

Theo yêu cầu của khách hàng, trong một năm qua, chúng tôi đã dịch qua 16 môn học, 34 cuốn sách, 43 bài báo, 5 sổ tay (chưa tính các tài liệu từ năm 2010 trở về trước) Xem ở đây

**DỊCH VỤ
DỊCH
TIẾNG
ANH
CHUYÊN
NGÀNH
NHANH
NHẤT VÀ
CHÍNH
XÁC
NHẤT**

Chỉ sau một lần liên lạc, việc dịch được tiến hành

Giá cả: có thể giảm đến 10 nghìn/1 trang

Chất lượng: Tao dung niềm tin cho khách hàng bằng công nghệ 1. Bạn thấy được toàn bộ bản dịch; 2. Bạn đánh giá chất lượng. 3. Bạn quyết định thanh toán.

Tài liệu này được dịch sang tiếng Việt bởi:

www.mientayvn.com

Hướng dẫn truy cập: Ctrl+click vào các link bên dưới

Từ bản gốc:

<https://drive.google.com/folderview?id=0B4rAPqlxIMRDUBEMnZoemFHM00&usp=sharing>

Liên hệ mua:

thanhlam1910_2006@yahoo.com hoặc frbwrthes@gmail.com hoặc số 0168 8557 403

Giá tiền: 1 nghìn/trang đơn (không chia cột); 500 VND/trang song ngữ

Dịch tài liệu của bạn: http://www.mientayvn.com/dich_tiang_anh_chuyen_nghanh.html

2 checked 4/4

Surface Roughness Analysis and Measurement Techniques

Bharat Bhushan

The Ohio State University

The Nature of Surfaces

Analysis of Surface Roughness

Average Roughness Parameters • Statistical Analyses • Fractal Characterization • Practical Considerations in Measurement of Roughness Parameters

Measurement of Surface Roughness
Mechanical Stylus Method • Optical Methods • Scanning Probe Microscopy (SPM) Methods • Fluid Methods • Electrical Method • Electron Microscopy Methods • Analysis of Measured Height Distribution • Comparison of Measurement Methods

Closure

2.1 The Nature of Surfaces

A solid surface, or more exactly a solid-gas or solid-liquid interface, has a complex structure and complex properties depending on the nature of the solids, the method of surface preparation, and the interaction between the surface and the environment. Properties of solid surfaces are crucial to surface interaction because surface properties affect real area of contact, friction, wear, and lubrication. In addition to tribological functions, surface properties are important in other applications, such as optical, electrical and thermal performance, painting, and appearance.

Solid surfaces, irrespective of their method of formation, contain irregularities or deviations from the prescribed geometrical form

2

Phân tích và kỹ thuật đo độ nhám bề mặt

Surface Roughness: có thể dịch là độ gồ ghề bề mặt

Bharat Bhushan

Đại học bang Ohio

Bản chất của bề mặt

Phân tích độ nhám bề mặt

Tham số nhám trung bình • Phân tích thống kê • Tính chất Fractal • Xem xét thực tế quá trình đo các tham số nhám

Đo độ nhám bề mặt

Phương pháp cơ Stylus • Các phương pháp quang • Phương pháp kính hiển vi đầu dò quét (SPM) • Các phương pháp lỏng • Phương pháp điện • Phương pháp kính hiển vi điện tử • Phân tích phân bố độ cao đo được • So sánh các phương pháp đo

Kết luận

2.1 Bản chất của bề mặt

Một bề mặt rắn, hay chính xác hơn một bề mặt phân cách rắn-khí hoặc rắn-lỏng, có cấu trúc và tính chất phức tạp phụ thuộc vào bản chất của chất rắn, các phương pháp chế tạo bề mặt, và sự tương tác giữa bề mặt và môi trường. Các tính chất bề mặt rắn rất quan trọng đối với quá trình tương tác bề mặt vì tính chất bề mặt ảnh hưởng đến diện tích tiếp xúc, ma sát, sự mài mòn, và bôi trơn trong thực tế. Ngoài việc ảnh hưởng đến ma sát, tính chất bề mặt đóng vai trò quan trọng trong nhiều ứng dụng, chẳng hạn như quang học, điện nhiệt, sơn, và trang trí.

Các bề mặt rắn, bất kể phương pháp chế tạo, thường không đồng đều hoặc lệch so với dạng hình học tiêu chuẩn (Whitehouse, 1994; Bhushan, 1996, 1999a, b; Thomas, 1999). Sự không đồng đều của bề mặt có thể có nhiều mức

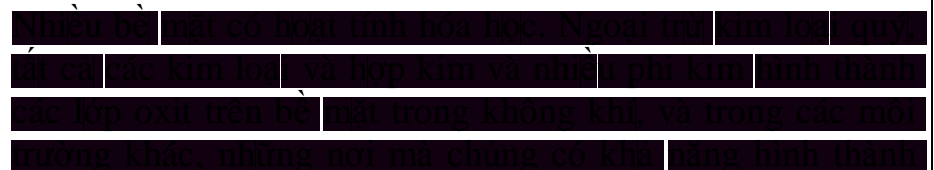
(Whitehouse, 1994; Bhushan, 1996, 1999a,b; Thomas, 1999). The surfaces contain irregularities of various orders ranging from shape deviations to irregularities of the order of interatomic distances. No machining method, however precise, can produce a molecularly flat surface on conventional materials. Even the smoothest surfaces, such as those obtained by cleavage of some crystals, contain irregularities, the heights of which exceed the interatomic distances. For technological applications, both macro- and micro/nanotopography of the surfaces (surface texture) are important (Bhushan, 1999a,b).

In addition to surface deviations, the solid surface itself consists of several zones having physico-chemical properties peculiar to the bulk material itself (Figure 2.1) (Gatos, 1968; Haltner, 1969; Buckley, 1981). As a result of the forming process in metals and alloys, there is a zone of work-hardened or deformed material on top of which is a region of microcrystalline or amorphous structure that is called the Beilby layer. Deformed layers would also be present in ceramics and polymers. These layers are extremely important because their properties, from a surface chemistry point of view, can be entirely different from the annealed bulk material. Likewise, their mechanical behavior is influenced by the amount and depth of deformation of the surface layers. Many of the surfaces are chemically reactive. With the exception of noble metals, all metals and alloys and many nonmetals form surface oxide

độ khác nhau từ sự sai lệch hình dạng cho đến sự không đồng đều ở quy mô khoảng cách nguyên tử. Tuy nhiên, chưa có phương pháp gia công chính xác có thể tạo ra một bề mặt phẳng ở cấp độ phân tử trên các vật liệu truyền thống. Thậm chí đối với những bề mặt nhẵn nhất, chẳng hạn như những bề mặt thu được trong quá trình cắt tinh thể cũng không đồng đều, các độ cao có thể vượt qua khoảng cách nguyên tử. Đối với các ứng dụng công nghệ, chúng ta cần cả ảnh tô-pô vĩ mô, micro và nano của các bề mặt (kết cấu bề mặt) (Bhushan, 1999a, b).

Cùng với sự sai lệch bề mặt, bản thân bề mặt rắn cũng chứa một số vùng có tính chất hóa-lý khác thường so với vật liệu khối (Hình 2.1) (Gatos, 1968; Haltner, 1969; Buckley, 1981). Với tư cách là kết quả của quá trình hình thành trong kim loại và hợp kim, có một vùng vật liệu khó gia công hoặc biến dạng, ở trên nó là một vùng vi tinh thể hoặc cấu trúc vô định hình được gọi là lớp Beilby. Trong gốm và polyme cũng có những lớp biến dạng. Từ quan điểm hóa học bề mặt, những lớp này cực kỳ quan trọng do tính chất của chúng có thể khác hoàn toàn với vật liệu khối được ủ. Tương tự, tính chất cơ học của chúng do số lượng và mức độ biến dạng của các lớp bề mặt chi phối.

depth of deformation: có thể dịch là độ sâu biến dạng



layers. In air and in other environments they are likely to form other layers (for example, oxides, sulfides, and chlorides). Besides the chemical corrosion film, there are also adsorbed films that are produced either by physisorption or chemisorption of oxygen, water vapor, and hydrocarbons from the environment. Occasionally, there will be a greasy or oily film derived from the environment. These films are found on metallic and nonmetallic surfaces.

The presence of surface films affects friction and wear. The effect of adsorbed films, even a fraction of a monolayer, is significant on the surface interaction. Sometimes, the films wear out in the initial running period and subsequently have no effect. The effect of greasy or soapy films present is more marked. It reduces the severity of surface interaction often by one or more orders of magnitude.

This chapter covers the details of the analysis and measurement of surface roughness.

2.1 Analysis of Surface Roughness

Surface roughness is generally an random deviation from the nominal surface that forms the three-dimensional topography of the surface. Surface texture includes (1) roughness (nano and microroughness), (2) waviness (macroroughness), (3) lay, and (4) flaws. Figure 2.2 pictorial display of surface texture with unidirectional lay. (Anonymous, 1989)

Nano and microroughness are

các lớp khác. Vì môi trường, sự oxy hóa, Ben các màng ăn mòn hóa học cũng có những màng lớp phủ hình thành. Những các lớp phủ này hoặc hấp thụ ion hoặc oxy, hơi nước, và hydrocarbon, từ môi trường. Đôi khi, cũng có những màng dầu hoặc mỡ bám trên một trong những màng này có thể dẫn đến các hiện tượng ăn mòn.

