

Исследование возможностей применения установки MarSurf Xr 20 для фрактального анализа поверхности

Studying the possibilities of the application of MarSurf Xr20 installation for fractal surface analysis

Ивлева Д.М.

магистрант кафедры «Стандартизация, метрология и сертификация» Московского Политеха

Ivleva D.M.

Master's Degree Student, department "Standardization, Metrology and Certification", Moscow Polytech

Бавыкин О.Б.

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Стандартизация, метрология и сертификация» Московского Политеха

Bavykin O.B.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, department "Standardization, Metrology and Certification", Moscow Polytechnic

Аннотация

Традиционные параметры шероховатости не всегда адекватно описывают свойства коэффициента трения, а средством измерения фрактальной размерности поверхности практически единственным является СЗМ, который имеет свои недостатки. В статье изучена конструкция и программное обеспечение установки MarSurf XR20, показана ее пригодность для реализации метода результата фрактального анализа.

Ключевые слова: фрактальный анализ, установка MarSurf XR 20, сканирующий зондовый микроскоп, метод Херста, фрактальная размерность.

Abstract

Traditional roughness parameters do not always adequately describe the properties of the friction coefficient, and the SPM, which has its drawbacks, is almost the only means of measuring the fractal dimension of the surface. The article studies the design and software of the Marsurf XR20 installation, shows its suitability for the implementation of the method, the results of fractal analysis.

Keywords: fractal analysis, MarSurf XR 20 setup, scanning probe microscope, Hurst method, fractal dimension.

Фрактальная размерность является одним из способов определения размерности множества в метрическом пространстве. Всего лишь в XIX в. появились примеры первых фрактальных множеств. До этого все геометрические фигуры объяснялись евклидовой геометрией, которая, в свою очередь, не в силах описать сложные геометрические фигуры, т.к. объяснение объектов природы классическими приемами вызывают потерю весомой части ценной информации. Потеря информационной составляющей обуславливается тем, что характер поведения элементов окружающего мира подчиняется

степенному закону распределения вероятностей с «тяжелым хвостом» (паретиана), который достигает стабильной величины порядка 10–20%.

Большой труд о фрактальной геометрии, а также фрактальной размерности написал канд. техн. наук В.К. Балханов. В его работе была описана фрактальная размерность природных объектов, а именно: озер России, рек, растительности и других природных объектов. Например, методику определения фрактальной размерности можно применить к оценке состояния тундровых озер и связать их изменчивость с изменением климата.

В статье Д.В. Белькова «Методы определения фрактальной размерности рельефа обработанной поверхности» рассматривается взаимосвязь фрактальной размерности и эксплуатационные свойства поверхности. Это говорит о том, что взаимосвязь между данными понятиями существует.

Назначая класс шероховатости на чертежах до 1975 г., разработчик ориентировался только на высотные параметры R_a и R_z . Однако многочисленными исследованиями установлено, что поверхности, полученные различными методами обработки, имеют профиль не только разной высоты, но и различной формы, оказывающей влияние на эксплуатационные свойства поверхностей.

Традиционные параметры шероховатости также не всегда точно описывают коэффициент трения. Ряд исследователей утверждают, что с увеличением нагрузки коэффициент трения уменьшается, в других работах отмечается с увеличением нагрузки его возрастание. Следует отметить, что авторы всех упомянутых работ правы, так как всё зависит от величины шероховатости контактирующих поверхностей и условий контактного взаимодействия поверхностей.

Производство микрочипов требует подачи нейтральных газов через сверхчистые трубы и соединения. Для лучшего результата необходимо минимизировать загрязнение газов – чистота внутренних поверхностей трубопроводов является критической. Так как малейшие дефекты поверхности могут удерживать загрязнения и препятствовать очистке, то требуется очень малая шероховатость.

R_a – наиболее распространенный параметр шероховатости в США, обычно измеряется на пяти базовых длинах.

Производители сверхчистых труб обнаружили, что этого недостаточно и захотели знать состояние поверхности трубы на всей поверхности.

Поэтому они разработали специальную серию параметров шероховатости, показанных на рис. 1, и метод измерения, чтобы определить усредненное значение R_a .

