

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ МАСШТАБНЫХ УРОВНЕЙ НАГРУЖЕНИЯ

Л.И.Погодаев, К.К.Сейтказенова, А.И.Айнабеков, Д.Мырзалиев
 Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций, г.Санкт-Петербург, ЮКГУ им.М.Ауезова, г.Шымкент р

Анализ опытных данных показывает, что в зависимости от уровня внешнего силового воздействия изнашивание материалов может соответствовать микро-, мезо- и макромасштабному уровням. В общем случае изменение объемного износа материалов ΔV во времени можно представить упрощенным исходным энергетическим соотношением:

$$\Delta V = \left[\frac{\Delta V_0 (N - N_{кр})^m}{N_{ак}^m} \right] = \Delta V \left(\frac{W_i}{W_{кр}} \right)^{mn/3} \Delta N^m = \Delta V_0 \left[\frac{(E_{вн} \cdot v_i)}{(E_{кр} \cdot v_{кр})} \right]^{mn/3} \Delta N^m \quad (1)$$

где ΔV_0 - объемный износ, соответствующий периоду повреждаемости $\tau_{инк}$ или числу циклов нагружения $N_{инк}$; W_i и $W_{кр}$ - среднестатистические текущее и критическое значения плотности мощности единичного внешнего нагружения соответственно; $E_{вн}$, v_i и $E_{кр}$, $v_{кр}$ - плотность энергии и скорость воздействия на материал отдельного внешнего импульса, а также их критические значения, вызывающие разрушение материала в результате однократного нагружения (при $N=1$); m - показатель степени, характеризующий вид кинетической кривой изнашивания ($m=0,5-2,0$); n - показатель степени при напряжении (давлении $p_{кр}$, p_i или скорости удара $v_{кр}$, v_i) в частных уравнениях поверхностной псевдоусталости:

$$N_{кр} = \left(\frac{p_{кр}}{p_i} \right)^n, \quad (2)$$

дискретно изменяющийся по закону, близкому к правилу геометрической прогрессии, например, как ряд чисел: 1,5; 3,0; 6,0 и 12, при переходе от одного уровня нагружения к другому, каждый раз удваиваясь в точках бифуркаций, на стыке характерных участков макро-, мезо- и микромасштабного внешнего нагружения.

Влияние разномасштабности нагружения на процессы трения и изнашивания трибосистем и материалов наиболее существенно проявляется при граничном трении, при трении качения с проскальзыванием и при кавитационной эрозии. При смене масштабных уровней скачкообразно изменяется скорость изнашивания трибоузла и соответствующие характеристики поверхностных слоев материалов: энергия активации процессов атомно-молекулярных перегруппировок, диссипативная структура, плотность потока энтропии, глубина проникновения пластической деформации и т.п. При этом критерием износостойкости и долговечности материалов является осредненная в деформируемых объемах на каждом масштабном уровне внешнего нагружения критическая плотность мощности деформации $W_{кр}^*$.

При оценке относительной износостойкости группы материалов в сравнении с эталоном при различных и достаточно продолжительных периодах повреждаемости $\tau_{инк}$ или $N_{инк}$ и $m=1$ на основании выражений (1) и (2), а также с учетом экспериментально установленной квадратичной зависимости между относительной износостойкостью материалов $k_{\Delta v}$ и периодом $N_{инк}$ можем записать:

$$k_{\Delta v} = \left(\frac{P_{спi}}{P_{спэ}} \right)^{n/2} = \left(\frac{E_{спi}^*}{E_{спэ}^*} \right)^{n/4} = \left(\frac{W_{спi}^*}{W_{спэ}^*} \right)^{n/6}, \quad (3)$$

где индексами «i» и «э» обозначены механические характеристики исследуемого и эталонного материалов соответственно.

Поскольку $k_{\Delta v}$ в (3) связана с глубинами зон упругопластического деформирования изнашиваемых материалов, т.е. с масштабами наблюдения, а удельная энергоемкость материалов в пределах этих зон отражает затраты энергии на рост трещин, приводящих в итоге к образованию продуктов изнашивания (неодинаковой крупности на различных масштабных уровнях нагружения), то соотношение (3) можно рассматривать с позиции теории фракталов. При этом дробная фрактальная размерность D при $k_{\Delta v}$ окажется равной $4/n$, а на различных масштабных уровнях соответственно: $4/1,5$; $4/3$; $4/6$ и $4/12$ или: $2,66$; $1,33$; $0,67$ и $0,33$.

На основе соотношений (1-3) разработаны инженерные методики прогнозирования износостойкости и долговечности материалов и деталей машин, в частности методика оценки долговечности деталей при вибрационной кавитации, включающая следующие операции:

1. По расчетным формулам определяют частоту и амплитуду колебаний вибрирующей поверхности детали.
2. Вычисляют напряжение, соответствующее установленной частоте вибрации.
3. По графикам поверхностной усталости исследуемого материала определяют инкубационный период $\tau_{инк}$, соответствующий расчетному напряжению.
4. Пересчитывают $\tau_{инк}$, определенный по данным испытаний образцов на магнитоистрикоре, на натурные условия.
5. Определяют допускаемую глубину эрозионных повреждений.
6. Рассчитывают скорость эрозии детали.
7. По расчетным формулам определяют долговечность детали, соответствующую допускаемой глубине эрозионных раковин на поверхности детали в условиях эксплуатации.

Қорытынды

Материалдардың төзімділігін кавитацияның дамыту дәрежесімен, эрозияның бастауымен соғудың критикалық жылдамдылығы және аккумуляциялық кезеңімен болжаудың мүмкінділігі көрсетілген. Модель фазалық айнарудың энергиясының, энергетикалық критерийді $W_{кр}$ және ішкі энергияның тығыздығын $E_{уд}$ есепке алады.

Summary

The possibility prediction wear resistance of materials by degree development of cavitation and start of erosion, by critical speed of blow $v_{кр}$ and accumulative time $\tau_{ак}$ are demonstrated. The model account energetical criterion $W_{кр}$, energy of phase change $E_{фн}$ and density of inside energy $E_{уд}$.