Hiện diện của các màng bề mặt ảnh hưởng đến ma sát và ăn mòn. Tác dụng của các màng hấp thụ, thậm chí chỉ một lớp đơn lớp, là đáng kể đối với tương tác bề mặt. Đôi khi, các màng bị mòn trong quá trình chạy ban đầu và sau đó không còn ảnh hưởng gì nữa. Tác dụng của các màng dầu hoặc mỡ bám trên bề mặt rõ rệt hơn. Nó giảm mức độ nghiêm trọng của tương tác bề mặt thường là một hoặc nhiều bậc độ lớn.

Chương này mô tả chi tiết về phân tích và đo lường độ nhám bề mặt.

2.1 Phân tích độ nhám bề mặt

Độ nhám bề mặt nói chung là một sự sai lệch ngẫu nhiên so với bề mặt danh định của nó. Độ nhám bề mặt bao gồm (1) độ nhám (nano và vi độ nhám), (2) độ gợn sóng (độ nhám vĩ mô), (3) vân, và (4) khuyết tật. Hình 2.2 là màn hình hiển thị độ nhám bề mặt với vân đơn hướng. (Anonymous, 1989)

shown as errors of form. They are not normally considered part of the surface.

TABLE 2.3 General typology of surfaces

texture. A question often asked is whether various geometrical features should be assessed together or separately. What features are included together depends on the applications. It is generally not possible to measure all features at the same time.

A very general typology of a solid surface is seen in figure 2.5. Surface textures that are deterministic may be studied by relatively simple analytical and empirical methods. Their detailed characterization is a nightmare. However, the textures of most engineering surfaces are random, either isotropic or anisotropic, and either Gaussian or non-Gaussian, whether the surface height distribution is isotropic or anisotropic and Gaussian or non-Gaussian depends upon the nature of the processing method. Surfaces that are formed by cumulative processes such as peening, electropolishing and lapping, in which the final shape of each region is the cumulative result of a large number of random discrete local events and respective of the distribution governing each individual event, will produce a cumulative effect that is governed by the Gaussian form. It is a direct consequence of the central limit theorem of statistical theory. Single-point processes (such as turning and shaping) and extreme rate processes (such as grinding and milling) generally lead to

Hình 2.3 Phân loại tổng quát các bề mặt

Định nghĩa: Đây là các đặc trưng hình học nên được xem xét. Câu hỏi thường được đặt ra là liệu các đặc trưng hình học khác nhau có nên được đánh giá cùng nhau hay không. Điều này phụ thuộc vào ứng dụng. Thông thường, không thể đo lường tất cả các đặc trưng cùng một lúc.

Hình 2.5 đưa ra cách phân loại tổng quát đối với các bề mặt rắn. Những kết cấu bề mặt xác định có thể được nghiên cứu bằng các phương pháp phân tích và thực nghiệm tương đối đơn giản. Việc mô tả chi tiết của chúng đòi hỏi sự phức tạp. Tuy nhiên, các kết cấu bề mặt của hầu hết các chi tiết cơ khí đều ngẫu nhiên, hoặc đẳng hướng hoặc dị hướng, và hoặc là Gauss hoặc không Gauss. Việc phân loại này dựa vào bản chất của phương pháp xử lý bề mặt. Các bề mặt được hình thành bằng các quá trình tích lũy, trong đó hình dạng cuối cùng của từng vùng là kết quả tích lũy của một số lượng lớn các sự kiện ngẫu nhiên, và không phụ thuộc vào phân bố của các sự kiện riêng lẻ, thì sẽ tuân theo dạng phân bố Gauss. Đây là một hệ quả trực tiếp của định lý giới hạn trung tâm trong lý thuyết thống kê. Các quá trình điểm đơn lẻ (như tiện và bào) và các quá trình tốc độ cực nhanh (như mài và phay) thường dẫn đến

anisotropic and non-Gaussian surfaces. The Gaussian distribution has become one of the mainstays of surface classification. In this section we first define average roughness parameters followed by statistical analyses and local characterization of surface roughness that are important in contact problems. Emphasis is placed on random, isotropic surfaces that follow Gaussian distribution.

2.1 Average Roughness Parameters

2.1.1 Amplitude Parameters

Surface roughness most commonly refers to the variations in the height of the surface relative to a reference plane. It is measured either along a single line profile or along a set of parallel line profiles (surface maps). It is usually characterized by one of the two statistical height descriptors advocated by the American National Standards Institute (ANSI) and the International Standardization Organization (ISO) (Anonymous, 1975, 1985). These are (1) Ra (CLA center-line average) or AA (arithmetic average) and (2) the standard deviation or variance (σ , σ^2 or root mean square (RMS), $\sqrt{\sigma^2}$) or other statistical

Figure 2.1 Schematic of a surface profile $z(x)$.

height descriptors are skewness (S) and kurtosis (K); these are rarely used. Another measure of surface roughness is an extreme-value height descriptor (Anonymous, 1975, 1985) for R_y , R_{max} or maximum peak-to-valley height or simply $P-V$ distance) or other extreme-value

parameters. The Gaussian distribution has become one of the mainstays of surface classification.

In this section we first define average roughness parameters followed by statistical analyses and local characterization of surface roughness that are important in contact problems.

Emphasis is placed on random, isotropic surfaces that follow Gaussian distribution.

2.1 Average Roughness Parameters

2.1.1 Amplitude Parameters

Surface roughness most commonly refers to the variations in the height of the surface relative to a reference plane. It is measured either along a single line profile or along a set of parallel line profiles (surface maps). It is usually characterized by one of the two statistical height descriptors advocated by the American National Standards Institute (ANSI) and the International Standardization Organization (ISO) (Anonymous, 1975, 1985). These are (1) Ra (CLA center-line average) or AA (arithmetic average) and (2) the standard deviation or variance (σ , σ^2 or root mean square (RMS), $\sqrt{\sigma^2}$) or other statistical

height descriptors are skewness (S) and kurtosis (K); these are rarely used. Another measure of surface roughness is an extreme-value height descriptor (Anonymous, 1975, 1985) for R_y , R_{max} or maximum peak-to-valley height or simply $P-V$ distance) or other extreme-value

Figure 2.4 Sơ đồ profile bề mặt $z(x)$.

parameters. The Gaussian distribution has become one of the mainstays of surface classification. In this section we first define average roughness parameters followed by statistical analyses and local characterization of surface roughness that are important in contact problems. Emphasis is placed on random, isotropic surfaces that follow Gaussian distribution.

The following descriptions in simplified form are
 given: R_a (maximum peak height), R_m
 (maximum peak-to-mean height or
 simply P-M distance), R_q (maximum
 peak height), R_z (average peak to
 mean height), and R_{pm} (average
 peak-to-mean height).

We consider a profile $Z(x)$ in which
 profile heights are measured from a
 reference line (figure 2). We define
 the mean line or mean line such that
 the area between the profile and the
 mean line above the line is equal to
 that below the mean line. R_a , R_m ,
 R_q , R_z , R_{pm} and AA is the arithmetic mean of the
 absolute values of vertical deviation
 from the mean line through the
 profile. The standard deviation σ is
 the square root of the arithmetic
 mean of the square of the vertical
 deviation from the mean line.

In mathematical form we will
 have

$$R_a = \max |z - m|$$

$$R_m = \max (z - m)$$

$$R_q = \max (z - m)$$

$$R_z = \frac{1}{L} \int_0^L |z - m| dx$$

$$R_{pm} = \frac{1}{L} \int_0^L (z - m) dx$$

$$AA = \frac{1}{L} \int_0^L |z - m| dx$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L (z - m)^2 dx}$$

where σ is the standard deviation
 and R_q is the square root of the
 arithmetic mean of the square of the
 vertical deviation from a reference
 line.

The following definitions are given
 and Roughness Grade

The following descriptions in simplified form are
 given: R_a (maximum peak height), R_m
 (maximum peak-to-mean height or
 simply P-M distance), R_q (maximum
 peak height), R_z (average peak to
 mean height), and R_{pm} (average
 peak-to-mean height).

We consider a profile $Z(x)$ in which
 profile heights are measured from a
 reference line (figure 2). We define
 the mean line or mean line such that
 the area between the profile and the
 mean line above the line is equal to
 that below the mean line. R_a , R_m ,
 R_q , R_z , R_{pm} and AA is the arithmetic mean of the
 absolute values of vertical deviation
 from the mean line through the
 profile. The standard deviation σ is
 the square root of the arithmetic
 mean of the square of the vertical
 deviation from the mean line.

$$R_a = CLA = AA = \frac{1}{L} \int_0^L |z - m| dx \quad (2.1a)$$

$$m = \frac{1}{L} \int_0^L z dx \quad (2.1b)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{L} \int_0^L (z - m)^2 dx \quad (2.2a)$$

$$= R_q^2 - m^2 \quad (2.2b)$$

Ra values up to a value of 12.5 μm (Roughness Grade Number 1) of the special case where m is equal to zero.

In many cases, the Ra and σ are interchangeable and for Gaussian surfaces

$R_a = \sigma$

The value of Ra is an official standard in most industrialized countries. Table 2.1 gives internationally adopted Ra values together with the alternative roughness grade number. The most commonly used statistical indices

the skewness and kurtosis are the normalized form of Ryan's

$Sk = \frac{1}{\sigma^3 L} \int_0^L (z - m)^3 dx$

and

$K = \frac{1}{\sigma^4 L} \int_0^L (z - m)^4 dx$

A discussion of these two parameters will be presented later.

