

Diffraction method for holes quality control

Mykhailo Sierbov¹, Irina Voronko²

¹Electrical Engineering and Mechatronics Department, National Aerospace University named after N.E. Zhukovskogo "Kharkiv Aviation Institute", UKRAINE, Kharkiv, Chkalova, 17, E-mail: mihailserbov@rambler.ru

²Technology manufacture of aircraft Department, National Aerospace University named after N.E. Zhukovskogo "Kharkiv Aviation Institute", UKRAINE, Kharkiv, Chkalova, 17, E-mail: serbovmiha1987@rambler.ru

The article deals with the optical method of control as the most suitable for solving the defect detection problem through holes.

The shape of the defect determines the risk of structural failure. Defects of the proper shape, without sharp edges, are the least dangerous because around them there is no stress concentration. Defects with sharp edges are stress concentrators. These defects increase in service of the product along the lines of mechanical stress concentration, which in turn leads to the destruction of the product. Classification of possible defects in the product allows you to choose the right method and means of control.

Non Destructive Testing (NDT) is the most widely used technology to control polymer composite materials because of its high functionality, accuracy, scientific and methodological rigor. And, of course, the main advantage of these methods is that their application stores design-technological and functional structure of the product for further use [1]. NDT allows detecting hidden defects indirectly and revealing such features, which entail the potential unreliability of the product, without changing the quality parameters and product characteristics, for secondary attributes hidden defects. They allow us to investigate products in the technological process, testing and operation, and can be used to assess the quality of manufacturing processes and testing of products for compliance with technical requirements.

Дифракційний метод контролю якості отворів

Михайло Сербов¹, Ірина Воронько²

1. Кафедра електротехніки та мехатроніки, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського "ХАІ", УКРАЇНА, м. Харків, вул. Чкалова, 17, E-mail: mihailserbov@rambler.ru

2. Кафедра технології будівництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського "ХАІ", УКРАЇНА, м. Харків, вул. Чкалова, 17, E-mail: serbovmiha1987@rambler.ru

У статті розглядається оптичний метод контролю, завдяки якому здійснюється виявлення дефектів скрізних отворів в деталях з композитних матеріалів. Пропонується використовувати принцип Г.Б. Ейрі для спостереження дифракційної картини на круглому отворі.

Ключові слова – оптичний прилад, контроль, дифракція, дифракційна картина, отвір, дефект.

I. Вступ

У процесі обробки та виготовлення виробів з полімерних композитних матеріалів (ПКМ) виникає необхідність проведення оперативного контролю отворів у конструкції, з наступним уточненням параметрів виявлених дефектів (діаметра, ворсистості, глибини залягання та форми викришування). Небезпека впливу дефектів на працездатність залежить від їх виду, форми, типу та кількості.

II. Дифракція на круглому отворі

Під дифракцією розуміють обумовлене хвильовою природою світла явище відхилення від законів поширення світла геометричної оптики, що виникає при проходженні світла в середовищі з різкими оптичними неоднорідностями. У результаті взаємодії когерентного випромінювання з контрольованим об'єктом у дальній зоні виникає дифракційне поле, що містить в собі інформацію про його геометричні розміри, що дозволяє, використовуючи відповідні інформативні параметри дифракційного розподілу інтенсивності, робити вимірювання геометричних розмірів, що контролюється.

Практичне застосування дифракції для вимірювання та контролю параметрів вибору в більшості випадків ґрунтується на вивченні явища дифракції та розробці способів виявлення вимірювальної інформації з зареєстрованої дифракційної картини.

При використанні принципів Гюгенса – Френеля кожен крапку в площині отвору, на якому відбувається дифракція, вважають джерелом сферичних хвиль. Для опису дифракційного поля в останніх зонах використовують інтеграл Френеля – Кірхгофа який в наближенні Фраунгофера має вигляд:

$$U(r) \approx \frac{je^{jkR}}{lR} \times \int_S F(x,h) \times e^{jk \times \sin q (x \times \cos f + h \times \sin f)} dx dh \quad (1)$$

Одним з типових об'єктів дифракції є отвір або екран круглої форми. Математичне моделювання дифракційної картини об'єкта круглої форми більш зручно при використанні полярних координат r, f^* , які зв'язані з декартовими координатами: $x = r \cdot \cos f^*$; $h = r \cdot \sin f^*$.