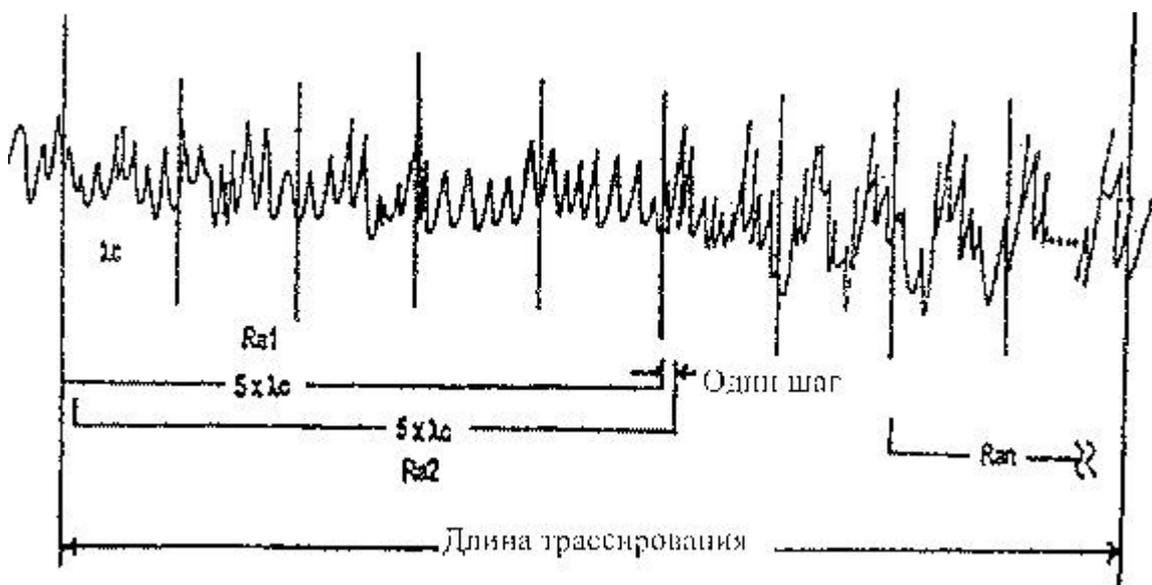


Рис. 1. Параметры шероховатости для ультрочистых труб

Новыми параметрами являются:

– RaCA (continuously average) постоянно среднее. Это среднее значение из n значений Ra, рассчитанных на пяти отсечках шага, со сдвигом сегмента ($5 \times \lambda_c$) вдоль длины трассирования на один шаг сдвига.

$$RaCA = (Ra_1 + Ra_2 + \dots + Ra_n) / n \quad (1)$$

– RaCH (continuously high) постоянно усредняемое наибольшее значение Ra – это наибольшее значение Ra, выявленное на пяти отсечках шага со сдвигом сегмента ($5 \times \lambda_c$) вдоль линии трассирования.

– RaCL (continuously low) постоянно усредняемое наименьшее значение Ra – это наименьшее значение Ra, выявленное на пяти отсечках шага, со сдвигом сегмента ($5 \times \lambda_c$) вдоль линии трассирования.

Этот метод не признан никакими национальными или международными комитетами стандартов, однако, включен в отраслевой стандарт. Учитывая спрос промышленности на прибор с такими характеристиками, одна фирма-производитель приборов разработала специальную программу для обработки результатов измерений и включила ее в существующий прибор для измерения шероховатости.

Шероховатость обработанной поверхности является одним из важнейших факторов, которые определяют качество обработки и оказывают влияние на эксплуатационные свойства деталей и узлов. Профиль шероховатости поверхности имеет сложную структуру и до сих пор не создано системы параметров, которые бы в полной степени отражали его строение и свойства. Данная проблема усугубляется в том случае, когда возникает необходимость построения математической модели профиля шероховатости поверхности. Эффективным решением может являться использование аппарата фрактальной геометрии, который позволяет выявлять структурные особенности объектов с различной природой. Одним из центральных понятий фрактальной геометрии является размерность, которая является мерой самоподобия объекта. Существует несколько методов определения данной величины: определение фрактальной размерности геометрическим методом, при помощи спектра мощности, методом нормированного размаха, методом максимумов модулей вейвлет-преобразования. В работах Овсянникова¹ на примере анализа фрактальной размерности профилей поверхностей, обработанных точением, было установлено, что наибольшей точности определения фрактальной размерности можно добиться при использовании метода нормированного размаха. В работах Овсянникова² было показано, что профили шероховатости при точении и выглаживании имеют схожую структуру, поэтому для анализа профилограмм выглаженных поверхностей также будем использовать данный метод.

Для определения шероховатости поверхности используется сканирующий зондовый микроскоп. Принцип его работы заключается в том, что взаимодействует с поверхностью образца и создаёт трехмерное изображение поверхности с высоким разрешением. Данный микроскоп был изобретён в 1981 г. Гердоном Карлом и Генрихом Рорером. Сканирующий зондовый микроскоп имеет три вида микроскопов: сканирующий туннельный микроскоп, атомно-силовой микроскоп и сканирующий ближнепольный микроскоп. При своих характеристиках СЗМ имеет ряд недостатков. Один из них: перемещаясь по плоскости образца, зонд частично повреждает поверхность образца.

¹ Овсянников В.Е., Остапчук А.К. Научные основы обеспечения шероховатости поверхности на базе анализа случайных процессов: монография. - Курган, изд-во Курганского гос. ун-та, 2012. – 252 с.

² Овсянников В.Е., Губанов В.Ф. Марфицын В.В. Инновации при выглаживании с жестким закреплением индентора: Монография. - Lambert academic publishing, Germany, Saabrucken, 2012. – 224 с.