The extreme value

parameters defined as follows:

the distance between the highest asperity (peak) summit and the lowest valleys, Rz is defined as the distance between the mean line and the lowest valley. Rz is defined as the distance between the highest asperities and the lowest valleys, and Rpm is defined as the distance between the

trong trường hợp đặc biệt khi m bằng không

$R_q = \sigma$ (2.3b)

trong điều kiện bề mặt có phân bố dạng Gauss

$\sigma \sim \sqrt{\frac{\pi}{2}} R_a \sim 1.25 R_a$ (2.4)

trong đó Rz là chiều cao tổng thể của bề mặt tính từ đường trung bình đến đỉnh cao nhất của đỉnh

$Sk = \frac{1}{\sigma^3 L} \int_0^L (z - m)^3 dx$ (2.5)

$K = \frac{1}{\sigma^4 L} \int_0^L (z - m)^4 dx$ (2.6)

đây là các tham số thống kê mô tả hình dạng của bề mặt. Rz là độ nhám tổng thể, Sk và K là các chỉ số mô tả độ lệch và độ nhọn của bề mặt.

unrepresentative asperities of valleys which occasionally occur and can give an erroneous value if taken singly. R_z and R_{pm} are more appropriate and are advocated by ISO. In many tribological applications, height of the highest asperities above the mean line is an important parameter because damage may be done to the interface by the few high asperities present on one of the two surfaces; on the other hand, valleys may collect lubrication, prevent and flow.

FIGURE 2.5 Various surface profiles having the same R_a value. The height parameters R_a (or R_z in some cases) are most commonly specified or measured components of the complete characterization of a profile. In a surface, none of the parameters discussed earlier are sufficient. These parameters are seen to be primarily concerned with the relative departure of the profile in the vertical direction and they do not provide any information about the slope, shape, and size of the asperities or about the frequency and regularity of their occurrence. It is possible for surfaces of widely differing profiles with different frequencies and different shapes to give the same R_a (or R_z) values (Figure 2.5). These single numerical parameters are used mainly for classifying surfaces of the same type that are produced by the same method.

Average roughness parameters for surface maps are calculated using the same numerical approach as that for a profile presented here.

to standard deviation of the mean line. The mean line is the line of best fit to the data. The standard deviation is the square root of the average of the squares of the deviations of the data points from the mean line.



The height parameters R_a (or R_z in some cases) are most commonly specified or measured components of the complete characterization of a profile. In a surface, none of the parameters discussed earlier are sufficient. These parameters are seen to be primarily concerned with the relative departure of the profile in the vertical direction and they do not provide any information about the slope, shape, and size of the asperities or about the frequency and regularity of their occurrence. It is possible for surfaces of widely differing profiles with different frequencies and different shapes to give the same R_a (or R_z) values (Figure 2.5). These single numerical parameters are used mainly for classifying surfaces of the same type that are produced by the same method.

Average roughness parameters for surface maps are calculated using the same numerical approach as that for a profile presented here.



[redacted] spacing for spatial parameter [redacted]

One way to supplement the amplitude (height) information is to provide some index of crest spacing or wavelength (which corresponds to lateral or spatial distribution) on the surface. Two parameters commonly used are the peak to summit density, N_p (m), and zero crossings density, N_0 . N_p is the density of peaks (local maxima) of the profile in number per unit length and it is the density of summits on the surface in number per unit area. N_0 and N_p are just measures of maxima irrespective of height. This parameter is in some use. N_0 is the zero crossings density defined as the number of times the profile crosses the mean line per unit length. From Longuet-Higgins (1957a), the number of surface zero crossings per unit length is given by the total length of the contour where the autocorrelation function (to be presented later) is zero (or 0.1). Divided by the area enclosed by the contour, this count N_0 is rarely used.

Another parameter is mean peak spacing (AKA [redacted] the average distance between measured peaks). This parameter is merely equal to (N_p) . Other spatial parameters rarely used are the mean slope and mean curvature, which are the first and second derivatives of the profile surface respectively.

Statistical Analyses

Amplitude Probability Distribution and Density Function

The cumulative probability distribution function of simple

2.1.2 Các tham số không cách hoặc không gian

Một cách để bổ sung thông tin biên độ (độ cao) là thêm vào thông tin về khoảng cách giữa các chóp hoặc bước sóng bề mặt. Hai tham số thông dụng là mật độ đỉnh (N_p) và mật độ vượt qua đường trung bình (N_0). N_p là mật độ các đỉnh (đỉnh địa phương) của hồ sơ theo đơn vị chiều dài và nó là mật độ các đỉnh trên bề mặt theo đơn vị diện tích. N_0 và N_p chỉ là các thước đo của các cực đại bất kể độ cao. Tham số này cũng thường được dùng để mô tả mật độ vượt qua đường trung bình trên mỗi đơn vị chiều dài. Theo công thức nghiệm của Longuet-Higgins (1957a), số lần vượt qua đường trung bình bằng 0 trên mỗi đơn vị chiều dài của hồ sơ chỉ là đại lượng trong đó hàm tự tương quan (sẽ được trình bày sau) bằng 0 (hoặc 0.1). Chia cho diện tích của hình bao quanh hồ sơ, số lần vượt qua đường trung bình này là một tham số ít được dùng.

Một tham số khác là khoảng cách trung bình giữa các đỉnh. Tham số này chỉ đơn giản bằng nghịch đảo của N_p . Những tham số không gian khác ít được dùng là độ dốc trung bình và độ cong trung bình của bề mặt.

Phân tích Thống kê

Phân bố Xác suất Biên độ và Hàm Mật độ Phân bố

Hàm phân bố xác suất tích lũy (CDF) của hồ sơ độ cao $z(x)$ có thể

$$P(h) = \text{Prob}(z \leq h) \quad (2.7)$$

$$p(z) = \frac{dP(z)}{dz} \quad (2.8a)$$

$$P(z \leq h) = \int_{-\infty}^h p(z) dz = P(h) \quad (2.8b)$$

$$P(h_1 \leq z \leq h_2) = \int_{h_1}^{h_2} p(z) dz = P(h_2) - P(h_1) \quad (2.8c)$$

$$p(z) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{(z-m)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.9a)$$

$$z^* = (z - m) / \sigma \quad (2.9b)$$

$$p(z^*) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{(z^*)^2}{2}\right] \quad (2.9c)$$

$$\text{erf}(h) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \int_0^h \exp\left[-\frac{(z^*)^2}{2}\right] dz^* \quad (2.10)$$

$$P(-1 \leq z^* \leq 1) = 0.682$$

$$P(-2 \leq z^* \leq 2) = 0.954$$

$$P(-3 \leq z^* \leq 3) = 0.999$$

$$P(-\infty \leq z^* \leq \infty) = 1$$

empirical distribution function on probability graph paper to show the percentage of the numbers below a given number. This is scaled such that a straight line is produced when the distribution is Gaussian (typical data).

FIGURE 2.0 (b) Gaussian probability density function $f(x)$ and (c) Gaussian probability distribution function $F(x)$.

presented later) to test for Gaussian distribution. A straight line corresponding to a Gaussian distribution is drawn on the plot. The slope of the straight line portion is determined by σ and the position of the line for 50% probability is set at the mean value (which is typically zero for surface height data).

The most practical method for the goodness of the fit between the given distribution and the Gaussian distribution is to use the Kolmogorov-Smirnov test (Smirnov, 1948; Massey, 1951; Siegel, 1956). In the Kolmogorov-Smirnov test, the maximum departure between the percentage of the numbers above a given number for the data and the percentage of the numbers that the given distribution were a Gaussian distribution is first calculated. Then a calculation is made to determine if the distribution is indeed Gaussian. The level of significance, α , is calculated. This gives the probability of mistakenly or falsely rejecting the hypothesis that the distribution is a Gaussian distribution. Common minimum values for α for accepting the hypothesis are 0.01, 0.05 (Siegel,

1956), and 0.10. The empirical distribution function is plotted on probability graph paper to show the percentage of the numbers below a given number. This is scaled such that a straight line is produced when the distribution is Gaussian (typical data).

FIGURE 2.0 (b) Gaussian probability density function $f(x)$ and (c) Gaussian probability distribution function $F(x)$.

presented later) to test for Gaussian distribution. A straight line corresponding to a Gaussian distribution is drawn on the plot. The slope of the straight line portion is determined by σ and the position of the line for 50% probability is set at the mean value (which is typically zero for surface height data).

The most practical method for the goodness of the fit between the given distribution and the Gaussian distribution is to use the Kolmogorov-Smirnov test (Smirnov, 1948; Massey, 1951; Siegel, 1956). In the Kolmogorov-Smirnov test, the maximum departure between the percentage of the numbers above a given number for the data and the percentage of the numbers that the given distribution were a Gaussian distribution is first calculated. Then a calculation is made to determine if the distribution is indeed Gaussian. The level of significance, α , is calculated. This gives the probability of mistakenly or falsely rejecting the hypothesis that the distribution is a Gaussian distribution. Common minimum values for α for accepting the hypothesis are 0.01, 0.05 (Siegel,

The chi-square test (Siegel, 1956) can also be used to determine how well the given distribution matches a Gaussian distribution. However, the chi-square test is not very useful because the goodness of fit calculated depends too much on how many bins of discrete cells are used to represent the data. If the data are divided into many bins, the chi-square test will be very sensitive to the shape of the distribution. For the sake of mathematical simplicity in some analyses, sometimes an exponential distribution is used instead of the Gaussian distribution. The exponential distribution is given by

$$p(z) = \frac{1}{\sigma} \exp\left[-\frac{(z-m)}{\sigma}\right] \quad (2.11a)$$

where m is the mean value of the distribution.

$$p(z^*) = \exp(-z^*) \quad (2.11b)$$

The moments of the probability density function are useful in determining the shape of the probability density function. The shape of the probability density function offers useful information on the behavior of the process. This shape can be expressed in terms of the moments of the function.

$$m_n = \int_{-\infty}^{\infty} z^n p(z) dz \quad (2.12)$$

The zeroth moment ($n=0$) is called the probability density function. The first moment ($n=1$) is called the mean value of the function. The second moment ($n=2$) is called the variance of the function. The higher order moments ($n>2$) are called the higher order moments.

$$m_n^c = \int_{-\infty}^{\infty} (z-m)^n p(z) dz \quad (2.13)$$

The zeroth moment ($n=0$) is equal to the total area under the curve. The first moment is equal to the mean value of the function. The second moment is equal to the variance of the function. For completeness, we note that

$$R_a = \int_{-\infty}^{\infty} |z-m| p(z) dz \quad (2.14)$$

is called the absolute first moment.

$$m_2 = \int_{-\infty}^{\infty} z^2 p(z) dz = R_q^2 \quad (2.15)$$

where R_q is the root-mean-square (RMS) value of the function.

