

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТАЛОСТИ ПРИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОМ СЛУЧАЙНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

А.А. Абызов, О.С. Садаков

В статье предложена методика расчетной оценки усталостной долговечности конструкций при многопараметрическом многоцикловом нагружении, основанная на использовании структурной модели материала. История деформаций находится из линейно упругого расчета. Поврежденность материала связывается с микропластическими деформациями. Приведены основные соотношения метода и результаты тестовых расчетов.

1. В связи с развитием вычислительной техники все более широкое применение находят методы расчетной оценки усталостной долговечности ответственных деталей на ранних стадиях проектирования. Применительно к транспортным гусеничным машинам такая методика предложена в работах [1, 2]. Она предполагает компьютерное моделирование динамических процессов, происходящих при движении машины в условиях многопараметрического случайного воздействия внешней среды. Путем численного интегрирования уравнений движения получают процессы изменения обобщенных координат и, затем, сил, действующих на детали шасси. В дальнейшем с помощью моделей накопления повреждений может быть получена оценка ресурса рассматриваемой детали. В случае многоциклового нагружения расчет напряженно-деформированного состояния не представляет трудностей, так как можно использовать законы линейной упругости. Однако модель накопления усталостных повреждений еще недостаточно разработана.

Наибольшие трудности представляет оценка усталостной долговечности деталей, работающих в условиях многопараметрического случайного нагружения, когда компоненты тензора напряжений в опасной точке являются независимыми случайными процессами. Примерами таких деталей являются рамы и несущие корпуса транспортных машин, а также элементы движителя. В работе [3] рассмотрена одна из таких деталей – балансир гусеничной машины, соединяющий опорный каток с корпусом. Нагрузку, действующую на каждый опорный каток машины при движении по трассе, можно разложить на три составляющие: вертикальную, продольную, обусловленную силами сопротивления, и боковую, возникающую при поворотах. Процессы изменения этих нагрузок во времени являются слабокоррелированными случайными процессами. Угол поворота балансира относительно корпуса также изменяется по случайному закону. В связи с этим опасная точка на поверхности стебля балансира находится в условиях плоского напряженного состояния, когда процессы изменения компонент тензора напряжений $\sigma_x(t)$, $\sigma_y(t)$, $\tau_{xy}(t)$ являются независимыми случайными процессами.

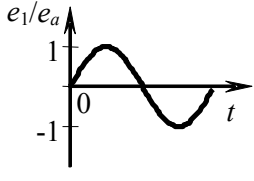
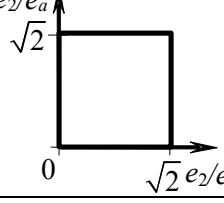
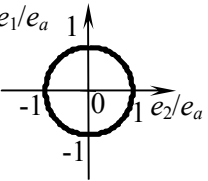
Как показывает анализ литературы [4, 5], в настоящее время для такого случая нагружения отсутствует общепринятая методика расчетной оценки долговечности. Обычно ограничиваются случаем, когда компоненты тензора напряжений изменяются синхронно и синфазно по периодическому закону. Для этого случая рекомендуется рассчитывать амплитуду эквивалентного напряжения по амплитудам компонент тензора напряжений, используя общепринятые гипотезы (например, максимальных касательных напряжений или октаэдрических напряжений) и в дальнейшем вести расчет методами, предназначенными для одноосного нагружения. Экстраполируя такой подход на процесс регулярного симметричного пропорционального нагружения, заметим, что он означает замену истинной амплитуды на вдвое меньшую (с увеличением числа циклов вдвое), что ведет к очевидным ошибкам.

2. Методика расчета для случая, когда в каждом цикле нагружения компоненты тензора напряжений изменяются синхронно и синфазно (главные площадки остаются неподвижны) разработана на кафедре ПМиДПМ ЮУрГУ [6–8]. В соответствии с этим подходом в окрестности опасной точки рассматривается совокупность площадок, в каждой из которых ведется расчет накопленного повреждения. В каждом цикле нагружения для каждой площадки вычисляется амплитуда нормального и касательного напряжения, по которым, в свою очередь, вычисляется амплитуда эквивалентного напряжения. Затем, используя скорректированную линейную гипотезу

10. Представленные результаты тестовых расчетов свидетельствуют, что предлагаемая методика расчетной оценки усталостной долговечности согласуется с общепринятыми методиками и не противоречит экспериментальным данным в рассмотренных случаях нагружения. Проверка адекватности методики будет продолжена с использованием результатов натурных испытаний при многопараметрическом нагружении. В дальнейшем предполагается ее использование для расчетной оценки усталостной долговечности реальных деталей.

