

В.И.БЕЛЫХ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИПМаш НАН Украины;
О.Ф.ПОЛИЩУК, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИПМаш НАН Украины;
К.Б. МЯГКОХЛЕБ, канд. техн. наук, науч. сотр., ИПМаш НАН Украи-

НЫ

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА КОНСТРУКТИВНЫХ ДОПОЛНЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОБРАЗЦОВ-СВИДЕТЕЛЕЙ

Розглянуті особливості застосування методу конструктивних доповнень при використанні зразків-свідків, а також шляхи розширення його можливостей на основі нового методу оцінки довговічності агрегатів і конструкцій, в основу якого покладена ідея внесення конструктивних доповнень в досліджуваний об'єкт для накопичення експлуатаційних пошкоджень з подальшим проведенням стендових випробувань. Результати досліджень можуть бути використані для вироблення конструкторських і технологічних рекомендацій з підвищення втомного ресурсу виробів, які експлуатуються в умовах динамічного вантаження.

The features of the method of constructive additions to the use of witness samples, as well as ways to broaden its capabilities through a new method of assessing durability of components and structures, based on the idea of making structural additions to the object of study for the accumulation of operational damage, followed by bench tests. The research results can be used to develop design and technological recommendations to improve the fatigue life of products, operating in conditions of dynamic loading.

Введение

Применение образцов-свидетелей связано с задачами контроля и диагностирования состояния оборудования и трубопроводов объектов ядерного топливного цикла, контроля качества покрытий на изделиях (объектах), контроля термической обработки деталей и др. [1-5].

По способу применения образцов-свидетелей можно выделить два основных метода, а именно метод непосредственной замены образцами-свидетелями объектов контроля (при контроле качества покрытий на изделиях (объектах), контроле термической обработки деталей) и метод конструктивных дополнений, когда образцы-свидетели прикрепляются к исследуемому объекту и длительное время вместе с ним находятся под действием агрессивной среды (например, оборудование объектов ядерного топливного цикла).

Применение метода конструктивных дополнений можно показать на примере контроля корпусов ядерных реакторов [5].

Корпуса ядерных реакторов подвержены радиационному охрупчиванию. Это создает потенциальную угрозу разрушения всей конструкции. Для контроля за состоянием материалов корпуса атомщики используют так называемые образцы-свидетели, которые устанавливаются в специально выбранных местах внутри корпуса. Через определенные интервалы в течение всего

времени эксплуатации реактора, часть комплектов образцов извлекается для проведения необходимых анализов.

Постановка проблемы

Стремление многих стран-пользователей атомными электростанциями продлить сроки эксплуатации приводит к нехватке образцов-свидетелей.

Так по сообщению AtomInfo.Ru японские атомные энергоблоки, отработавшие 30 и более лет, рискуют столкнуться с нехваткой образцов-свидетелей, использующихся для контроля за состоянием корпуса реактора.

Таким образом, возникла задача создания методов контроля и оценки ресурса объектов длительного пользования на основе кратковременного (по отношению к общей длительности эксплуатации) применения образцов-свидетелей и по результатам их испытаний делать оценку состояния исследуемого оборудования.

Предложенный в работе [6] метод оценки долговечности агрегатов и конструкций на основе комплексного использования внесения конструктивных дополнений и виброустойчивых испытаний позволяет расширить возможности применения метода конструктивных дополнений при использовании образцов-свидетелей.

Суть метода [6] заключается в том, что в зонах возможных поломок агрегата или конструкции укрепляется образцы-свидетели заблаговременно перед запланированными сроками контроля, осуществляют заданный цикл нагружения в условиях эксплуатации, а затем по данным экспериментальных исследований формируют систему из n уравнений с n неизвестными и по результатам их решения делают выводы по оценке надежности контролируемого оборудования.

Система из 5 формирующих уравнений будет иметь вид

$$\begin{cases} n_{11} \frac{\sigma_1^m}{A} + n_{21} \frac{\sigma_2^m}{A} + n_{31} \frac{\sigma_3^m}{A} + n_{41} \frac{\sigma_4^m}{A} + n_{51} \frac{\sigma_5^m}{A} + n_{.1} \frac{\sigma_{.1}^m}{A} = 1 \\ n_{11} \frac{\sigma_2^m}{A} + n_{21} \frac{\sigma_3^m}{A} + n_{31} \frac{\sigma_4^m}{A} + n_{41} \frac{\sigma_5^m}{A} + n_{.1} \frac{\sigma_{.1}^m}{A} = 1 \\ n_{11} \frac{\sigma_3^m}{A} + n_{21} \frac{\sigma_4^m}{A} + n_{31} \frac{\sigma_5^m}{A} + n_{.3} \frac{\sigma_{.1}^m}{A} = 1 \\ n_{11} \frac{\sigma_4^m}{A} + n_{21} \frac{\sigma_5^m}{A} + n_{.4} \frac{\sigma_{.1}^m}{A} = 1 \\ n_{11} \frac{\sigma_5^m}{A} + n_{.5} \frac{\sigma_{.1}^m}{A} = 1 \end{cases} \quad (1)$$

где n_i – число циклов данного уровня напряжений; σ – действующие напряжения; m , A – параметры уравнения.

