

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Steve Berczuk (berczuk@acm.org), Configuration Management Patterns <http://www.bell-labs.com/cgiuser/OrgPatterns/OrgPatterns?ConfigurationManagementPatterns>.
2. Carey M., De Witt D., Richardson J., Shekita E. Storage Management for Objects in EXODUS // Object-Oriented Concepts, Databases, and Applications / W. Kim and F. Lochovsky eds.— Addison-Wesley Publishing Co., 1989.
3. Chien S. Y., Tsotras V. J., Zaniolo C. XML Document Versioning // SIGMOD Record.— 30 (2001).— 46–53 <http://citeseer.ist.psu.edu/chien01xml.html>.
4. Chuck Urwiler. Working with Microsoft Office Word 2003's XML. <http://www.devx.com/code-mag/Article/18227>.
5. Baezo-Yates R., Ribeiro-Neto B. Modern Information Retrieval.— ACM Press Addison Wesley, 1999.
6. Lipyeow Lim, Min Wang, Jeffrey Scott Vitter, Sriram Padmanabhan, Jeffrey Scott Vitter, Ramesh Agarwal // Dynamic Maintenance of Web Indexes Using Landmarks. WWW2003, May 20–24, 2003, Budapest, Hungary. ACM 1-58113-680-3/03/0005.

Материал поступил в редакцию 11.10.04.

УДК [062:001.8:005]:620.1

В. В. Андреев

Использование системного анализа для построения информационной системы прогнозирования поведения металлов при циклическом нагружении

Представлены основные результаты систематизации и обобщения экспериментальных данных по усталости металлов и сплавов, опубликованных в литературе, а также результаты поиска способов преобразования параметров сопротивления усталости для их использования при построении математической модели информационной системы прогнозирования поведения металлов при циклическом нагружении.

При периодическом нагружении металлических материалов показатели сопротивления усталости, как правило, ниже тех значений, которыми материал обладает в том случае, когда нагрузка приложена статически. При переменном характере механической нагрузки в материале происходит процесс постепенного накопления дефектов, их объединение и превращение сначала в субмикротрещину, затем в микротрещину и, в конце концов, в макроскопическую трещину, распространение которой по сечению конструкции приводит к окончательному разрушению.

Процесс постепенного разрушения материала при циклическом нагружении имеет характерные отличительные признаки, которые позволяют точно идентифицировать этот вариант нагружения в ряду всех остальных. Среди этих признаков необходимо упомянуть зависимость числа циклов перемены напряжений, предшествующих разрушению, от величины приложенной нагрузки и высокую чувствительность показателей сопротивления циклическому нагружению к совокупности факторов, при которых происходит разрушение детали или конструкции. При определенных условиях экспериментально можно выявить такой уровень нагрузки, которому материал достаточно длительно сможет сопротивляться без разрушения. Принято этот уровень напряжения называть пределом выносливости, а при определении допустимых эксплуатационных нагрузок стараться не превышать его

величины. Как и другие показатели сопротивления усталости, предел выносливости существенно зависит от того, при каких факторах происходит нагружение образца, детали или конструкции. Экспериментальное определение величины предела выносливости при каждом варианте действующих факторов — длительная и дорогостоящая процедура. Для построения одной кривой усталости (без оценки характеристик вероятностных распределений для показателей сопротивления усталости) необходимо 200–250 часов непрерывной работы экспериментальной установки при частоте действующей нагрузки 50 Гц. Статистический характер распределения неоднородностей (дефектов) по материалу даже лабораторных образцов, не говоря уже о натуральных деталях, заставляет предъявлять высокие требования к материалу заготовки и точности обработки при изготовлении образцов для испытаний. Высокие требования к изготовлению означают большую стоимость образцов. Высокая чувствительность и неоднозначный характер реакции показателей сопротивления усталости к изменению комплекса действующих факторов и их величине превращают задачу экспериментального определения показателей сопротивления усталости в практически бесконечную деятельность, которая объективно не способна выступать в качестве способа оперативного подтверждения того или иного решения, предлагаемого конструктором.

