Шматко Д. Методика статистичної обробки результатів неруйнівного контролю / Д. Шматко, О. Кочнева // Вісник ТНТУ — Тернопіль : ТНТУ, 2015. — Том 77. — № 1. — С. 168-173. — (Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

УДК 620.170

Д. Шматко, канд. техн. наук; О. Кочнева

Дніпродзержинський державний технічний університет

МЕТОДИКА СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Резюме. *Запропоновано методику проведення статистичної обробки результатів неруйнівного контролю деталей та виробів. Визначено середні розміри дефектів і дисперсії розмірів, а також розподілення дефектів за розмірами. Наведено методику обчислення вірогідності знаходження дефекту заданого розміру.*

Ключові слова: *методика, дефект, деталь, розмір, вірогідність.*

D. Shmatco, O. Kochneva

METHODS OF STATISTICAL ANALYSIS OF NONDESTRUCTIVE TESTING RESULTS

Summary. *Nondestructive testing methods of control or crack-detection is a general name for all methods of materials or products control used for finding defects, homogeneity of macrostructure, the chemical composition variations and other uses, that do not require the destruction of samples of material or product as a whole. Widespread use of non-destructive methods of control to avoid heavy losses in time and material costs, provide partial or full automatic operation control while significantly improving the quality and reliability of products and parts. No one technological process for manufacturing product is introduced into the industry without an appropriate system of non-destructive testing.*

It is needed to choose equipment for testing parts or products of nondestructive testing methods that will meet the task, that is, the devices with sufficient degree of reliability that will identify the most dangerous and characteristic defects in the controlled product or part. The second condition is the task of needed degree of reliability of defects, which are dangerous for operating of part or product. And the third condition is the adjustment of the controlling apparatus, namely, the selection of sensitivity and permitting its capacity so as to satisfy the second condition.

The proposed method of statistical analysis of the results processing of nondestructive testing of parts and products involves the defining of medium-sized defects and sizedispersion, distribution of defects by size. The calculating of probability of defectfinding of a given size is proposed taking advantage of the Gaussian function. To find the integrals of errors it is necessary to find mathematical expectation, to calculate the dispersion and set maximum allowed defect sizes, only one defect being missed.

Key words: *methods, defect, part, size, reliability.*

Умовні позначення

$\overline{X}$ – середній розмір дефекту;
x_i– максимальний розмір дефектів;
X_0 – дефект заданого розміру;
e – відхилення розмірів дефектів;
y^2 – дисперсія;
σ – середньоквадратичне відхилення;
n – загальна кількість дефектів;
f – щільність вірогідності знаходження дефектів;
$\overline{\mathrm{V}}$ – дисперсія;
$\Phi(z)$ – інтеграл похибок;
$P(x)$ – вірогідність знаходження дефекту.

Постановка проблеми. Поліпшення якості промислової продукції, підвищення надійності й довговічності обладнання і виробів можливо за умовами вдосконалення виробництва і впровадження системи управління якістю.

Важливими критеріями високої якості деталей машин, механізмів та приладів є фізичні, геометричні і функціональні показники, а також технологічні ознаки якості, наприклад, відсутність неприпустимих дефектів, відповідність фізико-механічних властивостей і структури основного матеріалу та покриття, відповідність геометричних розмірів і чистоти обробки поверхні висунутим нормативам.

Неруйнівні методи контролю або дефектоскопія – це узагальнююча назва методів контролю матеріалів або виробів, що використовується для знаходження дефектів, однорідності макроструктури, відхилень хімічного складу та інших цілей, які не вимагають руйнування зразків матеріалу або виробу в цілому. Широке застосування неруйнівних методів контролю дозволяє уникнути великих втрат часу і матеріальних витрат, забезпечити часткову або повну автоматизацію операції контролю при одночасному значному підвищенню якості й надійності виробів і деталей. У подальшому жоден технологічний процес отримання відповідальної продукції не впроваджується у промисловість без відповідної системи неруйнівного контролю.

Основними галузями застосування неруйнівних видів контролю є дефектоскопія відповідальних деталей і приладів, дефектоскопія деталей і приладів тривалої експлуатації, безперервна дефектоскопія особливо відповідальних агрегатів і пристроїв, проведення досліджень структури металів і дефектів у виробах і деталях з метою вдосконалення їх технології виготовлення.

