

М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук;
А.М. Лось, ст. преп.; П.В. Журба, студ.
(БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПРИ ИХ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ НАГРУЖЕНИИ

Целью данной работы является разработка методики ускоренного прогнозирования низкочастотных характеристик циклической прочности конструкционных материалов по результатам усталостных испытаний и изменений физико-механических характеристик на высокой частоте нагружения. Для достижения этой цели проводились усталостные испытания различных материалов (стали 20Х13, меди М1, алюминиевых сплавов Д16 и АМг2Н) в широком частотном диапазоне (0.3 - 18 кГц) знакопеременного изгиба при регулярном нагружении с использованием электродинамического вибростенда (0.3 кГц) и специально созданных магнитострикционных испытательных установок (2.8, 8.8 и 18 кГц).

Все испытательное оборудование работало в автоколебательном режиме с автоматическим поддержанием амплитуды колебаний образцов, которые представляли собой балочки прямоугольного сечения (2х6 мм), вырезанные вдоль направления проката, подвергнутые затем шлифовке, электрополировке и термообработке.

Статистическая обработка результатов усталостных испытаний, осуществленная на основании гипотезы нормального закона распределения, позволила установить, что частота нагружения практически не влияет на характеристики рассеяния усталостной долговечности исследованных материалов. Увеличение частоты нагружения практически не сказалось на форме усталостных кривых, при сохранении их эквидистантности и приводило к монотонному росту усталостной долговечности на всех базах испытаний. При этом увеличение базы испытаний приводило к уменьшению разницы между пределами ограниченной выносливости для всех материалов.

Все вышеперечисленное позволило предположить отсутствие значимых различий в физике процесса усталостного повреждения на низких и высоких частотах нагружения, для подтверждения чего были проведены исследования кинетики физико-механических характеристик (ФМХ) материалов в процессе нагружения на различных частотах.

тах. Перед испытаниями и после наработки определенного числа циклов определялись следующие структурно-чувствительные свойства (микротвердость, электросопротивление, магнитные характеристики, а также характеристики тонкой структуры: плотность дислокаций, напряжения второго рода, размер блоков).

Установлено, что ФМХ являются частотнозависимыми, причем с ростом частоты колебаний характерные точки кривых изменения монотонно сдвигаются в сторону увеличения числа циклов при одинаковой форме этих кривых и отражает факт некоторого запаздывания процесса усталостного повреждения с ростом частоты из-за меньшего времени действия максимальных напряжений. Сохранение конфигурации кривых говорит об отсутствии коренного отличия процесса усталостного нагружения на существенно различных скоростях приложения циклических напряжений.

Данные обстоятельства позволяют предложить физически обоснованную методику ускоренного прогнозирования низкочастотных характеристик циклической прочности конструкционных материалов. Для этого было введено понятие пороговых напряжений, т.е. величины циклических напряжений $\sigma_{пн}$, ниже которых не происходит каких-либо необратимых изменений ФМХ на данной базе испытаний. Результаты исследований данной характеристики показали монотонный ее рост с увеличением частоты, а также, что весьма ценно, существование постоянной разности между ней и величиной ограниченных пределов выносливости во всем исследованном диапазоне частот для каждого материала.

Методика прогнозирования предполагает определение усталостных характеристик материала на возможно более высокой частоте с соблюдением ограничений по температуре саморазогрева и одновременным определением величины высокочастотного порогового напряжения $\sigma_{пв}$ (например, по результатам исследования микротвердости). Одновременно испытаниям подвергаются образцы на низкой частоте с целью определения низкочастотного порогового напряжения $\sigma_{пн}$. По завершению высокочастотных испытаний определяется величина $\Delta\sigma$ – разность между ограниченным пределом выносливости на высокой частоте $\sigma_{-1в}$ и величиной порогового циклического напряжения $\sigma_{пв}$. Затем с помощью величины $\Delta\sigma$ и находится искомый предел низкочастотной выносливости как $\sigma_{-1н} = \sigma_{пн} + \Delta\sigma$.

Экспериментальная проверка данной методики прогнозирования на вышеназванных материалах показала ее достаточную точность при значительном сокращении длительности и трудоемкости определения усталостных характеристик.