

УДК 539.43.001.5

В.М. Дуплякин

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЯВЛЕНИЯ ПЕРВОЙ МАКРОТРЕЩИНЫ
В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ УСТАЛОСТНЫХ
ИСПЫТАНИЙ ПЛОСКИХ ОБРАЗЦОВ ДВУХ ТИПОРАЗМЕРОВ

Известно [6], что в теории "слабого звена" вероятность разрушения при напряжениях, не превышающих σ , определяется как

$$P(\sigma) = 1 - \exp\left[-\int_F \left(\frac{\sigma - u}{\sigma_0}\right)^m dF\right], \quad (1)$$

Здесь F - часть сечения, где $\sigma > u$; u - нижняя граница рассеивания; σ_0 , m - параметры.

Чтобы определить u , m , σ_0 , необходимо, как показано в работе [1], решить систему уравнений, записанную для конкретными типоразмеров образцов:

$$\begin{aligned} P(\sigma_1) &= 1 - \exp\left[-\int_{F_1} \left(\frac{\sigma_1 - u}{\sigma_0}\right)^m dF_1\right], \\ P(\sigma_2) &= 1 - \exp\left[-\int_{F_2} \left(\frac{\sigma_2 - u}{\sigma_0}\right)^m dF_2\right], \\ u &= \left[81,17 \int_0^1 (2z-1)^m \sqrt{1-z^2} dz\right]^{-1/m} \sigma_0. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $P(\sigma_1)$, $P(\sigma_2)$ - произвольные, но разные значения вероятностей разрушения, $i = 1, 2, 3, \dots$ - индекс, пробегающий номера исследуемых типоразмеров образцов.

В работе [1] показано применение такого подхода при наличии результатов испытаний только одного типоразмера образцов. В данной статье рассматривается случай с двумя типоразмерами ($i = 1, 2$). Переход к двум или большему числу типоразмеров приводит к необходимости решать совокупность систем вида (2) отно-

сительно U , m , σ_0 методом наименьших квадратов. При этом возникают трудности в создании достаточно эффективных алгоритмов, поэтому ниже на конкретном примере будет показан другой, более рациональный путь решения.

Рассмотрим в качестве примера прогнозирование появления первой макротрещины в сварной цилиндрической оболочке, изображенной на рис. 1 и

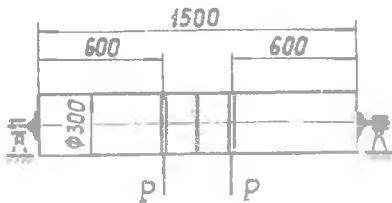


Рис. 1

изготовленной из материала АМГ-6м. В качестве исходных данных воспользуемся результатами усталостных испытаний плоских образцов с отверстием при изгибе и этих же образцов при растяжении-сжатии. Кривые усталости

по моменту появления первой макротрещины в этих образцах, представленные на рис. 2, заимствованы в работах [2], [3].

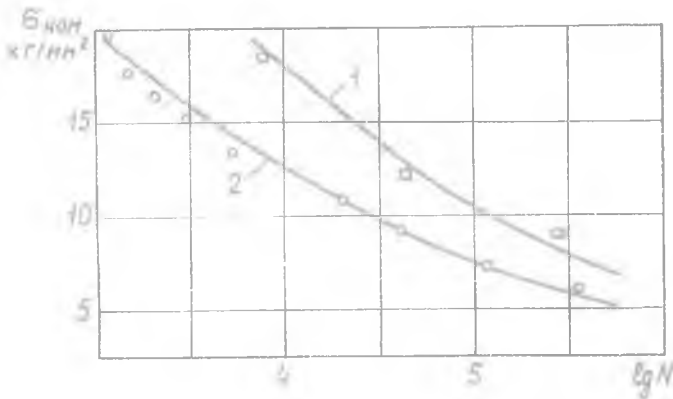


Рис. 2

При изгибе плоских образцов с отверстием система (2) приобретает вид [1]:

$$m = \left[\left(\ln \frac{J_1 \sigma_{\max 1}^2}{J_2 \sigma_{\max 2}^2} \right) / \left(\ln \frac{\sigma_{\max 1} - U}{\sigma_{\max 2} - U} \right) \right] - 2,$$

$$\sigma_0 = \left[\frac{2h (\sigma_{\max 1} - U)^{m+2}}{G J_1 \sigma_{\max 1}^2 (m+1)(m+2)} \right]^{1/m},$$

$$U = [81,17 \int_{0,5}^1 (2z-1)^m \sqrt{1-z^2} dz]^{-1/m} \sigma_0. \quad (3)$$

Здесь $J_i = - \ln [1 - P(\sigma_{\max i})]$; $h = 4$ мм - толщина образца, $G = 0,46$ - относительный градиент напряжений при изгибе плоского образца с отверстием $\phi 3$ мм и шириной 14 мм.

При растяжении-сжатии плоских образцов с отверстием систему (2) можно представить в виде

$$m = \left[\left(\ln \frac{J_1 \sigma_{\max 1}}{J_2 \sigma_{\max 2}} \right) / \ln \left(\frac{\sigma_{\max 1} - U}{\sigma_{\max 2} - U} \right) \right] - 1,$$

$$\sigma_0 = \left[\frac{2h}{G} \frac{1}{m+1} \frac{(\sigma_{\max 1} - U)^{m+1}}{J_1 \sigma_{\max 1}} \right]^{1/m},$$

$$U = [81,17 \int_{0,5}^1 (2z-1)^m \sqrt{1-z^2} dz]^{-1/m} \sigma_0. \quad (4)$$

Здесь $\bar{G} = 1,53$.

