

Моделирование хрупкого усталостного разрушения сталей при двухчастотном нагружении

Научный руководитель – Завойчинская Элеонора Борисовна

Панарин Игорь Юрьевич

Студент (специалист)

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
Механико-математический факультет, Кафедра теории упругости, Москва, Россия
E-mail: panarin_igor@bk.ru

Двухчастотные многоцикловые нагружения являются эксплуатационными режимами различных элементов энергетического оборудования, авиационных двигателей и др. Поэтому задача моделирования процесса усталостного разрушения является актуальной проблемой при оценке долговечности. Анализ результатов изучения физических закономерностей развития разрушения приводит к его рассмотрению как разномасштабного случайного стадийного процесса прохождения структурных уровней [3]. Рассматривается двухчастотное одноосное нагружение на интервале времени $\tau \in [0, t]$ вида:

$$\sigma = \sigma_{a1} \sin(\omega_1 \tau) + \sigma_{a2} \sin(\omega_2 \tau).$$

Где $\omega_2 \geq \omega_1$; $\omega_i, i = 1, 2$ первая и вторая круговые частоты, σ_{ai} - амплитуды напряжения. При $\omega_2 = k\omega_1, k = 1, 2, 3, \dots$ нагружение является 2π -периодической функцией времени. Определяются шесть масштабных структурных уровней эволюции разрушения. Вводится понятие вероятности достижения дефектами j -го уровня, $j=1, \dots, 6$ предельного состояния $Q_j = Q_j(t)$, которые представляются в виде интегрального оператора Гильберта-Шмидта на процессе нагружения. Для них строится система определяющих соотношений с выходом на кривую усталости по дефектам макроуровня и образованию макротрещины-лидера такого вида:

$$Q_j(t) = \max_{z \in [0, t]} \varphi_j(z), \varphi_j(z) = \frac{2}{t} \int_0^t K(z, \tau) \sigma(\tau) d\tau, Q_j(t) = 1$$

Функции $\varphi_j(z)$ разлагаются в ряд по собственным функциям ядра $K = K(z, \tau)$. При двухчастотном нагружении находятся две собственные функции и два собственных значения на каждом уровне. Собственные значения определяются по данным стандартных усталостных одночастотных испытаний с учетом результатов физических исследований по развитию хрупких трещин. Для 23-процентной углеродистой стали найдены собственные значения при одночастотном нагружении. По модели для частных случаев отношения частот в зависимости от отношений амплитуд построены области развития дефектов каждого уровня и кривые усталости по уровням дефектности. Полученные теоретические результаты согласуются с известными опытными данными [1,2]

Источники и литература

- 1 Трошенко В.Т., Хамаза Л.А. Усталость и циклическая неупругость аустенитной стали после длительной эксплуатации при различных режимах нагружения // Проблемы прочности, 2012. № 5. 5-14.
- 2 Yamada T., Kitagawa S. Investigation of Fatigue Strength of Metals under Actual Service Loads // Bulletin of JSME. V.10. N 38. 1967. 245-252.
- 3 Zavoychinskaya E.B. A Stochastic Theory of Scale-Structural Fatigue and Structure Durability at Operational Loading // Understanding complex systems. 2021. 71-89 DOI: 10.1007/978-3-030-50302-4.