

УДК 512.531; 519.7

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИКИ УПРУГОГО РАЗРУШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

© Анисимов Г.С., Степанова Л.В.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

anisennady@gmail.com, stepanova.lv@ssau.ru

Представлены результаты проведенной серии экспериментов, направленных на вычисление амплитудных коэффициентов ряда М. Уильямса для поля напряжений и перемещений у вершины острой трещины. Использовался интерференционно-оптический метод голографической интерферометрии с целью получения интерференционных картин полос изодром. Для экспериментов были изготовлены экспериментальные образцы из оптически активных материалов [1–4]. В экспериментах использовались образцы с различными типами трещин, которые подвергались действию растягивающей нагрузки различной амплитуды. Была создана рабочая схема поляризационно-голографической установки для повышения точности измерений. Результаты экспериментов подтверждают возможность вычисления амплитудных коэффициентов ряда М. Уильямса при помощи метода голографической интерферометрии. Интерференционные картины (картины линий абсолютной разности хода) представлены на рисунке. С помощью процедуры тарировки были определены оптические постоянные материала закона Фавра [3].

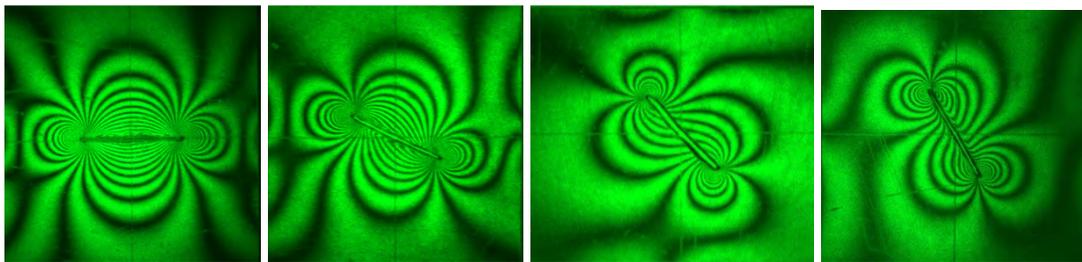


Рисунок – Интерференционные картины: изодромы вблизи горизонтальной и наклонной трещин

Далее были определены коэффициенты ряда М. Уильямса (обобщенные коэффициенты интенсивности напряжений), которые описывают поля напряжений и перемещений в области, прилегающей к кончику острой трещины, в изотропной линейно упругой среде с учетом регулярных слагаемых высокого порядка [4]. Для определения факторов разложения М. Уильямса были проведены эксперименты с использованием метода цифровой голографической интерферометрии. Этот метод позволяет воссоздавать поля напряжений в окрестности трещины и получать два семейства интерференционных картин: полос абсолютной разности хода при вертикальной и горизонтальной поляризации.

Для извлечения масштабных множителей использовался новый вариант переопределенного метода, основанный на соотношениях закона Фавра, в отличие от классического варианта переопределенного метода, базирующегося на оптомеханическом законе Вертгейма. Показано, что итерационная процедура расчета

быстро сходится и требуется около 8–10 итераций для вычисления обобщенных коэффициентов интенсивности напряжений.

Эти результаты подтверждают возможность использования голографической интерферометрии для вычисления коэффициентов ряда М. Уильямса. Полученные данные были представлены в виде графиков и таблиц, что дает возможность визуально оценить полученные результаты. В целом метод голографической интерферометрии является удобным инструментом для реконструкции полей напряжений в области трещин и может быть использован в механике разрушения для надежного и аккуратного нахождения параметров разрушения [5].

Выполнен расчет коэффициентов ряда Уильямса для каждого типа экспериментального образца. В ходе этого расчета было учтено неособое слагаемое, что позволило сохранить пятнадцать слагаемых в представлении М. Уильямса. Для линеаризации нелинейных алгебраических уравнений, следующих из оптомеханического закона Фавра, мы предложили процедуру. Оценку масштабных (амплитудных) коэффициентов ряда М. Уильямса мы произвели, решив существенно переопределенную систему линейных алгебраических уравнений. После этого сравнили экспериментально определенные значения ряда Уильямса с результатами конечно-элементного расчета напряженно-деформированного состояния, выполненного в пакете Simula Abaqus. Исследование показало, что экспериментальные оценки и результаты конечно-элементного моделирования между собой хорошо согласуются.

Продемонстрировано, что обобщенные коэффициенты интенсивности напряжений (коэффициенты разложения М. Уильямса), вычисленные экспериментальным методом и МКЭ, отличаются друг от друга не более чем на 5–7 %.

Авторы благодарят Российский научный фонд (проект № 21-11-00346).

Библиографический список

1. Kostuk R.K. Holographic Interferometry. Boca-Ranton: CRC, 2019. 352 p.
2. Дильман В.Л., Уткин П.Б. Двухпараметрический метод определения коэффициента интенсивности напряжений KI трещиноподобных дефектов методом голографической интерферометрии // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2022. Т. 14, вып. 3. С. 60–67.
3. Favre H. 'Sur une nouvelle methode optique de determination des tensions interieures' // Revue d'Optique, 1929, 8, 193, 241, 289.
4. Степанова Л.В., Белова О.Н., Туркова В.А., Определение коэффициентов разложения М. Уильямса поля напряжений у вершины трещины с помощью метода цифровой фотоупругости и метода конечных элементов // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. 2019. Т. 25, вып. 3. С. 62–82
5. Xia H., Guo R., Yan F., Chang H. Real-Time and Quantitative Measurement of Crack-Tip Stress Intensity Factors Using Digital Holographic Interferometry // Advances in Materials Science and Engineering. 2018. V. 2018. 1954573.