



УДК 539.3:624.04

Башта А.В., Башта Д.А. (Полтавський національний технічний університет, м. Полтава).

Метод визначення граничних напружень витривалості при складному напруженому стані

Проблема прогнозування і прискореної оцінки характеристик міцності конструкційних матеріалів при дії циклічних навантажень на основі обмеженого об'єму експериментальних даних являє собою значну наукову і практичну цінність. Існує декілька підходів (гіпотез) до вирішення цієї складної задачі. Статичні, технологічні, градієнтальні чи енергетичні, як і інші, не пояснюють всієї сукупності закономірностей, що спостерігаються при руйнуванні металів від втомленості. Їх аналіз, а також вивчення даних широкого класу матеріалів по визначенню границь витривалості в умовах дії складного напруженого стану, що приведено в літературі, підтверджують необхідність пошуку шляхів до її розв'язання. Однак задача створення загальної теорії руйнування матеріалів від втомленості в умовах складного опору є, як видно, такою, що не може бути повністю розв'язаною.

При складному напруженому стані на матеріал діють мінімум два силових фактори, а тому одну і ту ж базу випробувань можливо досягти різними співвідношеннями взаємодіючих напружень. При цьому необхідно враховувати те, що взаємозв'язок між цими напруженнями не є лінійним [1-4].

Іншими словами, одна і та ж величина для наперед заданої бази випробувань досягається шляхом дії на дослідний зразок абсолютно різних навантажень. Викликає також суттєву зацікавленість визначення амплітудних значень діючих напружень в випадку найбільш небезпечного з точки зору витривалості їх співвідношення. Вирішенню цих питань з достатнім ступенем надійності сприяє метод, що пропонується.

Літературні дані по визначенню границі витривалості при складному напруженому стані вказують на те, що точки експериментальних даних [3, 5,6] розподіляються в деякій сегментній зоні (див. рис.1), але не нижче прямої (лінія Зодерберга), яка проходить через значення границь витривалості при простих повторно - змінних навантаженнях, тобто через тт. $(\sigma_{-1}$ і $\tau_{-1})$ для конкретного матеріалу в умовах спільної дії, наприклад, згину з крученням.

Задаючи криву взаємозв'язку напружень, які діють в зоні пружності, гіперболічним рівнянням

$$\tau_a = \frac{b}{\sigma + c} - a, \quad (1)$$

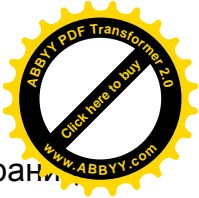
пряму Зодерберга рівнянням

$$\tau_a = \tau_{-1} - \frac{\tau_{-1}}{\sigma_{-1}} \sigma_a, \quad (2)$$

а крайні точки гіперболи значеннями текучості матеріалу при згині і крученні і визначивши коефіцієнти a і b із граничних умов, при спільному вирішенні рівнянь (1,2), отримуємо квадратичне рівняння відносно коефіцієнта c в такому вигляді:

$$\alpha c^2 + \beta c + \gamma = 0 \quad (3)$$

Позначивши коефіцієнти α, β, γ через границі текучості і границі витривалості матеріалу при відповідному простому навантаженні, розв'язуючи рівняння (3) будемо мати значення амплітудних напружень σ_a і τ_a (координати т.М) на площині $(\sigma\tau)$ див. рис.1. Якщо розраховані таким чином амплітудні напруження не зруйнують зразок при циклічному навантаженні на базі випробувань



$1 \cdot 10^7, 1 \cdot 10^8$ циклів, маємо можливість стверджувати про визначення границь витривалості цього матеріалу при складному напруженому стані в першому наближенні. Логічно також стверджувати, що практично будь-яке співвідношення діючих напружень, які знаходяться в інтервалах $0 \leq \tau_a \leq \tau_{-1}; 0 \leq \sigma_a \leq \sigma_{-1}$ і розраховане по наведеному рівнянню гіперболи

$$\tau = \frac{\tau_r C (\sigma_r - \sigma_a)}{\sigma_r (\sigma_a + C)}, \quad (4)$$