В связи с этим становится очевидной необходимость использования методов прогнозирования показателей сопротивления усталости. Предлагаемые разными авторами методы прогнозирования основаны на различных теориях накопления повреждений в конструкционном материале, они обладают различными показателями точности определения параметров сопротивления усталости, применимы к условиям действия различных совокупности факторов. Обилие методов прогнозирования показателей сопротивления усталости, или, как их еще называют, методов ускоренного построения кривой усталости металлов, является косвенным признаком того, что задача построения единой теории описания механизмов разрушения металлов при периодическом нагружении еще не решена.

Кроме того, практически все методы ускоренного построения кривых усталости основаны на обобщении объективно ограниченного количества экспериментальных данных. Это обусловлено объективно ограниченным объемом экспериментальных данных, которые способны получить один специалист или исследовательская организация.

С другой стороны, необходимо отметить, что за почти 150-летнюю историю “сознательного” изучения явления усталости были накоплены огромные объемы экспериментальных данных. Их объединению в рамках единого метода прогнозирования мешает разрозненный характер, неполные описания условий (действующих факторов) и фиксируемых при выполнении экспериментов количественных параметров.

Таким образом, разработка действительно универсального метода прогнозирования показателей сопротивления усталости должна сопровождаться решением следующих задач:

обеспечение возможности одновременного исследования больших объемов разнородных данных; разработка универсальной процедуры преобразования исходных данных в условные показатели, удобные для исследования;

разработка процедуры обратного пересчета (“восстановления”) условных показателей в традиционные показатели сопротивления усталости;

решение конкретных расчетных задач по определению остаточного ресурса или допустимых уровней нагрузок на базе спрогнозированного положения многоциклового участка кривой усталости.

Среди перечисленных задач основной, на наш взгляд, является поиск такого способа преобразования исходных экспериментальных данных, который бы позволил объединить все данные в рамках единых зависимостей, обобщенно описывающих поведение металлов как особого класса конструкционных материалов.

Для решения этой задачи были использованы следующие экспериментальные и теоретические предпосылки:

значительные по объему и отчасти систематизированные данные по ограниченному и физическим пределам выносливости металлов, представленные в [1];

наблюдаемая экспериментально и упоминаемая довольно часто в различных исследованиях (например, [1–3]) закономерность, заключающаяся в преимущественном увеличении значения предела выносливости при уменьшении угла наклона спрямленной в логарифмической системе координат кривой усталости;

исследования представителей ряда научных школ, подтверждающие возможность рассмотрения в качестве структурно чувствительного параметра — тангенса угла наклона левой ветви кривой усталости к оси числа циклов нагружения [4–6];

обширные исследования, выполненные, в частности в [6], по систематизации и исследованию методов ускоренного построения кривых усталости, а также очевидная необходимость разработки методов ускоренного построения кривых усталости более универсальных, нежели предлагаемые различными авторами, за счет систематизации и обобщения многочисленных данных по усталости металлов и сплавов, полученных к настоящему времени различными авторами.

Исследование накопленных к настоящему времени экспериментальных данных по усталости свидетельствует о необходимости их дополнительных преобразований, поскольку в исходном состоянии эти экспериментальные результаты пригодны только для вынесения заключений качественного характера. Наблюдаемый обычно широкий диапазон изменения параметров сопротивления усталости металлов обусловлен широким диапазоном изменения факторов, в условиях которых проводились испытания. В таблице представлены результаты систематизации совокупности факторов, при которых выполнялось периодическое нагружение образцов и деталей по [1].

Обобщенная характеристика условий, при которых были получены экспериментальные данные по усталости металлов и сплавов, представленные в [1]

№ п/п	Фактор	Диапазон варьирования
1	Марка стали или сплава	204 марки сталей и сплавов
2	Способ нагружения	17 различных схем нагружения
3	Испытательная среда	54 варианта испытательных сред
4	Температура испытания	66 температурных режимов
5	Форма сечения	4 формы поперечного сечения
6	Характерный размер	65 значений характерного размера
7	Частота цикла	68 различных значений частоты
8	Режим термообработки	81 режим термической обработки
9	Способ обработки поверхности	28 способов механической обработки поверхности образца
10	Чистота обработки поверхности	63 различных значения степени чистоты обработки поверхности

