

УДК 539.3

ОСНОВЫ МЕХАНИКИ ТРИБОФАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© 2011 г.

Л.А. Сосновский¹, М.А. Журавков², С.С. Щербаков²

¹Межведомственная лаборатория «Трибофатика», Гомель

²Белорусский госуниверситет, Минск

sosnovskiy@tribo-fatigue.com

Поступила в редакцию 24.08.2011

Представлена постановка задачи механико-математического моделирования в трибофатике. Рассмотрены основные компоненты комплексного исследования трибофатических систем, включающие анализ напряженно-деформированного состояния, динамики, поврежденности и предельного состояния. Приведены некоторые результаты расчета поврежденности в трибофатической системе.

Ключевые слова: трибофатика, механико-математическое моделирование, напряженно-деформированное состояние, поврежденность, предельное состояние.

В течение последних 25 лет разработаны методологические, теоретические и экспериментальные основы механики трибофатических систем; это новый раздел в механике, кратко называемый трибофатика [1–3]. Принципиальная особенность таких систем состоит в том, что ее элементы одновременно подвергаются как объемному (изгиб, кручение и др.), так и локальному (контактное взаимодействие с трением) нагружению.

В трибофатической системе (рис. 1) обнаруживается объединенное напряженное состояние, которое представляется в виде суперпозиции напряженных состояний, обусловленных отдельными граничными условиями.

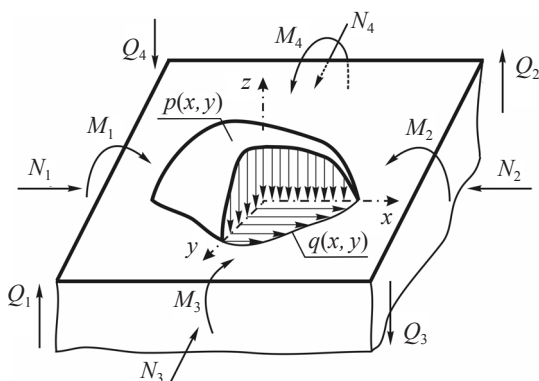


Рис. 1

Постановка и решение задачи определения объединенного напряженно-деформированного состояния (НДС) являются трехмерными. Его механико-математическая модель:

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^{(n)} + \sigma_{ij}^{(\tau)} + \sigma_{ij}^{(b)} = \left[\sigma_{ij}^{(hs)} \underset{z}{\vee} \sigma_{ij}^{(surf)} \right] +$$

$$+ \sigma_{ij}^{(\tau)} + \sigma_{ij}^{(b)} = \left[\iint_{S(\xi, \eta)} p(\xi, \eta) \sigma_{ij}^{(B)}(\xi x, \eta y, z) d\xi d\eta \underset{z}{\vee} \sigma_{ij}^{(S)}(x, y) \right] + \iint_{S(\xi, \eta)} q(\xi, \eta) \sigma_{ij}^{(C)}(\xi x, \eta y, z) d\xi d\eta + \sigma_{ij}^{(M)}(x, y, z) + \sigma_{ij}^{(N)}(x, y, z) + \sigma_{ij}^{(Q)}(x, y, z). \quad (1)$$

Состояние поврежденности анализируется на базе статистической модели деформируемого твердого тела с опасным объемом

$$V_{P\gamma} = F_V [p(\sigma_{lim}), p(\sigma_{ij}), G_\sigma, V_0, P, \gamma, \mathfrak{B}_V] \quad (2)$$

при действии тензора напряжений. Компонентные и тензорный опасные объемы являются пространственно-вероятностными характеристиками уровня поврежденности элементов трибофатической системы. В качестве примера на рис. 2 представлены конфигурации опасных объемов в трибофатической системе при действии сжимающих (а) либо растягивающих (б) напряжений; опасные объемы вычислены по интенсивности напряжений ($V_{int} = \int_V (\sigma_{int} / \sigma_{int}^{(lim)}) dV$).

Задача о предельном состоянии ставится применительно не к деформируемому твердому телу, а к трибофатической системе. Решение дается в энергетической постановке с учетом пространственного НДС, а также действия температуры и коррозионной среды:

$$\Phi(U_{\sigma(ch)}^{eff}, U_{\tau(ch)}^{eff}, U_{T(ch)}^{eff}, \Lambda_{i \setminus j}, m_k, U_0) = 0. \quad (3)$$

Особенность полученного решения состоит в том, что критерий достижения предельного состояния оказывается зависящим от реализации