Для проведення досліджень деталей або виробів способами неруйнівного контролю необхідно обрати апаратуру, яка буде відповідати поставленій задачі, тобто такі прилади, які з достатнім ступенем достовірності дозволять виявити найбільш небезпечні й характерні дефекти у виробі або деталі, які контролюються. Другою умовою є завдання виявлення ступеня достовірності виявлення дефектів, небезпечних для експлуатації деталі або виробу. Третя умова – це налагодження контролюючої апаратури, а саме, підбір чутливості й вирішальної її здатності таким чином, щоб задовольнити другу умову.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Принципи математичної статистики опрацювання результатів досліджень розглянуто в роботах П.П. Бочарова, А.В. Печонкіна, А.М. Сухова, О.М. Чкалова [1–5]. Роботи І.Н. Каневського [6], І.П. Бєлокура [10], Г.С. Самойловича [11] та інші присвячені теоретичному обґрунтуванню застосування статистичного опрацювання результатів досліджень неруйнівного контролю деталей і виробів, а саме, обчислення вірогідності визначення дефектів заданих розмірів.

Метою роботи є розроблення методики статистичного опрацювання результатів неруйнівного контролю деталей або виробів та обчислення вірогідності визначення дефекту заданого розміру.

Результати дослідження. Розглянемо процес опрацювання результатів вимірювань на приладі неруйнівного контролю внутрішніх дефектів деталей або виробів на наявність раковин, сторонніх включень і т.д. Перш за все необхідно визначити середній розмір дефекту $\overline{X}$. Для цього вимірюється максимальний розмір дефектів x_i не менше ніж у 20 різних дефектів $(n \geq 20)$. Середній розмір дефекту визначається

$$\overline{X} = \frac{X_1 + X_2 + ... + X_1}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \,. \tag{1}$$

Цю величину у математичній статистиці називають математичним очікуванням.

Після цього знаходиться відхилення розмірів дефектів e від середнього значення

$$e_1 = \overline{X} - X_1; \quad e_2 = \overline{X} - X_2; \quad e_n = \overline{X} - X_n$$

та визначається дисперсія

$$y^2 = \frac{e_1^2 + e_2^2 + ... + e_n^2}{n(n-1)} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n} e_i^2 \ . \qquad (2)$$

Величину σ називають середньоквадратичним відхиленням і визначають за рівнянням

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}{n(n-1)}} \approx \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} e_i^2} \ . \qquad (3)$$

Приблизну рівність отримуємо, коли кількість вимірювань *n* велика, так що $n >> 1$ та $n(n-1) \approx n^2$.

Розглянемо методику розподілення дефектів за розмірами. Для цього побудуємо вісь *x*, на якій вкажемо розміри X_i знайдених дефектів та їх середню величину $\overline{X}$ (рис.1).

Виділяємо на осі *x* довільно інтервал *dx* і визначаємо кількість дефектів *dn*, які потрапляють в цей інтервал. Чим більше інтервал *dx*, тим більше буде в ньому дефектів *dn*. У той же час величина *dn* буде тим більша, чим більша загальна кількість дефектів *n*, так що $dn \approx ndx$.

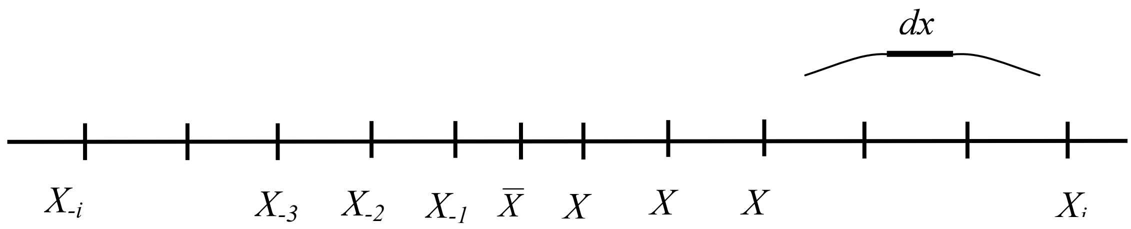

Рисунок 1. Розподілення дефектів за розмірами

Figure 1. The distribution of defects size

Величина *dn* залежить також від координати (місця вибору) інтервалу *dx*, так як дефекти по осі *x* розташовані нерівномірно, а за деяким законом $dn \approx f(x)dx$. Внаслідок отримаємо, що кількість дефектів *dn*, яка міститься в інтервалі розмірів *dx*, буде дорівнювати

