

ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПУТЕМ ИХ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

А.В. БЛОХИН, С.Е. БЕЛЬСКИЙ, Ф.Ф. ЦАРУК

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

Разработка методов повышения усталостных характеристик материалов и элементов конструкций является весьма актуальной научной и инженерной задачей. Значительная сложность процесса усталостного повреждения и рассеяния получаемых характеристик требует получения большого объема экспериментальных данных по усталостным свойствам материалов, что невозможно без использования в исследовательской практике ускоренных методов определения характеристик усталости. Одним из перспективных методов является использование высокочастотного циклического нагружения. Применение высокочастотных усталостных установок для сравнительных испытаний дает возможность оперативно проверить влияние различных факторов на способность материала или деталей машин сопротивляться воздействию циклических нагрузок при значительном сокращении затрат времени и труда.

Разработку технологий повышения циклической прочности целесообразно вести на модельных, хорошо изученных материалах. В качестве такого модельного материала нами была выбрана медь М1. Нагружение образцов знакопеременным изгибом производилось с помощью специально разработанных электродинамического ( $f_{\text{рез}}=0.22$  кГц) и магнестрикционных ( $f_{\text{рез}}=2.8, 8.8, \text{ и } 18.0$  кГц) резонансных стендов. Испытательные стенды работали в автоколебательном режиме с автоматическим поддержанием амплитуды колебаний образцов, которые представляли собой балочки прямоугольного сечения (1.8x6 мм), вырезанные вдоль направления проката, подвергнутые шлифовке, электрополировке и вакуумному отжигу. Выдержка образцов при заданной температуре после нагружения в течение определенного времени осуществлялась в электропечи сопротивления (макс. отклонение  $\pm 2$  К). Для построения кривых усталости испытания продолжались до появления в образце усталостной трещины заданного размера, что фиксировалось по падению резонансной частоты установки. Измерение микротвердости  $H_n$  вдоль образца с помощью микротвердомера ПМТ-3М после нагружения позволяло легко выявить кинетику происходящих процессов усталостного упрочнения-разупрочнения материала образцов на различных частотах.

Статистическая обработка результатов усталостных испытаний, осуществленная на основании гипотезы нормального закона распределения,

позволила установить, что температура испытаний практически не влияет на характеристики рассеяния усталостной долговечности исследованного материала для всего диапазона частот нагружения, лишь несколько увеличивая вероятность разрушения образцов с ростом температуры. Увеличение температуры практически не сказывается на форме усталостных кривых, но приводит к монотонному снижению усталостной долговечности для всех баз и частот испытаний. Наблюдается также увеличение интенсивности снижения долговечности с ростом числа циклов нагружения.

Величина циклических напряжений, при которой начинают проявляться полосы скольжения в отдельных зернах металла, закономерно возрастает с ростом частоты нагружения и наоборот, закономерно уменьшается с ростом температуры выдержки образцов после нагружения. Анализ поведения кривых изменения микротвердости для разных частот позволил сделать вывод о том, что кинетика процессов усталостного повреждения практически не зависит от скорости приложения циклических напряжений, хотя и отмечается некоторое замедление изменений  $H_u$  для частоты 18.0 кГц, что можно объяснить сокращением времени воздействия максимальных напряжений в течение цикла. Рост температуры выдержки образцов после нагружения приводил к тому, что уровень микротвердости уменьшался относительно комнатной тем больше, чем выше температура выдержки превышала комнатную.

Аналогичным образом ведут себя и пороговые напряжения, т.е. циклические напряжения, ниже которых принятым методом изучения (по изменению микротвердости) не обнаруживалось каких-либо изменений выбранной характеристики относительно исходного уровня, т.е. возрастали с ростом частоты нагружения и уменьшались с увеличением температуры выдержки.

В конечном счете, изменения дислокационной структуры материала, значительно ускоряющиеся при выдержке при повышенных температурах, привели к тому, что долговечность образцов, испытанных после определенной выдержки при заданной температуре, значительно превысила долговечность образцов, не подвергавшихся данной процедуре для всех частот нагружения.

Таким образом, закономерное поведение структурно-чувствительных характеристик модельного сплава М1 при разных частотах и полученные результаты усталостных испытаний позволяют предлагать использование повышенных температур для реального повышения циклической прочности материалов.