

КОМПЛЕКСНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ ИЗГИБЕ

*Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь*

Большое количество ответственных деталей транспортных машин, технологического и энергетического оборудования испытывает при эксплуатации различные типы колебаний широкого амплитудно-частотного диапазона. Для обеспечения необходимого уровня надежности подобных изделий необходим значительный объем информации об усталостных и физико-механических характеристиках материалов при различных условиях циклического нагружения, поскольку усталостные разрушения часто являются причиной катастрофического выхода конструкций из строя.

Для оценки влияния параметров нагружения на сопротивление усталости проведены испытания различных материалов (меди М1, алюминиевых сплавов Д16 и АМг2) в условиях знакопеременного изгиба на частотах 0,3; 3,0; 9,0 и 18,0 кГц. Преимуществом образцов, нагружаемых изгибом, представляющих собой балочки сечением 6х2 мм, вырезанные вдоль направления прокатки, является возможность получения различных уровней напряжений по длине одного и того же образца. Параметры испытаний рассчитывались в соответствии с работами [1, 2]. Образцы вырезались из листового металла одной поставки. Предусматривался сьем минимальной толщины поверхностного слоя при механической обработке с последующим отжигом и электрополированием.

Усталостные испытания проводились на разработанном в БГТУ комплексе оборудования, состоящего из установки на базе электродинамического стенда ВЭ и магнитострикционных преобразователей [3]. Стенды работали в автоколебательном резонансном режиме с автоматическим поддержанием параметров нагружения, что обеспечило возможность отслеживать кинетику накопления усталостных повреждений в материале образца по падению его собственной частоты и прекращать испытания при достижении заданной степени повреждения, соответствующей определенной длине трещины.

Влияние частоты нагружения на характеристики усталости оценивалось по кривым, построенным в координатах σ -lgN. Экспериментальные данные приведенные на рис. 1 для меди М1 показывают, что с ростом частоты характерно монотонное увеличение усталостной долговечности. Аналогичные зависимости данной величины от частоты испытаний определены и для других исследованных нами материалов.

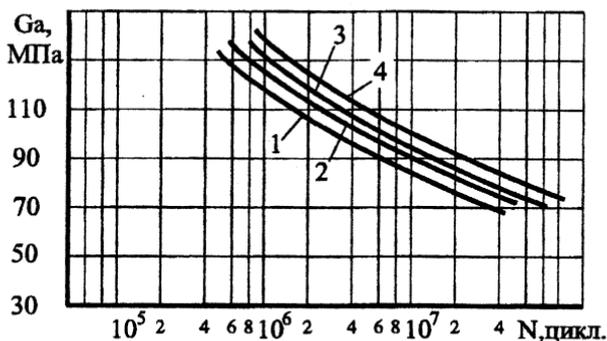


Рис. 1. Усталостные кривые меди М1 полученные для частот:
1 — 0.3 кГц; 2 — 2.8 кГц; 3 — 8.8 кГц; 4 — 18.8 кГц.

Полученные результаты могут быть объяснены тем, что с ростом частоты величина пластической деформации за цикл изменения нагрузок уменьшается, поскольку необратимые процессы, ответственные за начало и развитие усталостного повреждения в области высоких частот не успевают завершиться из-за малого времени пребывания материала под действием максимальных циклических напряжений.

Влияние параметров нагружения на изменение структурно-чувствительных свойств также может быть показано на примере меди М1 в связи с однородностью и хорошей изученностью ее свойств.

Графики кинетики микротвердости меди М1 показывают немонотонное изменение данной характеристики с ростом величины циклических напряжений. Так, на первом этапе рост напряжений до определенного уровня не приводит к практически значимым изменениям H_v данных материалов, или иными словами можно сделать вывод о том, что для них существует величина нагрузок, ниже которых практически не происходит изменений исследованной характеристики, т.е. для микротвердости проявляются пороговые свойства по величине циклических напряжений. На рис. 2, 3 величине пороговых напряжений соответствует расстояние в 2–2.5 мм от начала образца.

После преодоления пороговых напряжений наступает значительный рост H_v до максимума (практически в два раза по сравнению с исходным) с последующим снижением, которое однако значительно превосходит уровень микротвердости до испытаний (в 1.6–1.8 раза). Особенно это характерно для базы испытаний 106 цикл., когда насыщение микротвердости более явно выражено. С возрастанием базы до 107 цикл. увеличение микротвердости проявляется в меньшей степени, что может быть объяснено развитием процессов разупрочнения, предшествующих росту усталостной трещины. По этой причине отмечается сдвиг максимума кривых с 6 мм до 9–10 мм.