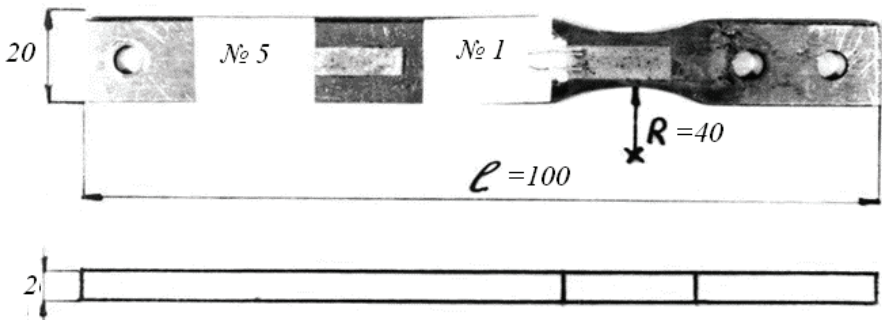
Из системы уравнений (1) можно определить значения n_{ji} согласно выражений

$$\begin{aligned}
 n_{11} &= \frac{A - n_{15} \sigma_{11}^m}{\sigma_5^m} = B_1; \\
 n_{21} &= \frac{A - n_{14} \sigma_{11}^m - B_1 \sigma_4^m}{\sigma_5^m} = B_2; \\
 n_{31} &= \frac{A - n_{13} \sigma_{11}^m - B_1 \sigma_3^m - B_2 \sigma_4^m}{\sigma_5^m} = B_3; \\
 n_{41} &= \frac{A - n_{12} \sigma_{11}^m - B_1 \sigma_2^m - B_2 \sigma_3^m - B_3 \sigma_4^m}{\sigma_5^m} = B_4; \\
 n_{51} &= \frac{A - n_{11} \sigma_{11}^m - B_1 \sigma_1^m - B_2 \sigma_2^m - B_3 \sigma_3^m - B_4 \sigma_4^m}{\sigma_5^m} = B_5,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 – числовые значения параметров $n_{11}, n_{21}, n_{31}, n_{41}, n_{51}$.

Значение σ_1 выбирается в виде максимального значения из σ_i , полученных расчетным путем с помощью программного комплекса (ПК) ANSYS для зоны крепления образцов-свидетелей в данной конструкции или путем перебора на основании кривой усталости материала и определения значений параметров (2).

Дело в том, что значения n_i являются действительными числами от 1 до B_i . В случае, если при выбранных значениях ряда $\sigma_1, \dots, \sigma_5$ на основании статического или вибрационного нагружения образца с наклеенными со смещением по длине образца (в точках предполагаемого крепления при усталостных испытаниях) тензодатчиками (см. рисунок), значения n_i , соответствующие максимальным σ_i будут существенно меньше 1, то необходимо произвести пересчет системы (1) для следующего значения σ_i .



Образец с наклеенными тензодатчиками

Например, σ_2 становится σ'_1 и осуществляется повторный расчет значений B_1, \dots, B_5 .

Правомочность ограничения числа уравнений в системе (1) связана с

принципом построения кривой усталости материала, где минимальное значение σ_i определяется величиной предела выносливости σ_{-1} .

Для учета влияния повышенных температур и других дополнительных факторов при проведении стендовых усталостных испытаний образцов-свидетелей можно использовать специальные испытательные стенды [7]. В таких стендах испытание образцов производят в специальных камерах, в которых можно задавать требуемые программой испытания параметры.

Выводы

Рассмотренный в работе метод оценки долговечности агрегатов и конструкций позволяет устанавливать образцы-свидетели заблаговременно перед запланированными сроками контроля, что может помочь решить задачу компенсации нехватки изначально заложенных образцов.

Кроме этого, данный метод можно использовать при решении задачи качественной и количественной оценки изменения динамической прочности усовершенствованных конструкций или подвергнутых ремонту.

Список литературы: 1. ГОСТ 9.406-84. Покрытия органосиликатные. Технические требования и методы испытаний. 2. ГОСТ 8832-76. Материалы лакокрасочные. Методы получения лакокрасочного покрытия для испытаний. 3. ГОСТ 27953-88 Покрытия детонационные. Общие требования. 4. РД 39-0147014-348-89. Инструкция по защите от коррозии внутрипромышленного оборудования при помощи ингибиторов отечественного производства. – М.: ВНИИТнефть, 2002. – 5 с. 5. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок ПНАЭ Г-7-008-89. – М.: НТЦ ЯРБ, 2003. – 158 с. 6. *Белых В.И.* Метод оценки долговечности агрегатов и конструкций на основе комплексного использования внесения конструктивных дополнений и виброусталостных испытаний / *В.И. Белых, О.Ф. Полищук, К.Б. Мягокохлеб* // Вестник НТУ «ХПИ». – 2010. – №37. – С. 51-54. 7. А.с. №1313121(СССР). МПК³ G 01 M 7/00. Установка для вибрационных испытаний изделий / *Божко А.Е., Шпачук В.П., Белых В.И.* и др. (Украина). – № 3977849; заявл. 19.11.1985; опубл. 23.04.1988. – Бюл. № 15.

Поступила в редколлегию 25.11.2010.