$$dn = nf(x)dx \ . \qquad (4)$$

З виразу (1.4) отримуємо

$$\frac{dn}{n} = f(x)dx \ .$$

З теорії вірогідності відомо, що вираз (4) описує вірогідність події $dP(x)$, при якому в інтервалі *dx* буде виявлено *dn* дефектів. Виходячи з цього, отримуємо

$$\frac{dn}{n} = dP(x) \text{ і } dP(x) = f(x)dx \ . \qquad (5)$$

З останнього рівняння випливає фізичний сенс функції $f(x)$ – це щільність вірогідності знаходження дефектів з розміром *x* в інтервалі *dx*

$$f(x) = \frac{dP(x)}{dx}.$$

Виходячи з фізичних уявлень про можливі розподілення дефектів за розмірами (про розподілені дефектів на осі x (рис. 1)) визначаємо властивості, які повинна мати функція розподілення з метою обчислення вірогідності виявлення дефекту заданого розміру X_o.

Найбільшу кількість дефектів повинні мати розміри X_i, які близькі до середньої величини $\overline{X}$, причому при значенні $\overline{X}$ функція розподілення повинна мати максимальне значення $f(\overline{X}) = f_{\max}$ з однаковою вірогідністю виявити дефекти з розмірами X_i, які будуть більшими і меншими середньої величини $\overline{X}$. Виходячи з цього, функція розподілення повинна бути парною відносно значення в точці $\overline{X}$:

$$f(\bar{x} - x) = f(\bar{x} + x).$$

Кількість дефектів буде тим меншою, чим будуть більші розміри дефектів X_i, які відрізняються від середнього значення $\overline{X}$.

Однією з функцій, яка задовольняє всім цим властивостям є функція Гауса.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2} \right). \tag{6}$$

Графіки функції Гауса (6) наведено на рис.2. З графіків бачимо, що максимум функції може бути досягнуто при значенні $\overline{X}$. Цей максимум тим більший, чим менша дисперсія ∇. Зі зростанням дисперсії максимум знижується, графік функції Гауса розширюється. У нашому випадку збільшення свідчить про зростання розкидання значень X_i. Згідно з рівнянням (5) вірогідність того, що дефект з розміром X потрапить в інтервал dX буде дорівнювати $dP(x) = f(x)dx$.

Тоді вірогідність знаходження дефекту з розміром $x > x_o$ визначаємо за формулою

$$P(x > x_o) = \int_{x_o}^{\infty} f(x)dx. \tag{7}$$

На рис. 3 заштрихована частина чисельно дорівнює значенню інтеграла (7). З графіка бачимо, що інтеграл (1.7) можна записати у вигляді

$$P(x > x_o) = \int_{\bar{x}}^{\infty} f(x)dx - \int_{\bar{x}}^{x_o} f(x)dx.$$

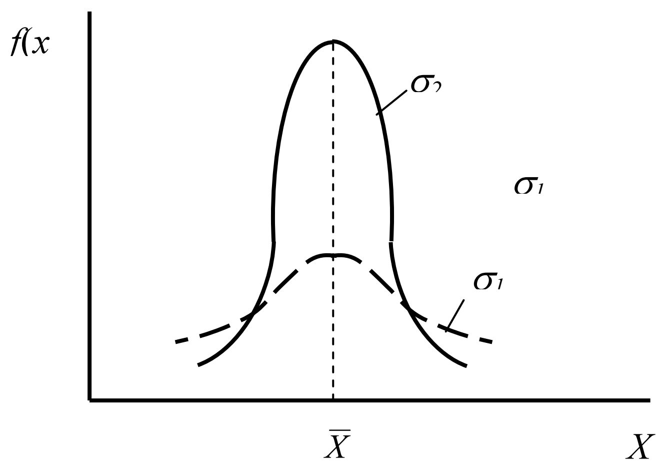

Рисунок 2. Функція Гауса для різних значень x

Figure 2. Gaussian function for different values x

Якщо підставляємо цей вираз у функцію Гауса (6), отримуємо

$$P(x > x_o) = \frac{1}{2p_y}\left(\int_{\bar{x}}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x-\bar{x})^2}{2y^2}\right)dx - \int_{\bar{x}}^{x_o} \exp\left(-\frac{(\bar{x}-\bar{x})^2}{2y^2}\right)dx\right). \tag{8}$$

