх розташування на площині $Y - N$ зображено на рис.2.

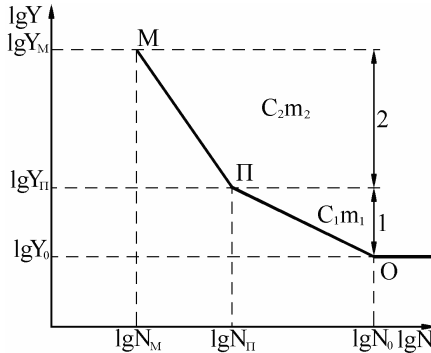


Рис. 2. Розташування областей кусочно-постійних функцій

В таблиці 1 наведені значення визначальних параметрів в базових залежностях (5) для різних моделей відмов.

Таблиця 1. Визначальні параметри НДС і значення коефіцієнтів в базових залежностях при різних моделях відмов

Фізична модель відмови	Опис базових залежностей N_B і T_B			
	Кількість областей і вид базової залежності	Визначальні параметри НДС	Значення коефіцієнтів для конструкційних металів C, m	Характерні точки (рис.2)
Багато- і малоциклова втома на стадії зародження тріщин	2 $N_B = CY^{-m}$	$Y = \varepsilon_a, \sigma_a$	$C_1 = \frac{\varepsilon_K^2}{16}, C_2 = \frac{\sigma_{-1}^m}{E^m} N_0,$ $m_1 \approx 2, m_2 \approx 4...12,$ $N_0 \approx 10^7$	$Y_0 = \sigma_{-1},$ $Y_{II} = \sigma_{aII},$ $Y_M = \sigma_{aM}$
Багатоциклова втома на стадії зародження тріщин	1 1	$Y = \sigma_a$	$C = \sigma_{-1}^m N_0,$ $m \approx 4...12, N \approx 10^7$	$Y_0 = \sigma_{-1},$ $Y_{II} = \sigma_{aII}$
Багатоциклова втома на стадії розвитку тріщин	1 1	$Y = \sigma_a$	$C = \frac{l_K^{1-\frac{m}{2}} - l_0^{1-\frac{m}{2}}}{B(2\sqrt{\pi})^m \left(1 - \frac{m}{2}\right) T_e^m},$ $m \approx 2...6$	$Y_0 = 0$
Тривала міцність	2 $T_B = CY^{-m}$	$Y = \sigma$	$m_1 (T) \approx 4...12,$ $m_2 (T) \approx 6...20$	$Y_0 = 0,$ $Y_{II} = \sigma_{II}$

Висновки по роботі. 1. Встановлено, що зі збільшенням температури межа тривалої міцності падає.

2. Розроблено типові фізичні моделі відмов і створено опис базових залежностей N_B та T_B .

Список використаних джерел

1. Биргер И.А., Мавлюгов Р.Р. Сопротивление материалов: Учеб. Пособие. - М.: Наука, 1986. - 560 с.
2. Биргер И.А. Детерминированные и статистические модели долговечности // Проблемы надежности летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1985. - С. 105-150.

Аннотация

ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ БАЗОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЯХ ОТКАЗОВ

Приймаков А.Г., Градыский Ю.А., Янчик А.Г.

Рассмотрено влияние на выносливость длительной прочности при проведении базовых испытаний. Выполнено обобщение результатов базовых испытаний при различных моделях отказов.

Abstract

GENERALIZATION OF RESULTS OF BASE TESTS AT THE DIFFERENT PATTERNS OF FAILURES

Primakov A.G., Gradyskiy Y.A., Yanchik A.G.

Influence on endurance of the protracted durability is considered during the leadthrough of base tests. Generalization of results of base tests is executed at the different patterns of failures.