The RMS value is a measure of the average magnitude of the function.

The RMS value is a measure of the average magnitude of the function.

The chi-square test (Siegel, 1956) can also be used to determine how well the given distribution matches a Gaussian distribution. However, the chi-square test is not very useful because the goodness of fit calculated depends too much on how many bins of discrete cells are used to represent the data. If the data are divided into many bins, the chi-square test will be very sensitive to the shape of the distribution. For the sake of mathematical simplicity in some analyses, sometimes an exponential distribution is used instead of the Gaussian distribution. The exponential distribution is given by

$$p(z) = \frac{1}{\sigma} \exp\left[-\frac{(z-m)}{\sigma}\right] \quad (2.11a)$$

where m is the mean value of the distribution.

$$p(z^*) = \exp(-z^*) \quad (2.11b)$$

The moments of the probability density function are useful in determining the shape of the probability density function. The shape of the probability density function offers useful information on the behavior of the process. This shape can be expressed in terms of the moments of the function.

$$m_n = \int_{-\infty}^{\infty} z^n p(z) dz \quad (2.12)$$

The zeroth moment ($n=0$) is called the probability density function. The first moment ($n=1$) is called the mean value of the function. The second moment ($n=2$) is called the variance of the function. The higher order moments ($n>2$) are called the higher order moments.

$$m_n^c = \int_{-\infty}^{\infty} (z-m)^n p(z) dz \quad (2.13)$$

The zeroth moment ($n=0$) is equal to the total area under the curve. The first moment is equal to the mean value of the function. The second moment is equal to the variance of the function. For completeness, we note that

$$R_a = \int_{-\infty}^{\infty} |z-m| p(z) dz \quad (2.14)$$

is called the absolute first moment.

$$m_2 = \int_{-\infty}^{\infty} z^2 p(z) dz = R_q^2 \quad (2.15)$$

where R_q is the root-mean-square (RMS) value of the function.

The RMS value is a measure of the average magnitude of the function.

The RMS value is a measure of the average magnitude of the function.

The RMS value is a measure of the average magnitude of the function.

The RMS value is a measure of the average magnitude of the function.

The RMS value is a measure of the average magnitude of the function.

The RMS value is a measure of the average magnitude of the function.

The RMS value is a measure of the average magnitude of the function.

$$m_2^c = \int_{-\infty}^{\infty} (z-m)^2 p(z) dz = \sigma^2 \quad (2.16a)$$

$$= R_q^2 - m^2 \quad (2.16b)$$

$$m_3^c$$

$$S_k = \frac{1}{\sigma^3} \int_{-\infty}^{\infty} (z-m)^3 p(z) dz \quad (2.17)$$

$$m_4^c$$

$$K = \frac{1}{\sigma^4} \int_{-\infty}^{\infty} (z-m)^4 p(z) dz \quad (2.18)$$

Johnson, 1969). For a method of generating non-Gaussian distributions on the computer see Yamamoto and Bushan (1983). The probability density functions generated by this method for selected skewness and kurtosis values are presented in Table 2. The functions are plotted in Figure 2.

From this figure it can be seen that a Gaussian distribution with zero skewness and a kurtosis of three has an equal number of local maxima and minima at a certain height above and below the mean line. A surface with a high negative skewness has a larger number of local maxima above the mean as compared to a Gaussian distribution, for a positive skewness the converse is true (Figure 2). Similarly, a surface with a low kurtosis has a larger number of local maxima above the mean as compared to that of a Gaussian distribution, again for a high kurtosis the converse is true (Figure 2).

TABLE 2. Probability Density Functions for Surfaces with Various Skewness and Kurtosis Values Based on the Pearson's System of Frequency Curve.

Non-Gaussian Parameters	Sk	K	Number of Type Probability Density Function, $p(z)$
1. precise	many	engineering surfaces have symmetrical Gaussian height distribution. Experience with most engineering surfaces shows that the height distribution is Gaussian at the high end, but at the low end the distribution is generally found to be non-Gaussian. (Williamson, 1966)	

Figure 2. Probability density functions for various skewness and kurtosis values. The figure shows several curves representing different combinations of skewness and kurtosis. The curves are plotted on a coordinate system where the horizontal axis represents the height deviation from the mean, and the vertical axis represents the probability density. The curves show how the distribution changes from a symmetric Gaussian-like shape to one with a long tail or multiple peaks depending on the skewness and kurtosis parameters.



FIGURE 2. Probability Density Functions for Surfaces with Various Skewness and Kurtosis Values Based on the Pearson's System of Frequency Curve.

Figure 2. Probability density functions for various skewness and kurtosis values. The figure shows several curves representing different combinations of skewness and kurtosis. The curves are plotted on a coordinate system where the horizontal axis represents the height deviation from the mean, and the vertical axis represents the probability density. The curves show how the distribution changes from a symmetric Gaussian-like shape to one with a long tail or multiple peaks depending on the skewness and kurtosis parameters.

Many of the common machining processes produce surfaces with non-gaussian distribution. Figure 2.10 turning, shaping, and reciprocating machining (EDM) processes produce surfaces with positive skewness. Grinding, honing, filing, and abrasion processes produce grooved surfaces with negative skewness but high kurtosis values. Laser polishing produces surfaces with high kurtosis.

Surface Height Distribution Functions

The surface or profile heights are considered as random variables. Their statistical representation in terms of the probability density function $p(z)$ is known as the height distribution or a histogram. The height distribution can also be represented as cumulative distribution function $P(z)$. For a digitized profile, the histogram is constructed by plotting the number or fraction of surface heights lying between two specific heights as a function of height (Figure 2.11). The interval between two such heights is termed the class interval and is known as Δz in Figure 2.11. It is generally recommended to use 5 to 10 class intervals for general random data, but the choice is usually a trade-off between accuracy and resolution. Similarly, from the surface or profile height distribution, the cumulative distribution function is derived. It is constructed by plotting the cumulative number or proportion of the surface height lying at or below a specific height as a function of that height (Figure 2.11).

An example of a profile and

Figure 2.10: Surface height distribution functions for various machining processes. The figure shows several histograms representing different surface profiles. The x-axis represents surface height and the y-axis represents the frequency or probability density. The distributions vary in shape, with some showing positive skewness and others showing negative skewness or high kurtosis.

Figure 2.11: Histogram and cumulative distribution function (CDF) of surface heights. The top part shows a histogram with bars representing the number of surface heights in specific intervals. The bottom part shows the corresponding CDF, which is a step function increasing from 0 to 1 as the height increases.

Corresponding histogram and cumulative height distribution on probability paper for a lapped nickel plate is given in Figure 2.12.

Figure 2.8 Probability density function for random distributions with selected skewness and kurtosis values.

Probability density and distribution curves can also be obtained for the slope and curvature of the surface of the profile. If the surface or profile height follows a Gaussian distribution, then its slope and curvature distribution also follows a Gaussian distribution. Because it is known that if two functions follow a Gaussian distribution, their sum and difference also follow a Gaussian distribution. Slope and curvatures are derived by taking the difference in height distribution, and therefore slope and curvatures of a Gaussian height distribution would be Gaussian.

Figure 2.11 Typical skewness and kurtosis envelopes for various manufacturing processes. From Whitehouse, D.J. (1994). Handbook of Surface Metrology. Institute of Physics Publishing, Bristol, U.K. With permission.

Figure 2.11 Method of deriving the histogram and cumulative distribution function from a surface height distribution.

For a digitized profile of length L with heights z_1, z_2, \dots, z_N and sampling interval $\Delta x=L/N$, where N represents the number of measurements, average height

$$\bar{z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i$$

which will take into the skewness and kurtosis. Chọn lọc

hình là cùng công cụ. Hình cho biết độ

hình của phân bố của các giá trị của

tại hoặc profile. Nếu độ là

theo phân bố Gauss, phân bố

thì nó cũng tuân theo phân bố Gauss. Hình

độ đều đại diện theo phân bố Gauss,

cũng tuân theo phân bố Gauss. Độ

độ của phân bố Gauss cũng sẽ

Gauss.

Hình 2.11 Hình bao hình dạng skewness và kurtosis

hình đối với các quá trình chế

Whitehouse, D.J. (1994). Handbook of Surface Metrology.

Institute of Physics Publishing, Bristol, U.K.