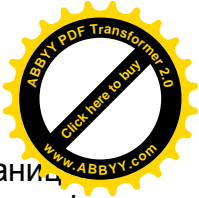
буде безпечно для цього матеріалу. Аналіз результатів випробувань, а також аналітичних залежностей ряду гіпотез опору втомленості матеріалів при складному напруженому стані [1, 2, 3, 5, 7] показує, що розподіл експериментальних точок, а також граничних кривих, які інтерпретують гіпотези на площині, наприклад $(\tau \sigma)$, знаходяться в певній залежності від границь витривалості σ_{-1} і τ_{-1} при відповідному простому навантаженні. Запропоноване рівняння гіперболічної кривої (4), що описує розподіл спільно діючих напружень в пружній зоні, поєднує в собі, наряду з граничними характеристиками втомленості, також і границі текучості дослідного матеріалу при відповідному простому навантаженні, тобто більш повно характеризує здатність матеріалу опиратися дії даної сукупності прикладених навантажень. В інженерній практиці при проектуванні і конструюванні деталей і елементів конструкцій, що працюють в умовах складних циклічних навантажень, необхідно знати гранично допустиме співвідношення величин спільно діючих навантажень. Найбільш небезпечним, з точки зору втомленості металів, є співвідношення діючих навантажень, а відповідно і виникаючих в елементі конструкції напружень в області $K=1$, де коефіцієнт K характеризує відношення діючих амплітудних напружень. Наприклад, якщо матеріал має однакові границі втомленості, текучості, міцності для простих випадків навантаження, то при спільній дії навантажень, а відповідно і виникаючих при цьому гранично допустимих напружень, їх відношення буде дорівнювати одиниці. В тому ж випадку, коли матеріал, що випробовується має різні вказані характеристики, то точка дотику гіперболічної кривої і прямої Зодерберга буде зміщуватися від одиниці в ту чи іншу сторону, тим самим визначаючи найбільш небезпечне їх співвідношення (див. табл. 1).

Таблиця 1.

Окремі механічні характеристики конструкційних матеріалів

№ пп	матеріал	σ_r , МПа	τ_r , МПа	σ_{-1} , МПа	τ_{-1} , МПа	Коефі-Т С	σ_a , МПа	τ_a , МПа
1	Ст.6	360	220	250	160	157	124	83
2	Ст.60	410	250	310	180	213	160	88
3	20Х	650	390	380	200	108	200	95
4	40Х	800	480	380	225	78	180	110
5	40ХН	800	390	400	240	140	185	130
6	30ХГСА	850	510	530	230	130	290	105
7	СЧ38-60	325	260	150	115	30	80	55

Таким чином, використання методики визначення допустимих діючих навантажень в умовах складного напруженого стану, що пропонується, дозволяє в значній мірі скоротити час, необхідних випробувань, а в деяких випадках дає можливість взагалі відмовитися від проведення довгострокових випробувань на втому. Достатньо знати границі текучості (міцності) і витривалості для даного матеріалу в



умовах простого навантаження, щоб аналітичним шляхом визначити границю витривалості матеріалу при складному напруженому стані в першому наближенні, а при необхідності і небезпечний інтервал зміни ($K = 0,25 \div 4$) допустимих співвідношень діючих напружень. Слід сказати, що границя витривалості матеріалу в першому наближенні визначається з деяким заниженням.

Література

1. Афанасьев Н.Н. Статистические теории усталостной прочности материалов. - Киев: АН УССР, 1953, - 127 с.
2. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. - Киев: Наукова думка, 1967, - 415 с.
3. Серенсен С.В. О сопротивлении усталости при сложном напряженном состоянии и симметричном цикле. В кн.: Некоторые вопросы усталостной прочности стали. - М.: Машгиз, 1953 - С.102-114.
4. Троценко В.Г. Прочность металлов при переменных нагрузках. - Киев: Наукова думка, 1978 - 173 с.
5. Одинг И.А. Допустимые напряжения в машиностроении и циклическая прочность металлов. - М.: Машгиз, 1962 - 159 с.
6. Гольцев Д.И. Вопросы динамики и динамической прочности. Изд-во Латв. ССР, Рига, 1953, - 205 с.
7. Писаренко Г.С., Литовка В.Н., Башта А.В. Определение предела выносливости высокопрочного чугуна при совместном действии чистого изгиба и кручения // Проблемы прочности. - 1985. - №7. - С.68-72.

Розглядається можливість аналітичного визначення, значень граничних напружень матеріалу при спільній циклічній дії згину і кручення. Отримана методика визначення інтервалу амплітудних значень напружень в інженерних розрахунках на міцність конструкційних матеріалів, при складному напруженому стані, та встановлено найбільш небезпечні їх співвідношення.