Введемо нову зміну $t = \dfrac{x-\bar{x}}{y}$. Тоді $dx = \sigma dt$

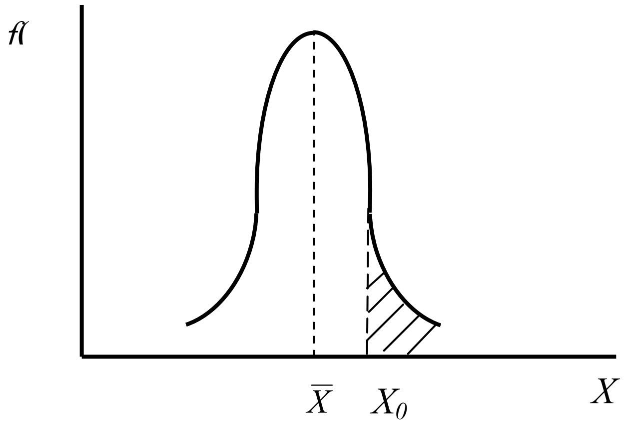

Рисунок 3. До числового визначення інтеграла (7)

Figure 3. By numerical definition of the integral (7)

За цими умовами інтеграл (8) набуде вигляду

$$P(x > x_o) = \frac{1}{2p}\int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt - \frac{1}{2p}\int_0^{\frac{x_0-x}{y}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dx. \tag{9}$$

Інтеграл $\int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt = \sqrt{\frac{\pi}{2}}$.

Тоді вираз (9) можна записати у вигляді

$$P(x > x_o) = \frac{1}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}}\int_0^{\frac{(x_0-\bar{x})}{\sigma}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt\right)$$

або

$$P(x > x_o) = \frac{1}{2}\left(1 - \Phi\left(\frac{x_0 - \bar{x}}{y}\right)\right).$$

У цьому рівнянні $\Phi(Z) = \sqrt{\frac{2}{p}}\int_0^{z} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt$ – інтеграл помилок, який табульований.

Для знаходження інтеграла помилок достатньо знайти математичне очікування $\bar{X}$, обчислити дисперсію σ і задати максимально припустимі розміри дефекту X_o. Після цього можна визначити Z і за таблицями знайти значення інтеграла помилок $\Phi(Z)$. Далі визначається вірогідність знаходження дефектів з розмірами, які перевищують X_o.

$$P(x > x_o) = \frac{1}{2}(1 - \Phi(Z)), \quad Z = \frac{X_o - \overline{X}}{Y}.$$

Висновки. В дефектоскопії передбачається, що $P(x > x_o) = 0{,}99$. Це означає, що прилади повинні бути налагоджені таким чином, щоб зі 100 дефектів з розмірами $x > x_o$ були знайдені 99 дефектів, а пропустити можна тільки один дефект.

Conclusions. In crack-detection it is expected, that $P(x > x_o) = 0{,}99$. This means that the devices should be adjusted so that from100 defects with dimensions $x > x_o$ 99 defects have been found and only one being missed.

Список використаної літератури

1. Бочаров, П.П. Теория вероятностей. Математическая статистика. – 2-ое изд. [Текст] / П.П. Бочаров, А.В. Печенкин.– М.: Физматлит, 2005. – 296 с.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебное пособие для вузов. – 2-ое изд. [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высш.шк., 2000. – 480 с.
3. Гутер, Р.С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта [Текст] / Р.С. Гутер, Б.В. Овчинский. – М.: Физматлит, 1986. – 356 с.
4. Сухов, А.Н. Математическая обработка результатов измерений: учебное пособие [Текст] / А.Н. Сухов. – М.: МИСИ, 1982 – 89 с.
5. Чкалова, О.Н. Основы научных исследований [Текст] / О.Н. Чкалова. – Киев: Вища школа, 1978. – 120 с.
6. Каневский, И.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие [Текст] / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. – Владивосток: ДВГТУ, 2007. – 243с.
7. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров. – 3-е изд. испр. [Текст] / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
8. Неразрушающие испытания: справ; под ред. Р. МакМастера. Кн.1. [Текст] / М.–Л.: Энергия, 1965. – 504 с.
9. Новокщенова, С.М. Дефекты стали: справ. [Текст] / М.: Металлургия, 1984. – 200 с.
10. Белокур, И.П. Дефектология и неразрушающий контроль [Текст] / И.П. Белокур. – Киев: Вища школа, 1990. – 207 с.
11. Неразрушающий контроль металлов и изделий: справ.; под ред. Г. Самойловича [Текст] / М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.

Отримано 15.12.2014