Выполненное исследование параметров сопротивления усталости в случае представления результатов испытаний в логарифмической системе координат позволило разработать систему преобразования традиционных параметров сопротивления усталости в их так называемые приведенные аналоги. Преобразование параметров сопротивления многоциклового усталости по формулам (1–3) позволяет получить следующие выражения для связи приведенных параметров сопротивления усталости друг с другом (4–6) и преобразовать экспериментальные данные по усталости металлов в

удобную для использования в рамках математической модели форму [7]:
приведенная прочность:

$$\sigma_{\text{пр}} = -\log(\sigma_R/\sigma_*); \quad (1)$$

приведенная долговечность:

$$N_{\text{пр}} = -\log(N_G/N_*); \quad (2)$$

приведенный угол наклона левой ветви кривой усталости:

$$\text{tg}\alpha_{W_{\text{пр}}} = -\log(\text{tg}\alpha_W), \quad (3)$$

где: σ_R — напряжение, соответствующее величине физического предела выносливости, МПа;

N_G — число циклов нагружения, соответствующее излому кривой усталости в многоциклового области (абсцисса точки перегиба кривой усталости),

σ_* , N_* — физически нереализуемые, условные величины напряжения и числа циклов, соответственно, при которых спрямленная кривая усталости пересекает координатные оси.

$$N_{\text{пр}} = 1,9421 \exp(2,5156 \text{tg}\alpha_{W_{\text{пр}}}) \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{пр}} = 6,2565 \exp(-2,2945 \text{tg}\alpha_{W_{\text{пр}}}) \quad (5)$$

$$\sigma_{\text{пр}} = 11,028 N_{\text{пр}}^{-0,8997}. \quad (6)$$

В основе предлагаемого преобразования лежит процедура приведения показателей сопротивления усталости (координат предела выносливости) к условным величинам напряжения и числа циклов нагружения, в которых условно продленная в область нереализуемых нагрузок и долговечностей кривая усталости пересекает оси логарифмической системы координат. Обоснованием для подобного преобразования является, в частности, тот факт, что все три точки (и предел выносливости, и обе точки пересечения кривой усталости и осей логарифмической системы координат) принадлежат одной кривой усталости и объединены одним и тем же значением структурно чувствительного параметра сопротивления усталости — тангенсом угла наклона спрямленной кривой усталости к оси числа циклов нагружения. При этом, если между условными точками пересечения координатных осей и параметром сопротивления усталости имеется связь, скажем, только геометрического характера, то связь между тангенсом угла наклона левой ветви кривой усталости и конкретным положением предела выносливости определяется, кроме того, еще и особенностями протекания процессов упрочнения — разупрочнения в ходе периодического нагружения в данном рассматриваемом случае с совершенно уникальными условиями, обусловленными конкретным комплексом действующих факторов. Эта связь, в частности, проявляется в том, что кривые усталости с большим углом наклона к оси числа циклов нагружения имеют, как правило, меньшее значение предела выносливости [3]. Преобразование приведением как бы переводит все рассматриваемые кривые усталости на единую поверхность, образующая которой представляет собой степенную убывающую функцию, а направляющая — прямую, параллельную оси приведенного угла наклона кривой усталости к оси числа циклов

нагружения. На этой поверхности и рассматривались одновременно точки, соответствующие пределам выносливости исследуемых кривых усталости.

В случае использования этой процедуры приведения экспериментальные данные трансформируются в зависимость, удобную для выполнения прогнозов различного вида.

Распространение процедуры приведения на кривые усталости, для которых физический предел выносливости экспериментально не был определен, позволило разработать процедуру построения обобщенной поверхности приведенных параметров сопротивления усталости. В этом случае линии равного уровня, образующие эту поверхность, соответствуют отклонению ограниченного предела выносливости от значения физического предела выносливости.

Предложенное универсальное преобразование приведением показателей сопротивления усталости позволило реализовать всю остальную процедуру прогнозирования положения кривых усталости металлов в многоциклового области. Прогнозирование при этом заключается в последовательном обращении от традиционной логарифмической системы координат к системе приведенных показателей сопротивления усталости, в определении положения прогнозируемого предела выносливости на обобщенной зависимости и последующего пересчета (“восстановления”) традиционных показателей сопротивления усталости из их приведенных аналогов. В качестве параметра-аргумента для использования обобщенной зависимости или поверхности приведенных параметров используется тангенс угла наклона кривой усталости к оси числа циклов нагружения. Оценка его значения может быть выполнена либо по испытаниям на усталость ограниченного количества образцов или деталей, либо пересчетом на основе корреляционных зависимостей тангенса угла наклона кривой усталости в логарифмической системе координат и параметров сопротивления, например, статическому нагружению [8].

