

УДК 621.642:539.42

## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ УСТАЛОСТИ ПО ДАННЫМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

© 2011 г.

*В.М. Волков, А.А. Миронов*

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

miran56@mail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Надежность как функция числа циклов нагружения определяется вероятностью принадлежности начальных параметров дефектов области допустимых значений. Начальные параметры дефектов рассматриваются как независимые случайные величины, законы распределения вероятностей которых определяются по данным неразрушающего контроля. Граница области допустимых значений характеризуется совокупностью параметров дефектов, отвечающих условию их выхода на границу предельно допустимых значений за заданное число циклов нагружения.

*Ключевые слова:* надежность, сварной шов, дефект, усталость, трещина.

Рассмотрен случай, когда стохастический характер ресурса работы конструкций связан с наличием в сварных соединениях дефектов несплошности металла. Начальные параметры различных видов объемных и плоскостных дефектов, такие как диаметр или протяженность и высота, глубина залегания, расстояния между дефектами в цепочке, характеризуются случайным вектором  $\mathbf{v} = \{v_1, \dots, v_n\}$ . Плотности распределения вероятностей параметров  $f_i(v_i)$  определяются на основе их корреляционной связи с параметрами, регистрируемыми с помощью метода контроля. Для учета дефектов, пропущенных при контроле, используется понятие вероятности обнаружения дефекта (ВОД), позволяющее перейти от плотностей распределения параметров обнаруженных дефектов к плотностям распределения всех дефектов [1]. Надежность проконтролированных участков сварных соединений с учетом исправления недопустимых дефектов будет зависеть только от дефектов, пропущенных при контроле. Надежность неконтролируемых участков будет определяться совокупностью всех дефектов.

Надежность участка сварного соединения, содержащего один дефект, после  $n$  циклов нагружения будет определяться выражением:

$$R_1(n) = \int \dots \int_{[D(n)]} f_1(v_1) f_2(v_2) \dots f_n(v_n) dv_1 dv_2 \dots dv_n,$$

где  $[D(n)]$  – допустимая область для начальных значений параметров дефектов.

Граница допустимой области  $[D(n)]$  определяется совокупностью начальных параметров дефектов, которые за  $n$  циклов нагружения в результате процессов усталости примут значения, удов-

летворяющие критериям предельного состояния механики разрушения [2]. Совокупность параметров дефектов, удовлетворяющих критериям предельного состояния, образуют предельно допустимую границу.

Процесс усталостного разрушения участка сварного соединения с несплошностью металла в общем случае включает в себя стадии образования усталостной трещины и последующего ее развития до предельного состояния. Для плоскостных дефектов, как правило, начальной стадией зарождения трещины пренебрегают. В пространстве параметров дефектов процесс усталостного разрушения будет характеризоваться траекторией развития дефекта. На рис. 1 представлена схема усталостного разрушения в случае двухмерного пространства параметров, характерного для несквозных дефектов, характеризуемых относительными глубиной  $v_1 = h/s$  и протяженностью  $v_2 = c/h$ , где  $h, c$  – глубина и полудлина дефекта,  $s$  – толщина конструктивного элемента.

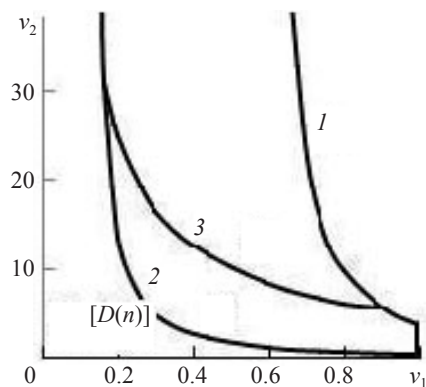


Рис. 1

Кривая 1 определяет границу предельно допустимых параметров дефекта, кривая 2 – границу допустимых начальных параметров. Одна из траекторий развития дефекта представлена кривой 3.

В конструкции дефекты сварных соединений представляют собой последовательную систему, и для  $k$  дефектов одного  $j$ -го вида, находящихся в одинаковых условиях нагружения, надежность будет определяться выражением:

$$R_j(k, n) = \prod_{i=0}^k R_{ij}(n).$$

Распределение случайной величины числа дефектов одного вида на участке сварного шва протяженностью  $x$  может быть принято по закону Пуассона [3]:

$$P_{kj}(x) = (\lambda_j x)^k \exp(-\lambda_j x) / k!,$$

где  $j$  – интенсивность дефектов рассматриваемого вида (число дефектов, приходящееся на единицу длины сварного шва).