Таблица 2

Результаты тестовых расчетов

Цикл нагружения			
Относительная долговечность	1	0,46	0,2

Литература

1. Березин И.Я., Абызов А.А. Концепция и методы имитационных ресурсных испытаний мобильной техники (сообщение первое) // Динамика, прочность и износостойкость машин. Международный журнал на электронных носителях. – 1996. – № 2. – С. 61–68.
2. Березин И.Я., Абызов А.А. Концепция и методы имитационных ресурсных испытаний мобильной техники (сообщение второе) // Динамика, прочность и износостойкость машин. Международный журнал на электронных носителях. – 1997. – № 3. – С. 73–84.
3. Абызов А.А., Березин И.Я., Бывальцев В.И. и др. Применение методики имитационных ресурсных испытаний для оценки ресурса тяжело нагруженных элементов движителя быстроходных гусеничных машин // Инженерная защита окружающей среды в транспортно-дорожном комплексе: Сб. науч. тр. МАДИ (ГТУ). – 2002. – С. 143–154.
4. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. – Киев: Наук. думка, 1976. – 415 с.
5. Серенсен С.В. Усталость материалов и элементов конструкций. // Избр. тр. Т.2. – Киев: Наук. думка, 1985. – 256 с.
6. Березин И.Я. Расчетная оценка долговечности деталей при нестационарном сложном напряженном состоянии // Тр. ЧПИ, вып. №139. – 1974. – С.25–29.
7. Сергеев В.Г., Березин И.Я. К расчету ресурса деталей, работающих в условиях нерегулярного нагружения и плоского напряженного состояния // Машиноведение. – 1980. – № 4. – С.67–73.
8. Березин И.Я., Гохфельд Д.А., Сергеев В.Г. Прогнозирование долговечности и остаточного ресурса по критериям усталостного разрушения // Материалы XI международного colloквиума «Механическая усталость металлов». – Киев. – 1991. – С. 27–40.
9. Гусев А.С., Никонов В.В., Дмитриченко С.С., Илинич И.М.. О расчете усталостной долговечности при плоском напряженном состоянии // Машиноведение. – 1979. – № 2. – С.81–86.
10. Никонов В.В., Илинич И.М., Тетерятников В.Я. Оценка усталостной долговечности металлоконструкций в условиях плоского напряженного состояния // Проблемы прочности. – 1980. – № 12. С.32–39.
11. Гусев А.С. Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках. – М.: Машиностроение, 1989. – 248 с.
12. Гохфельд Д.А., Кононов К.М., Порошин В.Б., Садаков О.С. К описанию малоциклового усталости при сложном напряженном состоянии с учетом ползучести // Прочность материалов и элементов конструкций при сложном напряженном состоянии. – Киев: Наук. думка, 1986. – С. 89–93.
13. Gokhfeld D.A., Kononov K.M., Poroshin V.B., Sadakov O.S. Coupled Mathematical Models for Cyclic Inelastic Deformation and Damage Accumulation Processes // Trans. 10th Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology (Anaheim, USA, 1989), Vol. L. – P. 19–24.

14. Гохфельд Д.А., Садаков О.С. Пластичность и ползучесть при переменных нагрузениях. – М.: Машиностроение, 1984.– 325 с.

15. Гохфельд Д.А., Садаков О.С. Модификации деформационной теории. Принцип подобия при непропорциональном нагружении // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение».– 2001. Вып. 1. – №6(06). – С.16–24.

16. Коллинз Д. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказания, предотвращение. – М.: Мир, 1984. – 624 с.

17. Горский С.В., Кононов К.М. Циклические кривые деформирования конструкционных материалов при повышенных температурах // Прочность машин и аппаратов при переменных нагрузениях: Тематический сборник научных трудов. – Челябинск: ЧГТУ, 1991. – С. 48–54.

Поступила в редакцию 15 февраля 2005 г.