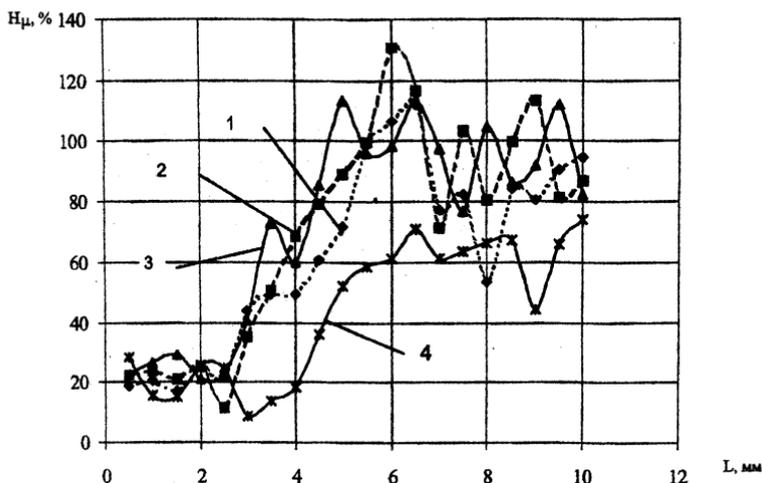


Рис. 2. Изменение микротвердости меди M1 ($N=106$ цикл.):

1 — после эксперимента, 2 — через 1 час, 3 — через 3 часа, 4 — через 24 часа.

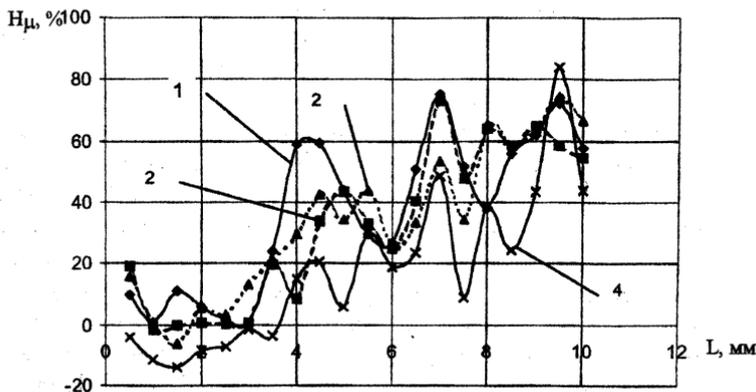


Рис. 3. Изменение микротвердости меди M1 ($N=107$ цикл.):

1 — после эксперимента, 2 — через 1 час, 3 — через 3 часа, 4 — через 48 часов.

Из анализа представленных зависимостей можно также отметить заметное увеличение разброса микротвердости после нагружения по сравнению с исходным уровнем отожженного состояния для обеих баз испытаний.

Время вылеживания образцов после нагружения оказывает существенное влияние на величину исследованной характеристики. Для всех баз испытаний отмечается

качественно подобная картина уменьшения достигнутого уровня микротвердости с ростом времени вылеживания образца, хотя необходимо отметить, что с увеличением числа циклов данный процесс имеет тенденцию к затуханию. Так, если для базы 106 цикл. вылеживание в течение суток привело к примерно к 30–40% изменению микротвердости, то на базе 107 цикл. вылеживание в течение даже двух суток дало уменьшение только на 15%. Очевидно, при 107 цикл циклов испытаний выше доля необратимых изменений структуры и субструктуры материалов, проходящих перед началом усталостного разрушения. При меньшем уровне напряжений (до 4 мм от края образца) снижение микротвердости при вылеживании в течение суток возможно в большей степени.

Наличие пороговых напряжений (т.е. величины циклических напряжений, ниже которых не наблюдается принятыми методами исследований изменений структурно-чувствительной характеристики) позволяет использовать их в качестве базовой величины для определения момента начала усталостного разрушения, а в целом, закономерное изменение микротвердости в зависимости от величины напряжений и базы испытаний позволяет выделить микротвердость как перспективную характеристику для исследования процесса усталостного повреждения при различных параметрах циклического нагружения.

Снижение микротвердости при вылеживании указывает на обратимость некоторых усталостных процессов, а следовательно, на возможность их замедления соответствующей выдержкой без нагрузки при различных температурах или другой специальной обработкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Немцов В.Б., Долбин Н.А., Царук Ф.Ф., Довгялло И.Г., Кондеев Ю.Н. К расчету напряженного состояния пластин, колеблющихся на низких ультразвуковых и звуковых частотах. — Теоретическая и прикладная механика. Вып. 16. — Минск, Вышэйшая школа, 1989. — С. 113–117. 2. Новицкий А.В., Царук Ф.Ф., Юргилевич А.Н. К расчету напряженного состояния балочных образцов-моделей элементов технологического оборудования при рабочих температурах. — Труды БГТУ, серия II, выпуск VIII, Минск, 2000. — С. 213–218. 3. Блохин А.В., Царук Ф.Ф., Гайдук Н.А. Комплекс оборудования для усталостных испытаний элементов технологического оборудования. — Труды БГТУ, серия II, выпуск X, Минск, 2002. — С. 213–215.