

ЗНАНИЯ СТОЯТ ДОРОГО, НО...

Сопrotивление конструкций усталости

Е.К. ПОЧТЕННЫЙ,
доктор технических наук,
профессор



Для оценки и обеспечения ресурса конструкций на стадии подготовки серийного производства машин необходимо выявить опасные зоны конструкций и определить характеристики сопротивления усталости этих зон, определить нагруженность опасных зон конструкций в типовых условиях эксплуатации машины, оценить ресурс конструкции с использованием характеристик сопротивления усталости и результатов анализа нагруженности.

Разработанная в Научном центре проблем механики машин НАН Беларуси методика (комплекс методов) базируется на результатах усталостных испытаний образцов материала, локальных моделей и натуральных конструкций, а также анализа нагруженности при испытаниях опытных образцов машин в условиях эксплуатации.

Экспериментально-аналитический метод усталостных испытаний [1] описывается уравнениями кривой усталости:

$$N = \frac{Q}{\sigma} \cdot \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(\frac{\sigma - \sigma_R}{v_0} \right) - 1 \right] \right\} \quad (1),$$

$$N = N_0 \cdot \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(\frac{\sigma - \sigma_R}{v} \right) - 1 \right] \right\} \quad (2),$$

где N - число циклов регулярного нагружения до предельного повреждения, (σ - максимальное напряжение цикла, (σ_1 - предел выносливости при коэффициенте асимметрии цикла R , N_0 - число циклов до точки нижнего перегиба кривой усталости, $Q = \sigma_1 \cdot N_0$ - коэффициент сопротивления усталости, v_0 - коэффициент с размерностью напряжения,

$$v = \left| \frac{d\sigma}{d \ln N} \right| - \text{характеристика угла}$$

наклона кривой усталости.

Метод предусматривает испытания в диапазоне максимальных напряжений цикла от предела текучести до предела выносливости с определением как наклонного участка кривой усталости, так и предела выносливости. Результатом испытаний и анализа являются характеристики сопротивления усталости в виде параметров уравнений (1) и (2). При вероятностных расчетах

ресурса используют уравнение (1), а при вероятности неразрушения 0,5 - уравнение (2).

На графике (рис.1) точками нанесены результаты испытаний, а линиями - кривые усталости для образцов стали 17Г1С. Испытания проводились при коэффициентах асимметрии $R = 0$ (верхняя кривая) и $R = -1$.

Регистрации нагруженности в условиях эксплуатации должны предшествовать расчеты напряженного состояния конструкции методами конечных элементов с моделированием схемы нагружения и выявлением опасных зон. Проверка результатов расчетов выполняется статическим тензометрированием с воспроизведением расчетных схем.

Выборанный для регистрации нагруженности опасных зон эксплуатационный процесс делится на типовые режимы эксплуатации. Например, для

автомобиля - самосвала укрупненно типовыми режимами эксплуатации являются: загрузка, движение в карьере с грузом, движение вне карьера с грузом, разгрузка, движение вне карьера без груза, движение в карьере без груза. Любой типовой режим движения можно разделить на более мелкие режимы: движение на поворотах, подъемах, при разных скоростях и т.д. Результаты тензометрирования для каждого типового режима эксплуатации подвергаются схематизации.

Метод схематизации случайного многочастотного нагружения [2] разработан на базе анализа результатов усталостных испытаний при двухчастотном нагружении [3,4]. На рис.2 представлены результаты регистрации тензометрированием напряжений опасной зоны рамы автомобиля - самосвала, а также выделенные напряжений более низких частот. В верхней части графика представлен случайный процесс нагружения. Из процесса выделяются значения напряжений в виде минимумов и следующих за ними максимумов, которые образуют блок нагружения первой частоты.

Выделенные максимумы напряжений образуют процесс нагружения более низкой второй частоты, из которого выделяются свои минимумы напряжений и следующие за ними максимумы и т.д. В нашем случае выделены напряжения второй, третьей и четвертой частот. Не вызывает сомнений, что при анализе нагруженности необходимо учитывать напряжения трех частот в виде блоков минимумов и максимумов. Блоки схематизированных напряжений могут быть использованы как нагрузочные при усталостных испытаниях конструкций в том числе и ускоренных.

Коэффициент асимметрии циклов в реальных нагрузочных блоках является величиной переменной, а реализация метода расчета циклической долговечности требует приведения циклов с переменной асимметрией к циклам с постоянным коэффициентом асимметрии. Разработан метод [2] приведения асимметричных циклов к эквивалентным по повреждению симметричным циклам, исходя из равенства числа циклов до разрушения при нагружении асимметричными и симметричными циклами.

После приведения эквивалентные напряжения каждой частоты

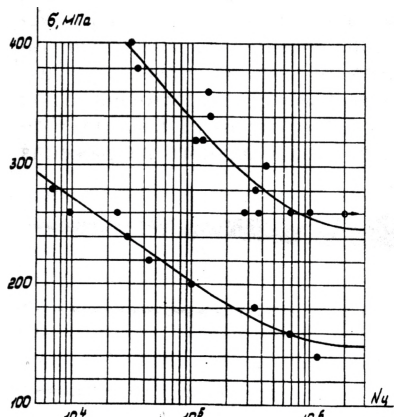


Рис. 1. Кривые усталости образцов стали 17Г1С при отнулевом (верхняя кривая) и симметричном нагружении.