Практическое применение предлагаемой процедуры для прогнозирования положения кривой усталости металлических образцов показало достаточную для ускоренного метода прогнозирования точность в определении параметров сопротивления усталости (в пределах 10% от величины предела выносливости).

Таким образом, системное исследование накопленных к настоящему времени экспериментальных данных по усталости металлов, изучение закономерностей в поведении показателей сопротивления многоциклового усталости и, прежде всего, в поведении структурно чувствительного показателя интенсивности прохождения процессов упрочнения — разупрочнения при циклическом нагружении, выраженного в форме тангенса угла наклона кривой усталости к оси числа циклов нагружения, техническое обеспечение возможности одновременной обработки больших объемов разнородной информации по усталости металлов и сплавов, достигнутое за счет использования процедуры приведения в рамках разработанной информационной системы, позволили реализовать полную и логически не противоречивую математическую модель, описывающую количественно поведение металлов и сплавов в широком диапазоне действия факторов различной

природы. Особенности построения данной математической модели позволяют говорить о реализации в составе информационной системы базы данных с высокой степенью структурированности информации по усталости металлов и сплавов, другими словами, базы знаний, которая может быть использована как составная часть экспертной системы поддержки решения конструктора или технолога для выполнения ими оперативной оценки последствий принятия того или иного решения по изменению конструкции или способа изготовления детали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трошенко В. Т., Сосновский Л. А. Сопротивление усталости металлов и сплавов.— Киев: Наук. Думка, 1987.— 1303 с.
2. Гребеник В. М. Усталостная прочность и долговечность металлургического оборудования.— М: Машиностроение, 1969.— 256 с.
3. Андреев В. В., Кравченко В. Н., Самарин С. Г. Количественная оценка связи па-

раметров сопротивления многоциклового усталости металлов // Известия ВУЗов. Черная металлургия.— 2004.— № 4.— С. 67–68.

4. Шетулов Д. И., Андреев В. В. Прогнозирование долговечности деталей машин по нестандартным физико-механическим параметрам конструкционных материалов // Изв. РАН. Металлы.— 1998.— № 3.— С. 55–59.

5. Иванова В. С., Терентьев В. Ф. Природа усталости металлов.— М.: Металлургия, 1975.— 455 с.

6. Олейник Н. В., Складар С. П. Ускоренные испытания на усталость.— Киев: Наук. Думка, 1985.— 304 с.

7. Андреев В. В. Предел выносливости металлов на обобщенной зависимости приведенных параметров сопротивления усталости металлов.— Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2003.— 304 с.

8. Шетулов Д. И. Связь сопротивления циклической нагрузке с повреждаемостью поверхности металлов // Изв. АН СССР. Металлы. 1991.— № 5.— С. 160.

Материал поступил в редакцию 11.01.05.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ВИНИТИ предлагает Вашему вниманию Реферативный Журнал в электронной форме

РЖ в электронной форме (ЭлРЖ) выпускается по всем разделам естественных и технических наук.

Каждый номер ЭлРЖ является полным аналогом печатного номера РЖ по составу документов, их оформлению и расположению. Он сопровождается оглавлением, указателями, редакционной статьей.

ЭлРЖ представляет собой информационную систему, снабженную поисковым аппаратом и позволяющую пользователю на персональном компьютере:

- читать номер РЖ, последовательно листая рефераты;
- просматривать рефераты отдельных разделов по оглавлению;
- обращаться к рефератам по указателям авторов, источников, ключевых слов;
- читать редакционную статью;
- проводить поиск документов по словам и словосочетаниям;
- выводить текст описаний документов во внешний файл.

ЭлРЖ в версии DOS или Windows Вы можете получить за текущий год с любого номера, а также за предыдущие годы.

***Подробную информацию Вы можете получить
в отделе маркетинга ВИНТИ***

**Адрес: Россия, 125190, Москва, ул. Усиевича, 20, ВИНТИ,
Отдел маркетинга**

Телефон (095) 155-46-20

Факс (095) 152-54-92

E-mail: market@viniti.ru