МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАРОЖДЕНИЯ И РОСТА УСТАЛОСТНЫХ КВАЗИТРЕЩИН ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Никитин И.С., Никитин А.Д.

Институт автоматизации проектирования РАН, Москва
i_nikitin@list.ru, nikitin_alex@bk.ru

Переход от механических испытаний образцов к прогнозированию ресурса и долговечности полноразмерных элементов конструкций потребовал развития теории и моделей разрушения, позволяющих переносить результаты экспериментальных исследований в инженерную практику. В настоящей работе рассматривается проблема разрушения авиационных материалов и элементов конструкций под действием циклических нагрузок. Развитие моделей циклического разрушения непрерывно связано с расширением представлений об усталости материалов. Согласно современным представлениям, выделяют несколько основных режимов усталостного разрушения: малоцикловая усталость (МЦУ), многоцикловая усталость (МНЦУ) и сверхмногоцикловая усталость (СВМУ). В настоящее время указанные режимы объединяют в единую кривую усталости, имеющую несколько ветвей или ступеней. Для описания полной кривой усталости необходимо ввести мультимодальное распределение усталостной долговечности, для чего удобно воспользоваться соотношением Баскина, устанавливающим связь между амплитудой напряжений и количеством циклов до разрушения на каждой из ветвей. Подобное обобщение кривых усталости выполнено в работе [1] и развито в однокритериальную мультирежимную модель усталостного разрушения по механизму роста трещин нормального отрыва [2], а затем распространено на случай трещин двух типов: нормального отрыва и сдвига [3]. На основе предложенной мультирежимной двухкритериальной модели [3] усталостного разрушения предложен метод сквозного счета зарождения и развития узких локализованных зон поврежденности в элементах конструкций для различных режимов циклического нагружения. Такие узкие зоны поврежденности можно рассматривать как квазитрещины двух типов, соответствующих механизмам нормального отрыва и сдвига.

Рассмотрен важный для приложений пример полетного цикла нагружения (многоцикловая усталость) и высокочастотного циклического нагружения при крутильно-изгибных колебаниях лопаток (сверхмногоцикловая усталость) диска компрессора авиационного газотурбинного двигателя. Дана оценка долговечности рассмотренного элемента конструкции при комбинированном нагружении в указанных циклических процессах.

Литература

[1] Burago N.G., Nikitin I.S. Multiaxial Fatigue Criteria and Durability of Titanium Compressor Disks in low- and giga- Cycle Fatigue Modes. Heidelberg. Springer. Mathematical Modeling and Optimization of Complex Structures. 2016. – pp. 117–130.

[2] Nikitin I.S., Burago N.G., Zhuravlev A.B. and Nikitin A.D. Multi-mode model for fatigue damage development. Mechanics of Solids. 2020. – Vol. 55, № 8. – pp. 298–306.

[3] Никитин И.С., Бураго Н.Г., Никитин А.Д. Повреждаемость и усталостное разрушение элементов конструкций в различных режимах циклического нагружения. Прикладная математика и механика, 2022. – Т.86, №2. – С. 276–290.