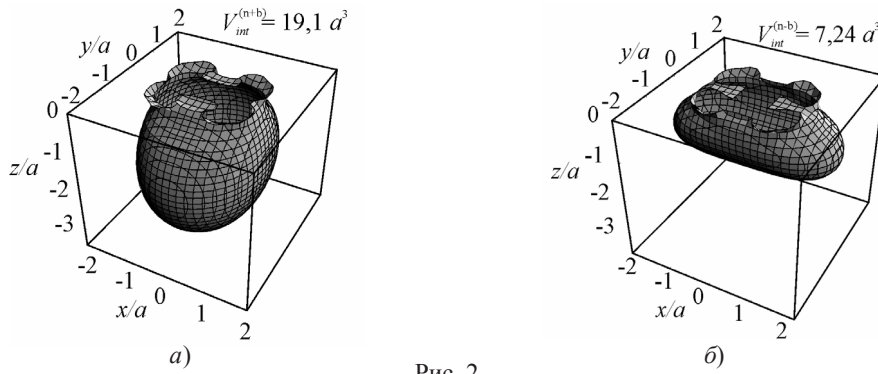


Рис. 2

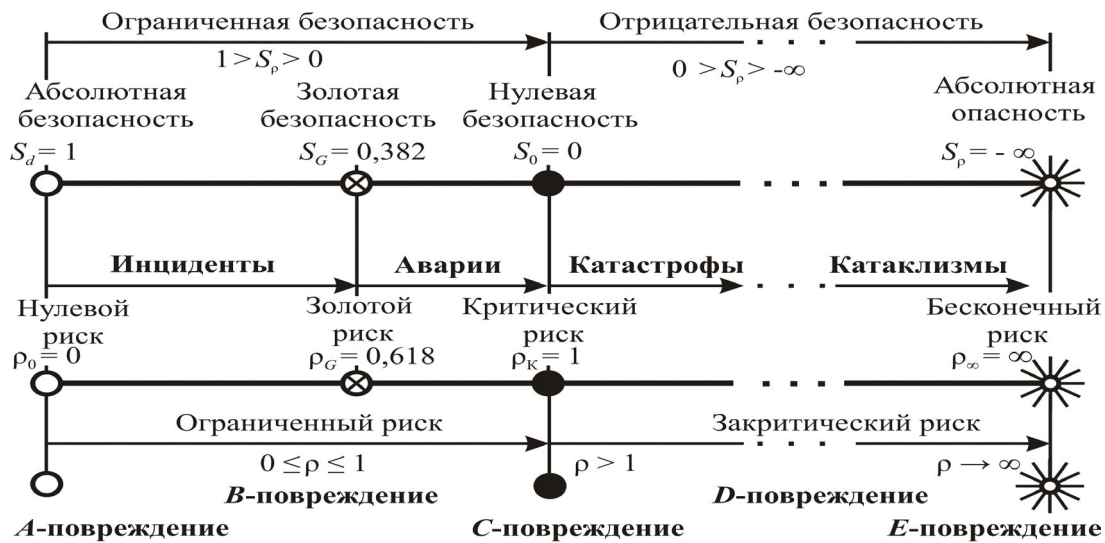


Рис. 3

процессов упрочнения-разупрочнения; последние описываются на базе теории Λ -взаимодействия необратимых повреждений.

При анализе указанных механических состояний особое внимание уделяется прямому и обратному эффектам, которые установлены в трибофатиге.

Исследование состояний безопасности систем проводится на базе представления о риске

$$0 \leq \rho(A_i, B_i) = \frac{P(A_i)}{Q(B_i)} \leq \infty, \quad (4)$$

который определяется соотношением вероятностей событий ее разрушения и неразрушения.

В качестве примера на рис. 3 показана взаимосвязь повреждений системы с риском (безопасностью).

Список литературы

1. Sosnovskiy L.A. Tribo-Fatigue. Wear-fatigue damage and its prediction (Foundations of engineering mechanics). Springer, 2004. 424 p.
2. Труды VI Междунар. симпози. по трибофатиге (ISTF 2010), 25 октября–1 ноября 2010 г., Минск / Под ред. М.А. Журавкова. Минск: БГУ, 2010. Т. 1. 840 с.; Т. 2. 724 с.
3. Сосновский Л.А., Махутов Н.А. Трибофатига: износоусталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности машин. М.–Гомель, 2000. 304 с.

FUNDAMENTALS OF TRIBO-FATIGUE SYSTEMS MECHANICS

L.A. Sosnovskiy, M.A. Zhuravkov, S.S. Sherbakov

Statement of the problem of mechanical and mathematical modeling in tribo-fatigue is presented. Main components of complex research of the tribo-fatigue systems including the analysis of stress-strain state, dynamics, damage and limiting states are considered. Some results of calculation of damage in tribo-fatigue system are given.

Keywords: tribo-fatigue, mechanical and mathematical modeling, stress-strain state, damage, limiting state.