Hình 2.11 Phương pháp đưa ra hình đồ

và phân bố độ cao của bề mặt

độ với mỗi hình. Hình cho biết

hình của phân bố của các giá trị của

độ của phân bố Gauss cũng sẽ

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |z_i - m| \quad (2.19a)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (z_i - m)^2 \quad (2.19b)$$

$$S_k = \frac{1}{\sigma^3 N} \sum_{i=1}^N (z_i - m)^3 \quad (2.19c)$$

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{z_{i+1} - z_i}{\Delta x} \right) \quad (2.20a)$$

$$\text{and mean curvature} = \frac{1}{N-2} \sum_{i=2}^{N-1} \left(\frac{2z_i - z_{i-1} - z_{i+1}}{\Delta x^2} \right) \quad (2.20b)$$

$$\text{Prob}(z \geq h) = \int_h^{\infty} p(z) dz \quad (2.21a)$$

Figure 2.13 Schematic of bearing height z . Trong đó $P(z)$ là hàm phân bố tích lũy của z . Do đó, $P(z) = \int_h^{\infty} p(z) dz$. Hình ảnh minh họa cho thấy các phần tử của phân bố tích lũy $P(z)$ được tính bằng tổng diện tích của các phần tử của phân bố mật độ $p(z)$ từ độ cao z trở lên.

$$P(z \geq h) = \Delta z \sum_{z=h}^{\infty} p(z) \quad (2.21b)$$

Trong đó Δz là khoảng cách giữa các phần tử của phân bố tích lũy. Hình ảnh minh họa cho thấy các phần tử của phân bố tích lũy $P(z)$ được tính bằng tổng diện tích của các phần tử của phân bố mật độ $p(z)$ nhân với khoảng cách Δz .

Trong số các tham số dùng để mô tả bề mặt, độ cao bề mặt z và σ không gian là độ cao bề mặt khác nhau. Tuy nhiên, chúng phân bố theo các quy luật khác nhau. Các tham số không gian λ và σ được mô tả trong các tài liệu tham khảo (Bendat và Piersol, 1980). Hình ảnh minh họa cho thấy các tham số không gian λ và σ được mô tả trong các tài liệu tham khảo.

Trong số các tham số dùng để mô tả bề mặt, độ cao bề mặt z và σ không gian là độ cao bề mặt khác nhau. Tuy nhiên, chúng phân bố theo các quy luật khác nhau. Các tham số không gian λ và σ được mô tả trong các tài liệu tham khảo (Bendat và Piersol, 1980). Hình ảnh minh họa cho thấy các tham số không gian λ và σ được mô tả trong các tài liệu tham khảo.

wavelengths, or spatial sizes of the feature; these are also known as surface texture descriptors.

ACVF has been the most popular way of representing spatial variation. The ACVF of a random function is most directly interpreted as a measure of how well future values of the function can be predicted based on past observations. It contains no more information than the ACVF.

The PSD is interpreted as a measure of frequency distribution of the mean square value of the function, that is the rate of change of the mean square value with frequency. In this section, we will present the definitions for an isotropic and random profile $z(x)$.

Definitions for an isotropic surface $z(x,y)$ can be found in a paper by Nayak (1971). Analysis of an anisotropic surface is considerably complicated by the number of parameters required to describe the surface. For example, profile measurements along three different directions are needed for complete surface characterization of selected anisotropic surfaces. For further details on anisotropic surfaces, see Longuet-Higgins (1957a), Nayak (1973), Bush et al. (1972), and Thomas (1982).

Autocovariance and Autocorrelation functions

For a function $z(x)$, the ACVF for a spatial separation of l is an average value of the product of $z(x)$ measurements taken on the profile at distance l apart, $z(x)$ and $z(x + l)$. It is obtained by comparing the function $z(x)$ with a replica of itself, where the replica is shifted an

ACVF của một bề mặt ngẫu nhiên là một hàm số thực, đối xứng, và giảm dần về 0 khi khoảng cách l tăng lên. Nó được định nghĩa là:

Trong trường hợp của một bề mặt ngẫu nhiên, ACVF của một hàm ngẫu nhiên $z(x)$ tại một vị trí bất kỳ trong một trường ngẫu nhiên đồng nhất và đẳng hướng là một hàm số thực, đối xứng, và giảm dần về 0 khi khoảng cách l tăng lên. Nó được định nghĩa là:

Trong trường hợp của một bề mặt ngẫu nhiên, ACVF của một hàm ngẫu nhiên $z(x)$ tại một vị trí bất kỳ trong một trường ngẫu nhiên đồng nhất và đẳng hướng là một hàm số thực, đối xứng, và giảm dần về 0 khi khoảng cách l tăng lên. Nó được định nghĩa là:

Nayak (1973), Bush và các cộng sự (1972), và Thomas (1982).

ACVF của một bề mặt ngẫu nhiên là một hàm số thực, đối xứng, và giảm dần về 0 khi khoảng cách l tăng lên. Nó được định nghĩa là:

Trong trường hợp của một bề mặt ngẫu nhiên, ACVF của một hàm ngẫu nhiên $z(x)$ tại một vị trí bất kỳ trong một trường ngẫu nhiên đồng nhất và đẳng hướng là một hàm số thực, đối xứng, và giảm dần về 0 khi khoảng cách l tăng lên. Nó được định nghĩa là:

Trong trường hợp của một bề mặt ngẫu nhiên, ACVF của một hàm ngẫu nhiên $z(x)$ tại một vị trí bất kỳ trong một trường ngẫu nhiên đồng nhất và đẳng hướng là một hàm số thực, đối xứng, và giảm dần về 0 khi khoảng cách l tăng lên. Nó được định nghĩa là:

Figure 2.14 Construction of the autocovariance function

where L is the sampling length of the signal. From its definition, ACVF is always an even function of τ , that is,

$$R(\tau) = R(-\tau)$$

the values of ACVF at $\tau = 0$ and $\tau = L$ are

$$R(0) = R_q^2 = \sigma^2 + m^2$$

$$R(L) = R_q^2 = \sigma^2 + m^2$$

the normalized form of the ACVF is called the autocorrelation function (ACF) and is given as

$$C(\tau) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{R(\tau)}{R(0)}$$

$$C(\tau) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{R(\tau)}{R(0)}$$

For a random function $z(x)$ would be maximum ($= 1$) at $\tau = 0$. If the signal is periodic, $C(\tau)$ would repeat whenever τ is a multiple of wavelength. Many engineering surfaces are found to have an exponential ACF,

$$C(\tau) = \exp(-\beta|\tau|)$$

The measure of how quickly the random event decays is called the correlation length. The correlation length is the length over which the autocorrelation function drops to a small fraction of its value at the origin, typically 10% of its original value. The exponential form has a correlation length of $L = 1/\beta$, which is equal to $2.3/\beta$ (Figure 2.15).

sometimes correlation length is defined as the distance at which the value of the autocorrelation function is equal to 0.5, which is equal to $1/\beta$.

Figure 2.15 Construction of the autocorrelation function

where L is the sampling length of the signal. From its definition, ACF is always an even function of τ , that is,

$$C(\tau) = C(-\tau)$$

the values of ACF at $\tau = 0$ and $\tau = L$ are

$$C(0) = 1$$

$$C(L) = 1$$

the normalized form of the ACVF is called the autocorrelation function (ACF) and is given as

$$C(\tau) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{R(\tau)}{R(0)}$$

For a random function $z(x)$ would be maximum ($= 1$) at $\tau = 0$. If the signal is periodic, $C(\tau)$ would repeat whenever τ is a multiple of wavelength. Many engineering surfaces are found to have an exponential ACF,

Figure 2.14 Construction of the autocovariance function

where L is the sampling length of the signal. From its definition, ACVF is always an even function of τ , that is,

$$R(\tau) = R(-\tau)$$

the values of ACVF at $\tau = 0$ and $\tau = L$ are

$$R(0) = R_q^2 = \sigma^2 + m^2 \tag{2.22c}$$

$$R(L) = R_q^2 = \sigma^2 + m^2$$

the normalized form of the ACVF is called the autocorrelation function (ACF) and is given as

$$C(\tau) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{R(\tau)}{R(0)} \tag{2.22d}$$

For a random function $z(x)$ would be maximum ($= 1$) at $\tau = 0$. If the signal is periodic, $C(\tau)$ would repeat whenever τ is a multiple of wavelength. Many engineering surfaces are found to have an exponential ACF,

$$C(\tau) = \exp(-\beta|\tau|) \tag{2.23}$$

The measure of how quickly the random event decays is called the correlation length. The correlation length is the length over which the autocorrelation function drops to a small fraction of its value at the origin, typically 10% of its original value. The exponential form has a correlation length of $L = 1/\beta$, which is equal to $2.3/\beta$ (Figure 2.15).

sometimes correlation length is defined as the distance at which the value of the autocorrelation function is equal to 0.5, which is equal to $1/\beta$.

Figure 2.15 Construction of the autocorrelation function

where L is the sampling length of the signal. From its definition, ACF is always an even function of τ , that is,

$$C(\tau) = C(-\tau)$$

the values of ACF at $\tau = 0$ and $\tau = L$ are

$$C(0) = 1$$

$$C(L) = 1$$

the normalized form of the ACVF is called the autocorrelation function (ACF) and is given as

$$C(\tau) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{R(\tau)}{R(0)}$$

For a random function $z(x)$ would be maximum ($= 1$) at $\tau = 0$. If the signal is periodic, $C(\tau)$ would repeat whenever τ is a multiple of wavelength. Many engineering surfaces are found to have an exponential ACF,

$$C(\tau) = \exp(-\beta|\tau|) \tag{2.23}$$

The measure of how quickly the random event decays is called the correlation length. The correlation length is the length over which the autocorrelation function drops to a small fraction of its value at the origin, typically 10% of its original value. The exponential form has a correlation length of $L = 1/\beta$, which is equal to $2.3/\beta$ (Figure 2.15).

