

### Список литературы

- 1 Raganat, S. Engineering methods for assessment of ductile fracture margin in nuclear power plant piping / S. Raganat // Elastic Plastic Fracture Second Symposium. – Vol. 2. Fracture Resistance Curves and Engineering Applications // ASTM STP 803, American Society for Testing and Materials. – Philadelphia, Pa., 1983.
- 2 Практические примеры расчета на сопротивление хрупкому разрушению трубопроводов под давлением. Разрушение. Т. 5. / А. Р. Даффи [и др.]. – М. : Машиностроение, 1977. – 452 с.
- 3 Мураками, Ю. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений / Ю. Мураками. – М. : Мир, 1990. – 448 с.

УДК 160.178.3

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГИБЕ

*М. В. ГОРОХОВА, С. В. СОЗИНОВ*

*Волжский государственный университет водного транспорта, Российская Федерация*

Корпус любого водоизмещающего судна во время его эксплуатации подвержен воздействию усилий, величина и направление действия которых непрерывно изменяются. Связи судового корпуса испытывают одновременно несколько видов деформаций. Кроме этого, прочность связей судового корпуса изменяется во времени из-за износа и появления пластических деформаций. В результате в районе концентраторов напряжений, которыми являются сварные швы, вырезы, прерывистые связи и жесткие точки зарождаются усталостные трещины. При этом по судостроительным сталям, работающим в составе корпусных конструкций в условиях сложного напряженного состояния, практически нет исследований по оценке влияния степени и вида деформации на параметры усталостного разрушения. Поэтому целью исследований было прогнозирование долговечности, снижение металлоемкости судокорпусных изделий на основании изменения механических характеристик и закономерностей усталостного разрушения предварительно деформированных материалов.

Образцы для проведения исследований изготавливались из гнутых замкнутых сварных профилей стали 15 размером 80×80×3 мм (ГОСТ 30245–2003) При этом предварительной пластической деформации в диапазоне от 0 до 18 % подвергались пластины с размером поперечного сечения 3×20 мм, из которых затем изготавливались образцы как для статических испытаний растяжением (сечением 3×3 мм), так и для усталостных испытаний. Для получения практически идентичных образцов и уменьшения разброса экспериментальных данных образцы изготавливались из профилей одной партии. Статические испытания и предварительное деформирование растяжением проводились при комнатной температуре на разрывной машине ИР5057-50, оснащенной компьютерной приставкой, со скоростью деформации  $10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . По результатам статических испытаний помимо стандартных механических характеристик ( $\sigma_b$  – предел прочности;  $\sigma_{02}$  – предел текучести;  $\delta$  – полное относительное удлинение) определялся показатель деформационного упрочнения  $n$  из уравнения кривой упрочнения при статическом растяжении [1]:

$$\sigma_i = \sigma_0 \varepsilon_i^n,$$

где  $\sigma_i$  – истинное текущее напряжение течения;  $\sigma_0$  – постоянная, равная напряжению течения при  $\varepsilon = 1$ ;  $\varepsilon_i^n$  – истинная текущая деформация.

Величины механических характеристик оценивались по результатам испытаний 4–5 образцов. Линейные размеры образцов замерялись на компараторе ИЗА2-С с точностью до 0,001 мм. Относительная погрешность исследуемых величин не превышала 1,6 %. По результатам исследований установлены закономерности изменения механических характеристик от степени предварительной деформации растяжения.

Испытания на усталость проводились на знакопеременный симметричный циклический изгиб по схеме «мягкого» нагружения, когда при динамическом возбуждении заданной величиной является напряжение практически постоянное на всем протяжении испытания, а перемещение образца кинематически неограничено и может изменяться в зависимости от изменения жесткости нагружаемой системы в период нарастания усталостных повреждений и постепенного развития усталостной трещины.

Для определения циклического напряжения и регистрации процесса усталости был использован динамометрический метод. Для оценки накопления циклических повреждений строились кинематические диаграммы усталостного разрушения, представляющие собой изменение относительной величины прогиба образца ( $f_i$ ) в функции числа циклов напряжений ( $N$ ). При заданном уровне циклического напряжения относительная стрелка прогиба образца определялась как:

$$\varepsilon_{с.п} = \frac{f_i}{f_0},$$

где  $f_0, f_i$  – соответственно величины начальной и текущей стрелки прогиба образца в функции  $N$  числа циклов нагружений.

Кинетические диаграммы усталостного разрушения представлялись в координатах  $\lg \varepsilon_{с.п} - \lg N$ , по которым проводилась количественная оценка длительности стадий усталостного разрушения – стадии  $N_1$  (до момента раскрытия и распространения усталостной трещины), и стадии  $N_{пр}$  распространения усталостной трещины (с момента раскрытия трещины до полного ее распространения по сечению образца).

В результате испытаний серии образцов с различной величиной степени предварительной деформации растяжением ( $\varepsilon_{пл} = 0; 2,5; 5; 10; 15; 18\%$ ) при одинаковой величине амплитуды напряжений ( $\sigma_a = 300$  МПа) были получены зависимости изменения стрелки прогиба образца в функции числа циклов нагружения. Установлены также закономерности, по которым изменяются механические характеристики стали и показатель деформационного упрочнения в зависимости от степени предварительного пластического деформирования растяжением.

Выполненные испытания позволили установить степень влияния длительности периодов усталостного разрушения (от момента появления и распространения усталостной трещины по всему образцу) в зависимости от величины предварительной пластической деформации, которой подвергался на начальном этапе испытаний образец. При этом установлено, что долговечность предварительно деформированных образцов ( $\varepsilon_{пл} > 5$ ) в основном определяется длительностью стадии распространения усталостной трещины. Выявлено, что продолжительность стадии распространения усталостной трещины растет с увеличением степени предварительной деформации и при  $\varepsilon_{пл} = 18\%$  составляет порядка 60 % от полной долговечности образца.

#### Список литературы

- 1 Пачурин, Г. В. Технология комплексного исследования разрушения деформированных металлов и сплавов в различных условиях нагружения / Г. В. Пачурин, А. Н. Гущин. – Н. Новгород : НГТУ, 2005. – 138 с.
- 2 Терентьев, В. Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов / В. Ф. Терентьев. – М. : Наука, 2002. – 287 с.

УДК 51+004

## МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ, ОСНОВАННЫЙ НА СИНГУЛЯРНОМ РАЗЛОЖЕНИИ МАТРИЦЫ

М. А. ГУНДИНА, Д. А. КАМЕНКО

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Основная идея метода обнаружения аномальных значений, основанного на разложении матриц, состоит в том, чтобы использовать сингулярное разложение исходной матрицы данных.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -2 & 3 & 2 & 1 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 2 & 4 & 1 & 4 \\ 5 & 1 & 1 & 7 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 3 & 5 & 6 & 1 & 2 \\ 0 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 4 & 12 & 2 & 1 & 4 & 1 & 3 \end{pmatrix}$$

Предположим, что исходный набор данных выглядит следующим образом (рисунок 1).

Наилучшая матрица (Фробениусова норма разности которой с исходной минимальна) получается из сингулярного разложения матрицы  $M$  по формуле

$$M = ULV^T.$$

Рисунок 1 – Исходная выборка  $L$  – матрица размера  $m \times n$  с неотрицательными элементами, у которой элементы, лежащие на главной диагонали, – это сингулярные числа (а все элементы, не лежащие на главной диагонали, являются нулевыми), а матрицы  $U$  и  $V$  – это две унитарные матрицы, состоящие из левых и правых сингулярных векторов соответственно.