Согласно формуле полной вероятности, надежность участка сварного шва для одного  $j$ -го вида дефектов определится выражением:

$$R_j(x, n) = \sum_{k=0}^{\infty} P_{kj}(x) \prod_{i=0}^k R_{ij}(n).$$

Для конструкции, содержащей совокупность сварных соединений, отличающихся условиями нагружения, засоренностью дефектами различных видов, надежность примет вид:

$$R(n) = \prod_j R_j(x, n).$$

Реализация построенной модели надежности предполагает использование физических моделей усталости сварных конструкций, включающих стадии образования и развития усталостных трещин [4].

На рис. 2 представлены результаты расчетов надежности участков сварных соединений в зависимости от числа циклов нагружения для различной протяженности участков, содержащих в корне шва дефекты в виде непроваров. Кривые 1–3 соответствуют протяженности сварных швов соответственно 5, 15 и 25 м.

На рис. 3 представлены результаты расчета влияния на надежность сварного шва протяженностью 25 м объема ультразвукового контроля. Кривые на рисунке соответствуют различным

объемам контроля: 1 – 100%, 2 – 75%, 3 – 50%, 4 – без контроля.

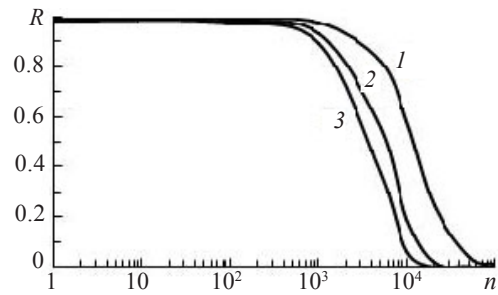


Рис. 2

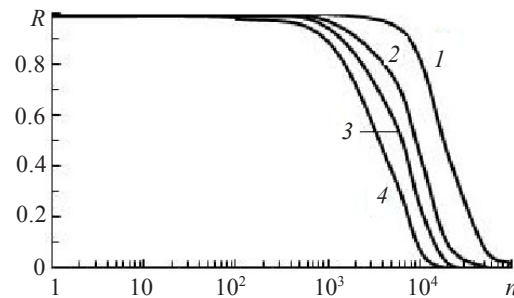


Рис. 3

Построенная модель надежности позволяет оптимизировать процедуру неразрушающего контроля сварных конструкций за счет обоснованного выбора необходимого объема контроля в зависимости от ресурса работы конструкции или сроков периодического ее диагностирования. Данная задача является актуальной для конструкций, имеющих большую протяженность сварных швов, таких как трубопроводы, резервуары.

Список литературы

1. Миронов А.А., Волков В.М. Оценка надежности сварных соединений тонкостенных конструкций по результатам их неразрушающего контроля // Проблемы прочности и пластичности: Межвуз. сб. / Нижегород. ун-т. 2009. Вып. 71. С. 45–51.
2. Миронов А.А., Волков В.М. Модель разрушения оболочек с поверхностными трещинами // Проблемы прочности и пластичности: Межвуз. сб. / Нижегород. ун-т. 2006. Вып. 68. С. 45–52.
3. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984. 312 с.
4. Волков В.М., Миронов А.А. Объединенная модель образования и роста усталостных трещин в концентраторах напряжений // Проблемы прочности и пластичности: Межвуз. сб. / Нижегород. ун-т. 2005. Вып. 67. С. 20–25.

**CONSTRUCTING A MODEL OF RELIABILITY OF WELDED STRUCTURES WITH FATIGUE,  
BASED ON THE DATA OF NONDESTRUCTIVE TESTING***V.M. Volkov, A.A. Mironov*

The reliability, as a function of the number of cycles, is determined by the probability of belonging of primary defect parameters to the region of acceptable values. The initial parameters of defects are considered as independent random variables. Their laws of probability distribution are determined using the data of nondestructive testing. The boundary of the region is characterized by a set of valid values of the parameters of the defects, corresponding to the condition of their release to the boundary limit values for a given number of cycles.

*Keywords:* reliability, weld joint, defect, fatigue, crack.