Correlation length can be taken as that at which two points on a function have just reached the condition where they can be regarded as being independent. This follows from the fact that when $C(r)$ is close to unity, two points on the function at a distance r apart are strongly interdependent; however, when $C(r)$ attains values close to zero, two points on the function at a distance r apart are weakly correlated. The correlation length, L^* , can be viewed as a measure of randomness. The degree of randomness of a surface increases with an increase in the magnitude of L^* .

The directionality of a surface can be found from its autocorrelation function. By plotting the contours of equal autocorrelation values, one can obtain contours to reveal surface structure. The anisotropy of

FIGURE 2.15. An exponential autocorrelation function and corresponding power spectral density function.

the surface structure is given as the ratio between the longer and shorter axes of the contour (Wyant et al., 1986; Bhushan, 1996). For a statistically isotropic surface structure, the contour would have a constant radius, that is, it would be a circle.

The autocorrelation function can be calculated either by using the height distribution of the digitized profile or by fast Fourier transform (FFT) technique. In the FFT technique, the first PSDF (described later) is obtained by taking an FFT of the surface height and squaring the results, then an inverse FFT of the

hình ảnh tại cùng tác dụng cho sự biến thiên của hàm liên tục một độ dài β .



hình ảnh của bề mặt có thể tìm thấy trong quan hệ đồng qua và contour của các giá trị $C(r)$ trong quá trình phân chia bề mặt thành những contour của các giá trị $C(r)$ bằng cách tính các đường đồng mức.

FIGURE 2.15. Hàm liên tục tương quan hàm mũ và hàm mật độ công suất tương ứng.

án trúc bề mặt chính là sự khác biệt của trục dài hơn và ngắn hơn của contour (Wyant et al., 1986; Bhushan, 1996). Đối với một cấu trúc bề mặt đẳng hướng và đẳng hướng contour, nó bản thân không đòi hỏi phải là một sự phân bố đồng đều.

Hàm liên tục tương quan có thể được tính toán bằng cách phân bố phân bố của các giá trị của hàm phân bố hoặc bằng cách biến đổi nhanh Fourier (FFT) kỹ thuật. Trong kỹ thuật FFT, PSDF đầu tiên (được mô tả sau) được thu được bằng cách lấy FFT của hàm phân bố bề mặt và bình phương kết quả, sau đó lấy nghịch đảo của PSDF để tìm ACVF.

$$S(\tau) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{1}{L} \int_0^L [z(x) - z(x + \tau)]^2 dx$$

$$S(\tau) = 2[\sigma^2 + m^2 - R(\tau)] \quad (2.26a)$$

$$= 2\sigma^2[1 - C(\tau)] \quad (2.26b)$$

$$P(\omega) = P(-\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \exp(-i\omega\tau) d\tau \quad (2.27)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \sigma^2 C(\tau) \exp(-i\omega\tau) d\tau + m^2 \delta(\omega)$$

$$\omega \text{ chieudai}^{-1} \quad 2\pi f \quad 2\pi \lambda \quad \delta(\omega)$$

$$P(\omega)$$

$$G(\omega)$$

$$P(\omega)$$

$$G(\omega) = 2P(\omega), \omega \geq 0 \quad (2.28a)$$

$$= 0, \omega < 0.$$

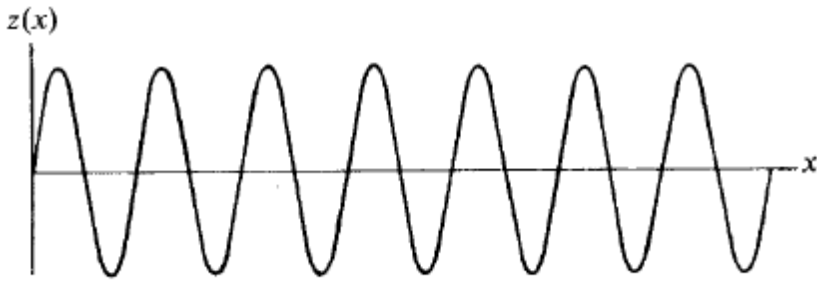
$$P(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau = 2 \int_0^{\infty} R(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau \quad (2.28b)$$

$$R(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P(\omega) \exp(i\omega\tau) d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P(\omega) \cos(\omega\tau) d\omega \quad (2.29)$$

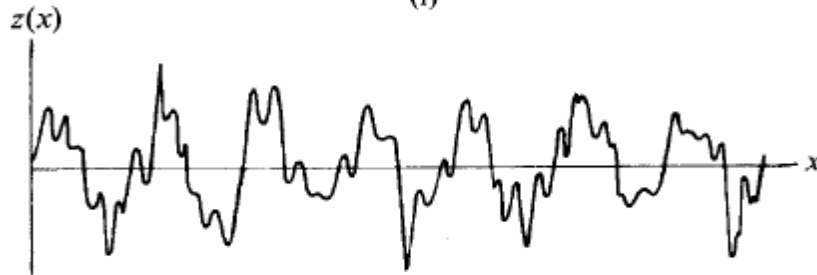
$$\tau = 0, R(0) = R_q^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P(\omega) d\omega \quad (2.30)$$

R_q^2

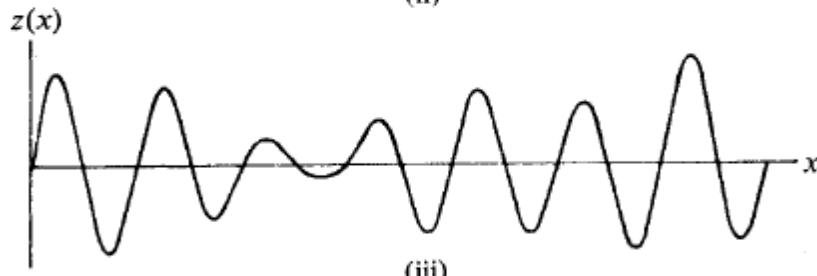
$$P(\omega) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{1}{L} \left[\int_0^L z(x) \exp(-i\omega x) dx \right]^2 \quad (2.31)$$



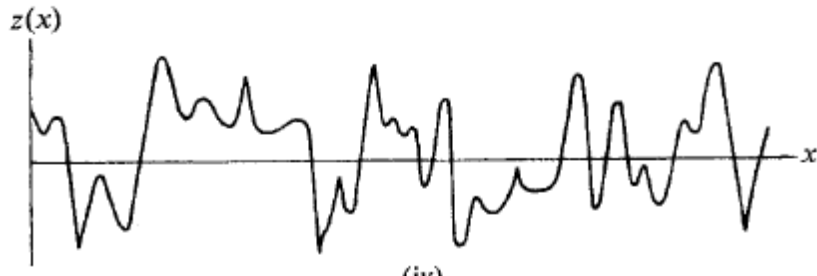
(i)



(ii)



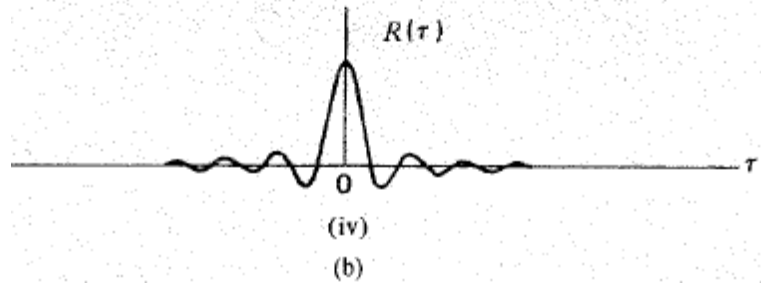
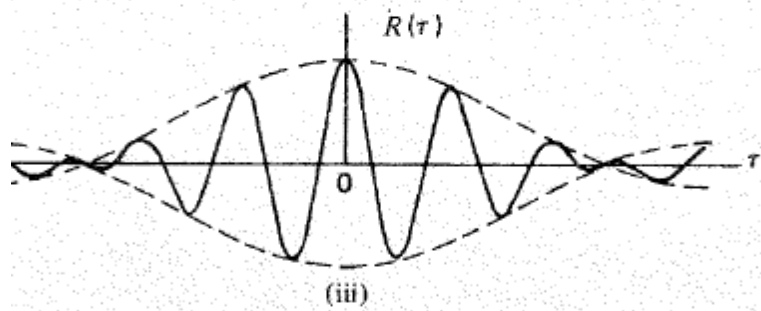
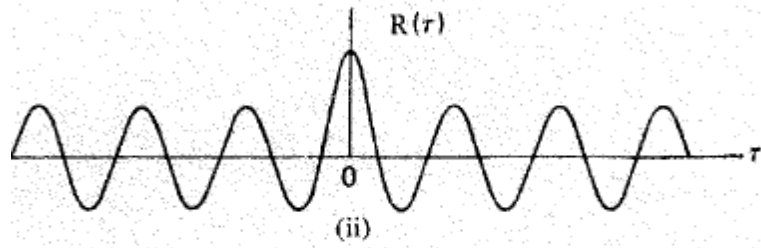
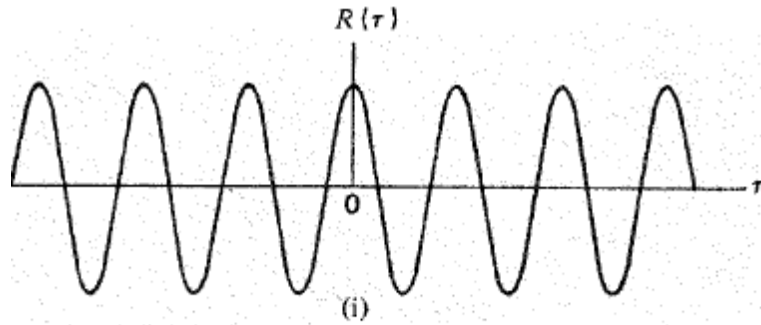
(iii)