Позначаючи розподіл поля по отвору через $F(r, f^*)$ та використовуючи вираз (1), отримуємо вираз, що описує розподіл амплітуди в дифракційній картині Фраунгофера:

$$U(q, f) = C \int_0^{2p} \int_0^a F(r, f^*) \times e^{jk r \times \sin q \times \cos(f - f^*)} r dr, dk^*, \quad (2)$$

де C – постійна величина, яка стоїть перед інтегралом у виразі (2).

Якщо ввести змінні $r = \frac{r}{a}$, $u = \frac{2pa}{l} \sin q = \frac{pD}{l} \sin q$ то функція $F(r, f^*)$ переходить в $f(r, f^*)$, а $U(q, f)$ в нову функцію $U(u, f)$. Тоді вираз (2) можна записати у вигляді:

$$U(u, f) = a^2 C \int_0^{2p} \int_0^1 f(r, f^*) \times e^{j u r \cos(f - f^*)} r dr, df^* \quad (3)$$

Вираз (3) описує розподіл амплітуди в дифракційній картині Фраунгофера при заданому розподілі амплітуди і фази поля по отвору, тобто, при $f(r, f^*) = 1$, виконуючи інтегрування по f^* отримуємо вираз пропорційний розподіленню амплітуди поля:

$$U(u) = 2pa^2 C \int_0^1 r J_0(u, r) dr, \quad (4)$$

де $J_0(u, r)$ – функція Бесселя нульового порядку.

Інтенсивність випромінювання в дифракційній картині від круглого отвору визначається виразом:

$$I(u) = [U(u)]^2 = I_0 \left[\frac{2J_1(u)}{u} \right]^2 \quad (5)$$

$I_0 = (2pa^2 C)^2$ – інтенсивність у центрі дифракційної картини. Рівняння (5) вперше вивів Г.Б. Ейрі і картина дифракції на круглому отворі відома під назвою картина Ейрі [2].

Дифракційна картина від отвору круглої форми має вигляд світлого диска з центром в геометричному зображенні джерела випромінювання (рис.1), оточе

ного концентричними, світлими та темними кільцями, інтенсивність яких зменшується зі збільшенням радіуса. Вісімдесят чотири відсотки повної потужності дифракційної картини зосереджено в її центрі диска [2].

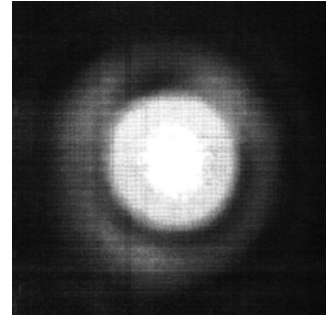


Рис.1. Дифракційна картина

З теореми про відозміні дифракційної картини виходить, що при симетричному збільшенні розміру контрольованого об'єкту, в якомусь з напрямів в m раз, дифракційна картина Фраунгофера стискається в тому ж напрямі, у m раз (зменшується розмір дифракційних пелюсток), а інтенсивність у деякій точці нової картини стає в m^2 раз більше інтенсивності у відповідній точці площині спостереження початкової дифракційної картини.

Залежність зміни інтенсивності випромінювання дифракційної картини у фіксованій точці площині спостереження і залежність зміни кутового (лінійного) розміру дифракційних максимумів від зміни розмірів контрольованого об'єкту покладені в основу отримання виміральної інформації в дифракційних методах вимірювання. Контрастність зображення концентричних кілець залежить від чистоти обробки отвору.

Висновок

Приведений метод контролю отворів в деталях з полімерних композитних матеріалів, дозволяє зробити висновки, що оптичний метод найбільше підходить для організації автоматичного контролю в заводських умовах. Застосування принципів дифрактометрії для вимірювання дефектів в отворах починаючи від $\approx 10l$ і більше (l – довжина хвилі випромінювання), дозволяє створити математичну модель і якісно з високою точністю обробити отриманий результат.

Література

- [1] Каневский И.Н. Незарушающие методы контроля: учеб. пособие / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243с.
- [2] Борн М. Основы оптики / Борн М., Вольф Э. – М.: Наука, 1970. – 855с.