

НЕЛИНЕЙНАЯ ФОТОУПРУГОСТЬ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

Р.С.Вовченко, А.А.Тышкуль, студенты группы ЗПГС-604М

*Научные руководители – д.т.н., профессор В.С.Дорофеев,
ассистент А.В.Зинченко*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

На основе анализа литературных источников разработана методика исследования напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов с учетом наличия технологических трещин и пор в материале.

При проектировании инженерных сооружений наиболее актуальной проблемой является необходимость учета нелинейностей различного вида, вызванных частичным разрушением у концентраторов напряжений в виде трещин, пор и раковин [1, 2]. Подобные задачи требуют разработки более сложных подходов к их решению с использованием методов фотоупругости, математического аппарата механики разрушения, сложных программных комплексов. Под разрушением будем понимать макроскопическое нарушение сплошности тела в результате воздействия на него внешних факторов. Разрушение развивается одновременно с упругой или пластической деформацией материала конструкции или в условиях ползучести. Различают скрытое (зарождение и развитие микродефектов, рассеянных в объеме материала) и полное (разделение на части) разрушение. Кроме того, разделяют хрупкое (без заметных пластических деформаций), пластическое (вязкое), усталостное и длительное разрушение [3, 4].

Исследование скрытого разрушения осуществляется с помощью методов механики поврежденности. Поврежденность трактуется как сокращение упругого отклика тела вследствие сокращения эффективной площади составляющих его элементов, передающей внутренние усилия от одной части тела к другой ее части, обусловленного в свою очередь, появлением и развитием рассеянного поля микродефектов (микротрещины – в упругости, дислокации – в пластичности, микропоры – при ползучести, поверхностные трещины – при усталости).

Благодаря экспериментальным исследованиям, можно утверждать, что уменьшение прочности тел и несущей способности конструкции может быть объяснено скрытым разрушением и микродефектной структурой материала. В этом случае механика поврежденности и теории прочности направлены, в конечном счете, на исследование одной и той же проблемы.

Весьма эффективными следует признать экспериментальные поляризационно-оптические методы определения напряжений [5, 6, 7, 8]. Выход за рамки классической линейной фотоупругости требует разработки нового направления поляризационно-оптических методов – нелинейной фотоупругости и цифровой обработки измерений, полученных в ходе эксперимента.

Нами был использован поляризационно-оптический метод, поскольку он позволяет получить наглядную картину распределения напряжений, деформаций и перемещений у вершины трещины [6]. Коэффициенты в полных асимптотических разложениях механических величин должны, в общем случае, отражать зависимость ближнего поля напряжений от приложенной нагрузки и геометрии образца. Они определяются экспериментально с помощью метода фотоупругости, что позволит показать наглядную картину распределения напряжений, деформаций и перемещений у вершины трещины.

В связи с тем, что для исследований необходим материал с высокой оптической чувствительностью, для проведения эксперимента выбраны образцы из эпоксидной смолы размерами 16 x 2,7 x 1,5 см, в тело которых были заложены технологические трещины. Образцы нагружаются ступенями на установке ИПС-МГ 4.03. При последовательном нагружении образца изохромы появляются в наиболее нагруженных зонах. По мере нагружения, с увеличением нагрузки новые полосы появляются на поверхности образца и сдвигаются в сторону с наименьшим уровнем напряжений.

Поле напряжений в окрестности вершины трещины представляется асимптотическим разложением М.Уильямса [2]:

$$\left. \begin{aligned} \left\{ \begin{aligned} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{aligned} \right\} = \sum_{n=1}^{\infty} \operatorname{Re} \left\{ \frac{\lambda'_n A_n}{r^{1-\lambda'_n}} \left[\begin{aligned} (2 + \lambda'_n \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \lambda'_n + \cos(\lambda'_n - 1)\Theta - (\lambda'_n - 1)\cos(\lambda'_n - 3)\Theta) \\ (2 - \lambda'_n \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \lambda'_n) \cos(\lambda'_n - 1)\Theta + (\lambda'_n - 1)\cos(\lambda'_n - 3)\Theta \\ - (\lambda'_n \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \lambda'_n) \sin(\lambda'_n - 1)\Theta + (\lambda'_n - 1)\sin(\lambda'_n - 3)\Theta \end{aligned} \right] \right\} + \\ + \sum_{n=1}^{\infty} \operatorname{Re} \left\{ \frac{\lambda''_n B_n}{r^{1-\lambda''_n}} \left[\begin{aligned} -(2 + \lambda''_n \cos 2\alpha - \cos 2\alpha \lambda''_n) \sin(\lambda''_n - 1)\Theta + (\lambda''_n - 1)\sin(\lambda''_n - 3)\Theta \\ (-3 + \lambda''_n \cos 2\alpha - \cos 2\alpha \lambda''_n) \sin(\lambda''_n - 1)\Theta - (\lambda''_n - 1)\sin(\lambda''_n - 3)\Theta \\ - (\lambda''_n \cos 2\alpha - \cos 2\alpha \lambda''_n) \cos(\lambda''_n - 1)\Theta + (\lambda''_n - 1)\cos(\lambda''_n - 3)\Theta \end{aligned} \right] \right\}. \end{aligned} \right.$$

Для частного случая – трещины, коэффициенты первых (сингулярных) слагаемых связаны с коэффициентами интенсивности напряжений хорошо известными соотношениями $k_1 = \sqrt{2\pi A}$, $k_m = -\sqrt{2\pi B_1}$.

На основании результатов экспериментов, изложенных в [5], можно утверждать, что в асимптотическом решении М.Уильямса следует удерживать высшие приближения, а не только первое сингулярное слагаемое – классическое решение задачи линейной механики разрушения с корневой особенностью вблизи вершины трещины.

Как известно, в материалах уже на стадии их изготовления возникают технологические трещины, являющиеся неотъемлемой частью структуры бетона, нарушающие его целостность и изменяющие физико-механические свойства [1].

Вывод. На основе проведенного анализа разработана методика определения напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов конструкций с использованием поляризационно-оптического метода (метода фотоупругости), что позволит получить начальную картину распределения напряжений, деформаций и перемещений у вершины трещины.

Литература

1. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: Город Мастеров, 1998. – 168 с.
2. Степанова Л.В. Математические методы механики разрушения. – М.: Физматлит, 2009. – 336 с.
3. Астафьев В.А., Шестериков С.А., Степанова Л.В. Асимптотика напряженно-деформированного состояния в окрестности вершины трещины в условиях ползучести // Вестник Самарского государственного университета. – 1995. – С. 59-64.
4. Астафьев В.А., Радаев Ю.Н., Степанова Л.В. Нелинейная механика разрушения. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2001. – 20 с.
5. Герасимова Т.Е., Ломаков П.Н., Степанова Л.В. Цифровая фотомеханика: численная обработка результатов оптоэлектронных измерений и ее приложение к задачам механики разрушения // Вестник Самарского государственного университета. – 2013. - № 9/2. – С. 63-72.
6. Разумовский И.А. Интерференционно-оптические методы механики деформируемого твердого тела // И.А.Разумовский. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. – 240 с.
7. Asundi A.K. Matlab for Photomechanics. – Oxford: Elsevier. 2002. – 199 p.
8. Ayatollahi M.R., Nejati M. Experimental Evaluation of Stress Field around the Sharp Notches Using Photoelasticity // Materials and Design. – 2011. – N 32. – P. 561-569.