(iv)

(a)





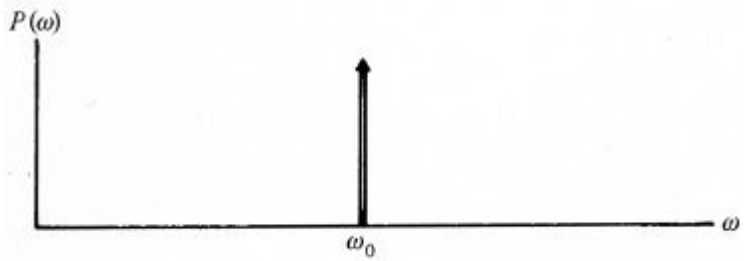
(b)

$$M_0 = \sigma^2 = \frac{1}{L} \int_0^L (z - m)^2 dx \quad (2.33a)$$

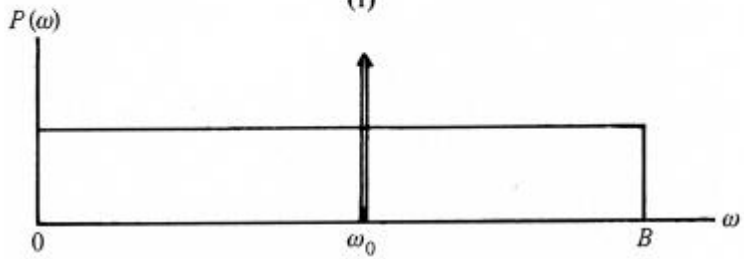
$$M_2 = (\sigma')^2 = \frac{1}{L} \int_0^L (dz/dx)^2 dx \quad (2.33b)$$

$$M_4 = (\sigma'')^2 = \frac{1}{L} \int_0^L (d^2z/dx^2)^2 dx \quad (2.33c)$$

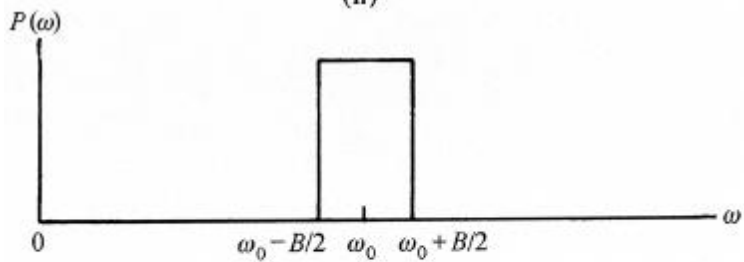
σ' σ''



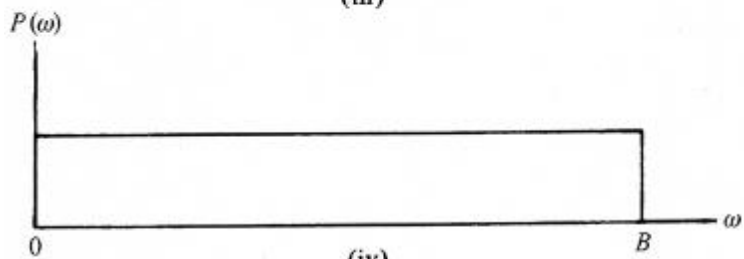
(i)



(ii)



(iii)



(iv)

(c)

[REDACTED]

2.2.6 Phân phối xác suất và nồng độ của các chất ô nhiễm môi trường

[REDACTED]

I

[REDACTED]

[REDACTED]

đặt với hai phân bố Gauss liên tiếp $M_2 (= \sigma'^2)$
 $M_1 (= \sigma''^2)$ là các hàm tự do N_0 và N_p bằng cách sử dụng
Lagrange (Higgins, 1957b)

$$N_0 = \frac{\sigma'}{\pi\sigma} \quad (2.34a)$$

$$N_p = \frac{\sigma''}{2\pi\sigma'} \quad (2.34b)$$

$$\alpha = \left(\frac{2N_p}{N_0} \right)^2 = \left(\frac{\sigma\sigma''}{\sigma'^2} \right)^2 \quad (2.35)$$

$$z_p^* (= z_p/\sigma)$$

$$\kappa_p^* (= \kappa_p/\sigma'')$$

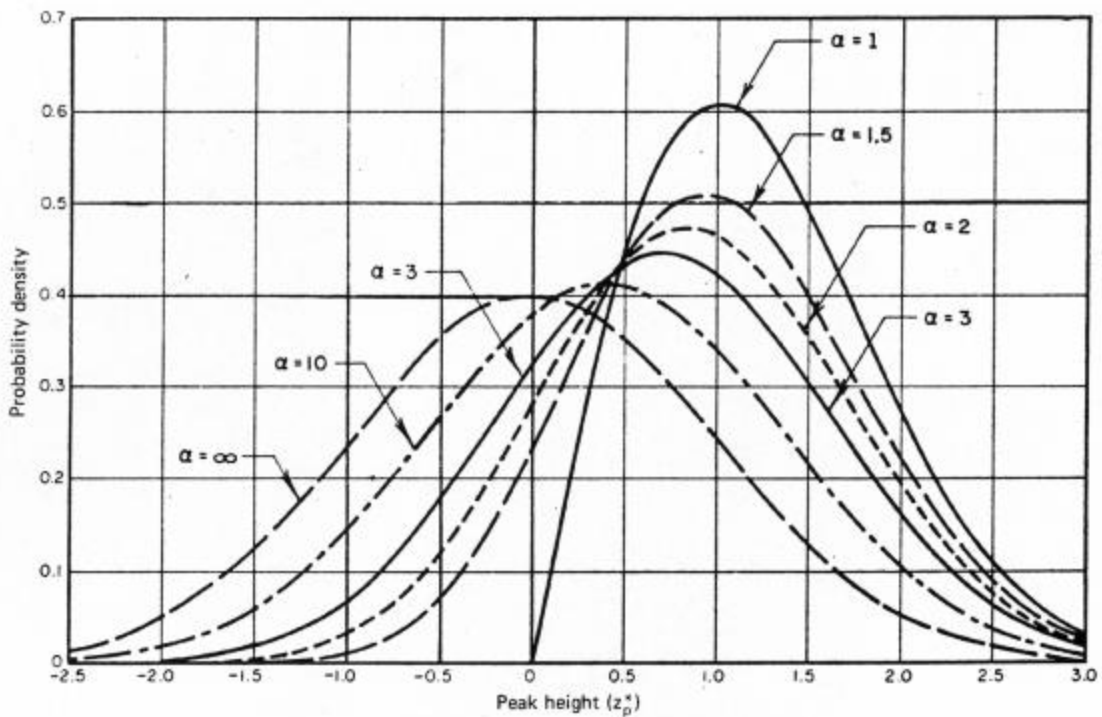
$$\alpha = \infty$$

$$\sigma_p \sim \sigma$$

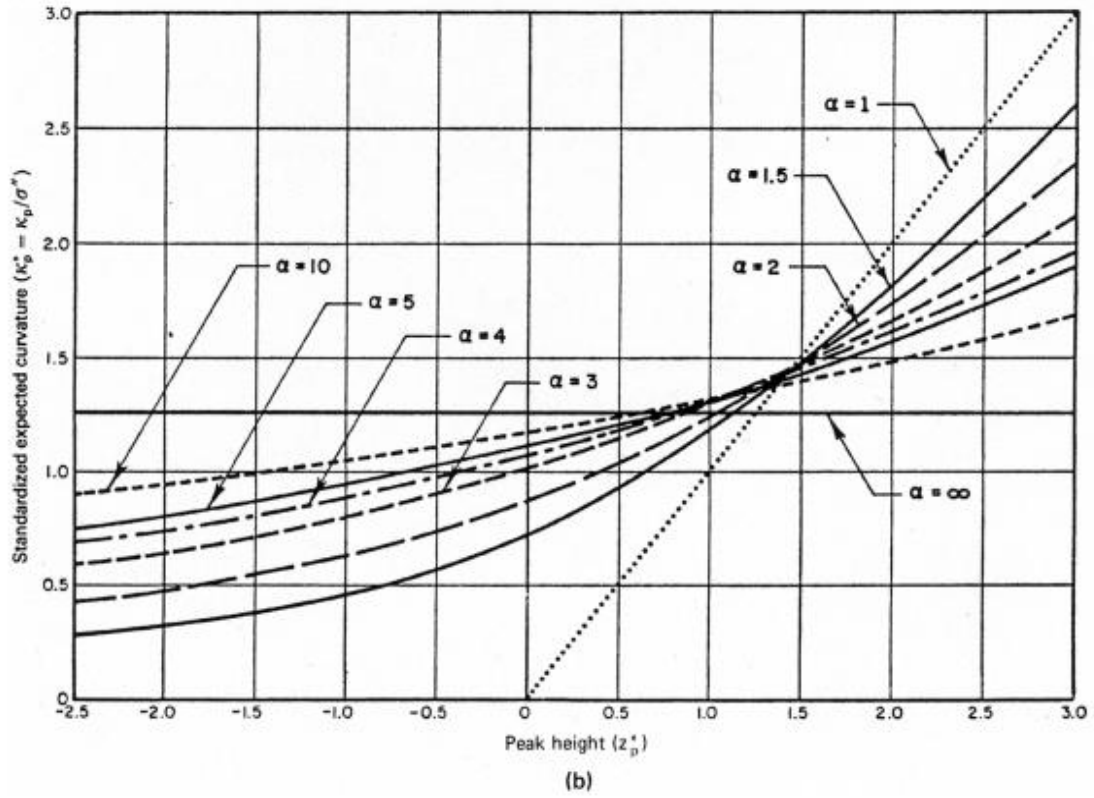
$$(2.36a)$$

$$\kappa_p \sim 1.3 \sigma''$$

$$(2.36b)$$



(a)



[REDACTED]

Hình 2.17 (a) Mật độ xác suất độ cao đỉnh và (b) đường cong kỳ vọng độ cao các đỉnh của quá trình ngẫu nhiên Gaussian. Random process model of rough surfaces. ASME J. Lub. Technol. 99, 1997, 10. Đã xin phép.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

đang sử dụng như số đo lệch chuẩn của chiều cao thông số của bất kỳ mô hình nào.

$$\sigma_p \sim \left(1 - \frac{0.8968}{\alpha}\right)^{1/2} \sigma \quad (2.37)$$

đang sử dụng như số đo lệch chuẩn của chiều cao thông số của bất kỳ mô hình nào.