Системы (3) и (4) можно решить совместно методом наименьших квадратов. Однако проще определить искомые параметры m , σ_0 , U на основании решения систем (3), (4) раздельно, обычными методами для тех точек на рис. 2, где есть соответствующие экспериментальные данные. В результате имеем значения m , σ_0 , U для определенных долговечностей, полученные по результатам испытаний соответствующих типоразмеров образцов.

Далее можно аппроксимировать изменение значений параметров по долговечности методом наименьших квадратов, причем следует учитывать результаты для обоих типоразмеров. Однако нас интересуют не сами параметры, а последующий расчет с их использованием, поэтому более правильно идти другим путем. Для этого полученные значения m , σ_0 , U надо подставить в расчетное уравнение, описывающее усталостную прочность интересующей нас

детали. В данном случае, для изгиба тонкостенной оболочки, можно на основании (I) записать уравнение

$$-\ln(1-P) = 2hd \int_{\arcsin(u/\sigma_{\max})}^{\pi/2} \left(\frac{\sigma_{\max} \sin \alpha - u}{\sigma_0} \right)^m d\alpha \quad (5)$$

Здесь $h = 1$ мм - толщина оболочки, $d = 300$ мм - диаметр

Напряжения σ_{\max} , полученные для заданной вероятности при решении уравнения (5), представляют расчетные значения усталостной прочности, которые содержат информацию только о результатах испытаний данного типоразмера образцов. Окончательная кривая усталости проводится между точками, полученными для обоих типоразмеров, по методу наименьших квадратов, как показано на рис. 3, там же представлены соответствующие экспериментальные данные, заимствованные в работе [4]. Как видно, получено хорошее совпадение расчета и эксперимента.

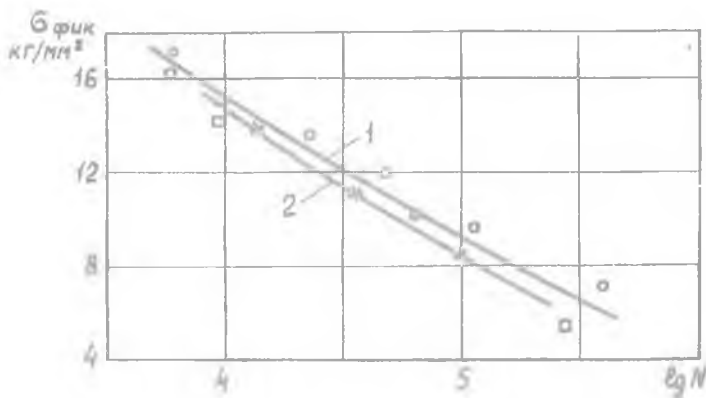


Рис. 3

Надо отметить, что в приведенных выше уравнениях фигурируют фиктивные напряжения, равные произведению номинальных напряжений и соответствующих теоретических коэффициентов концентрации напряжений, при этом для оболочки в зоне сварного шва принято $\alpha_T = 1,345$, для плоского образца с отверстием при изгибе $\alpha_T = 1,85$ и при растяжении-сжатии $\alpha_T = 2,72$.

В заключение следует отметить, что общепринятая практика применения статистической теории "слабого звена" в вопросах прогнозирования усталостной прочности [5] заключается в использовании частных интегралов уравнения (I) в виде

$$\lg(\sigma_{\max} - \sigma) = A_L + B \lg(L/\bar{\sigma}).$$

Такой путь значительно проще в вычислительном отношении, но при этом не полностью используются результаты соответствующего эксперимента. Предлагаемая методика позволяет повысить представительность экспериментальных данных без увеличения их объема.

Л и т е р а т у р а

1. Дуплякин В.М., Мостовой А.С. К вероятностному расчету кривых усталости деталей по результатам испытаний лабораторных образцов. В сб. "Вопросы прочности элементов авиационных конструкций". Межвузовский сб., вып. I, Куйбышев, 1974.
2. Мостовой А.С., Миноранский Э.И. Расчет кривой усталости по трещине для образца при программной и случайной нагрузках. В сб. "Вопросы прочности элементов авиационных конструкций". Труды КуАИ, вып. 39, Куйбышев, 1968.
3. Мостовой А.С., Миноранский Э.И., Чураков А.А., Фролова Л.К. Теоретическое определение долговечности образца при растяжении-сжатии. В сб. "Вопросы прочности элементов авиационных конструкций". Труды КуАИ, вып. 48, Куйбышев, 1971.
4. Мостовой А.С., Миноранский Э.И., Чураков А.А. Исследование усталостной прочности сварных цилиндрических оболочек при динамическом нагружении. В сб. "Вопросы прочности элементов авиационных конструкций". Труды КуАИ, вып. 39, Куйбышев, 1968.
5. Серенсен С.В., Кобаев В.П. Руководство по определению расчетных характеристик сопротивления усталости деталей машин. ВНИИИМАШ, Москва, 1971.
6. Weibull W.A. *Statistical theory of the strength of material* Proc. Royal Swedish Acad. Research Stockholm, N 151, 1939.