đang sử dụng như số đo lệch chuẩn của chiều cao thông số của bất kỳ mô hình nào.

$$\eta = 0.031 \left(\frac{\sigma''}{\sigma'}\right)^2 \quad (2.38a)$$

$$\sim 1.2 N_p^2 \quad (2.38b)$$

đang sử dụng như số đo lệch chuẩn của chiều cao thông số của bất kỳ mô hình nào.

đang sử dụng như số đo lệch chuẩn của chiều cao thông số của bất kỳ mô hình nào.

hình ảnh là hình bình (S.P.) và do đó, sự chuyển vị của nó cũng phải là hình bình. Để số tương quan giữa chiều cao hình và độ cong của nó và mặt độ chạm

■ **Độ nhám bề mặt phức hợp của hai bề mặt nhám ngẫu nhiên**

■ **Độ nhám bề mặt phức hợp của hai bề mặt nhám ngẫu nhiên**

■ **Độ nhám bề mặt phức hợp của hai bề mặt nhám ngẫu nhiên**

■ **Độ nhám bề mặt phức hợp của hai bề mặt nhám ngẫu nhiên tiếp xúc** **Độ nhám phức hợp cần**
được định nghĩa là tổng của hai độ nhám thành phần, có được bằng cách
tổng chiều cao, góc độ, độ dốc, góc độ, và độ cong, góc độ, và độ
nhám.

■

$$\begin{aligned} z &= z_1 + z_2 \\ \theta &= \theta_1 + \theta_2 \\ \kappa &= \kappa_1 + \kappa_2 \end{aligned} \tag{2.39}$$

■

■ **Độ nhám bề mặt phức hợp của hai bề mặt nhám ngẫu nhiên tiếp xúc**

■ **Độ nhám bề mặt phức hợp của hai bề mặt nhám ngẫu nhiên tiếp xúc** **Độ nhám phức hợp cần**
được định nghĩa là tổng của hai độ nhám thành phần, có được bằng cách
tổng chiều cao, góc độ, độ dốc, góc độ, và độ cong, góc độ, và độ
nhám.

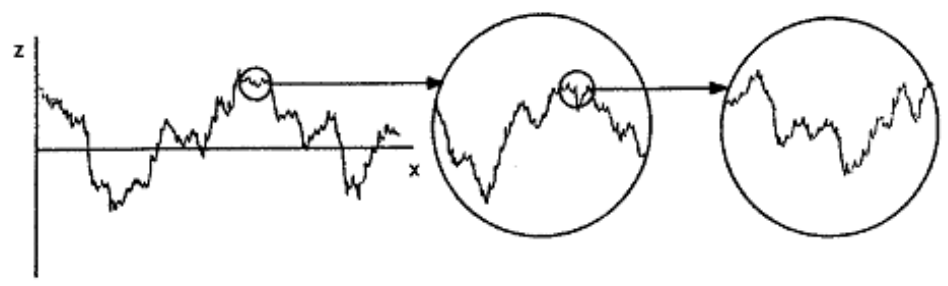
$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \\ \sigma'^2 &= \sigma_1'^2 + \sigma_2'^2 \\ \sigma''^2 &= \sigma_1''^2 + \sigma_2''^2 \\ R(\tau) &= R_1(\tau) + R_2(\tau) \\ P(\omega) &= P_1(\omega) + P_2(\omega) \\ M_1 &= (M_1)_1 + (M_1)_2 \end{aligned} \tag{2.40a}$$

■ (2.40a)

[REDACTED]

[REDACTED]

$$\frac{1}{\beta^*} = \frac{1}{\beta_1^*} + \frac{1}{\beta_2^*} \quad (2.40b)$$



[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Một bề mặt bao gồm một số lượng lớn các trạng độ chiều dài của nó nhằm
nồng lên nhau. Như đã nói ở trên, độ nhám bề mặt thường được đặc trưng
bởi độ lệch chuẩn của độ cao bề mặt. Tuy nhiên, độ linh hoạt multiscale (đa
mạng độ, đa kích thước) của bề mặt, thường sai của
mức cao bề mặt và các đặc tính của nó cũng các tham số độ nhám khác phụ
h thuộc mạnh vào độ chính xác của công cụ đo độ nhám hoặc bất kỳ
độ đo độ nhám. độ đo chung không duy nhất đối với một bề mặt (Lian and
Shinshar, 1995; Poon and Bhushan, 1995a), vì vậy, bề mặt nhám trên quốc
t tế, các thông tin về cấu trúc của độ nhám ở tất cả
các thang đo được giữ lại.

[Redacted text block]

Một hình ảnh của bề mặt nhám là nếu bề mặt được phóng đại
thì tần số chi tiết của độ nhám được quan sát xuống đến cấp độ năng
lượng vào độ đo nhám ở tất cả các độ phóng đại. Nó là tương đồng về
cấu trúc như trong hình 2.18. Một trạng thái như vậy có
thể được mô tả bằng hình học fractal (Majumdar and Bhushan, 1990; Ganji
and Bhushan, 1995; Bhushan, 1999b). Phân tích fractal có khả năng mô tả
độ nhám bề mặt, các tham số không phụ thuộc thang đo, và cung cấp
thông tin về cấu trúc nhám ở tất cả các thang, miễn là
fractal. Các đặc tính bề mặt có thể được dự đoán ở tất cả các thang, miễn
là trong chế độ fractal bằng cách đo tại một độ dài nhất định.

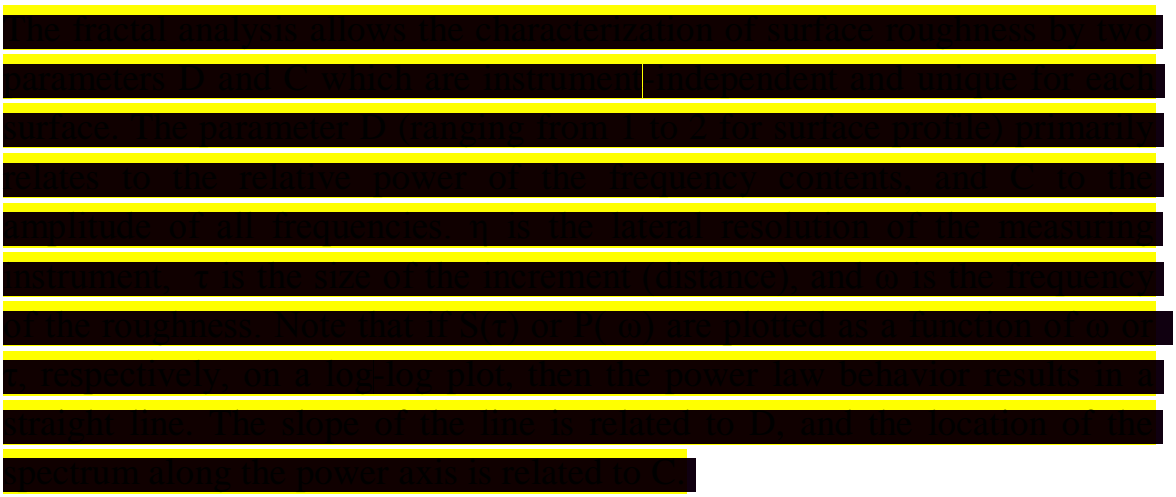
[Redacted text block]

làm cấu trúc và phổ năng lượng của một bề mặt fractal tự affine
và (xem hình Ganji and Bhushan).

$$S(\tau) = C\eta^{(2D-3)}\tau^{(4-2D)} \quad (2.41)$$

$$P(\omega) = \frac{c_1\eta^{(2D-3)}}{\omega^{(5-2D)}} \quad (2.42a)$$

$$c_1 = \frac{\Gamma(5-2D)\sin[\pi(2-D)]}{2\pi} C \quad (2.42b)$$



mặt tích phân cho phép [redacted] mặt số D và C [redacted]
 [redacted] mặt số D thay đổi từ $1/2$ [redacted] profile bề mặt chủ yếu liên quan
 đến cường độ trung bình của [redacted] lần số và L với biên độ của tất cả các lần
 [redacted] là độ [redacted] mà thiết bị đo r là độ lớn của các lần tăng khoảng
 [redacted] và r là lần số của độ nhám. Lưu ý rằng nếu S (t) hoặc P (t) được [redacted]
 [redacted] \ln hoặc τ trên một đồ thị log-log thì [redacted]
 [redacted] Độ dốc (hệ số góc) của đường thẳng liên
 quan tới D , và vị trí của phổ dọc theo trục năng lượng liên quan đến C .