Другим минусом является квантовый принцип неопределённости, гласящий, что определение одновременно импульса и координаты объекта исследования, возможно только с определённой точностью, заставляет увеличивать импульс регистрирующих частиц (энергию), что связано с созданием специальных технологий. Увеличение импульса регистрирующих частиц (например, электроны в ПЭМ достигают энергий до 1000 КэВ) создаёт проблемы с устойчивостью объекта к разрушению. Стоимость сканирующего зондового микроскопа также является недостатком, т.к. не все научные лаборатории могут приобрести данный микроскоп. Для сканирования образца необходимо проводить специальную его подготовку. Недостаток этого способа заключается в том, что его нельзя применить для исследования крупногабаритных объектов из-за использования низкотемпературной плазмы.

R/S-анализ, в рамках которого определяется показатель Херста, является наиболее распространенным приемом фрактального анализа временного ряда. Популярность объясняется двумя причинами: во-первых, метод Херста основан на фундаментальной работе Альберта Эйнштейна о броуновском движении частиц; во-вторых, многие фракталы являются модификациями броуновского движения.

Для изучения различных вариантов временных рядов Херст предложил следующую зависимость (формула 1.1):

$$\frac{R}{S} = (\alpha\tau)^H, \quad (1.1),$$

где α – постоянная величина (Херст предложил $\alpha=1$);

τ – число наблюдений (элементов временного ряда);

H – показатель Херста;

R – размах накопленного отклонения;

S – стандартное отклонение.

Размах накопленного отклонения R определяется как разность между максимальным и минимальным значениями из массива накопившихся отклонений (формула 1.2).

$$P = X_{\max} - X_{\min} \quad (1.2).$$

Стандартное отклонение ряда наблюдений вычисляется как квадратный корень из дисперсии (формула 1.3).

$$\sigma = \sqrt{M[X - M(X)]^2} \quad (1.3).$$

Для получения этого показателя по выборке используют формулу:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}{n}} \quad (1.4).$$

Значение показателя H определяется:

– вычислением тангенса угла наклона функции $\frac{R}{S}$ от τ , построенной в двойных логарифмических масштабах;

– вычислением по формуле 1 (выражением параметра H из указанной формулы).

По определенным значениям H можно:

– определить вид броуновского движения: фрактальное, при $H = 0 \dots 0,5$ и при $H = 0,5 \dots 1$; нефрактальное или вырожденное фрактальное, при $H = 0$; $0,5$; 1 ;

– установить наличие зависимости «прошлого» от «будущего»: марковский процесс при $H = 0,5$; немарковский процесс при $H = 0 \dots 0,5$ и при $H = 0,5 \dots 1$;

– оценить зависимость «прошлого» в «будущем»: персистентная корреляция при $H = 0,5 \dots 1$; антиперсистентная корреляция при $H = 0 \dots 0,5$;

– определить возможность предсказания поведения объекта в будущем: предсказание возможно при $H = 0 \dots 0,5$ и при $H = 0,5 \dots 1$;

– определить вид шума: розовый шум при $H = 0 \dots 0,5$; белый шум при $H = 0,5$; черный шум, если $H = 0,5 \dots 1$.

Марковский процесс – случайный процесс, эволюция которого после любого заданного значения временного параметра не зависит от эволюции, предшествовавшей этому заданному значению при условии, что значение процесса в этот момент фиксировано. В немарковском процессе его «будущее» зависит от его «прошлого».

При антиперсистентной корреляции проявляется «возврат к среднему», т.е. если в исследуемой динамике наблюдался рост регистрируемого параметра, то, скорее всего, в следующий период времени произойдет его убывание и, наоборот. Устойчивость реверсионного поведения зависит от того, насколько близок показатель Херста к нулю. Персистентный характер поведения временного ряда характеризуется высокой трендоустойчивостью сигналов, наличием долговременных корреляций между событиями настоящими и последующими.

Кроме того, если говорить о поверхностях, то при:

– $H = 0$ поверхность соответствует очень неровной, искаженной, зазубренной текстуре;

– $H = 0,5$ распределение элементов поверхности описывается гауссовой статистикой;

– $H = 1$ поверхность гладкая со слабыми осцилляциями;

– $H = 0 \dots 0,5$ и $H = 0,5 \dots 1$ поверхность фрактальна.

В Инженерном вестнике Дона, №2 (2017), опубликована статья «Исследование точности фрактальной обработки данных в компьютерной», автором которой является О.Б. Бавыкин³. Автор выдвинул рабочую гипотезу о причинах расхождения экспериментальных данных от теоретических и заданных компьютерной программой Fractan:

– ошибки в алгоритме моделирования данных;

– ошибки в алгоритме расчета параметра H ;

– влияние коэффициента α , используемого в формуле R/S-анализа (согласно исследованиям для R/S-анализа наилучшим образом подходит $\alpha=0,8$; $\alpha=1,1$ и $\alpha=1,3$).

Для проверки выдвинутой гипотезы разработано фрактальное программное обеспечение для анализа данных, рассчитан в нем показатель Херста, и полученные результаты сравнены с результатами расчетов в программе Fractan.

Система для измерений шероховатости поверхности MarSurf XR 20 предназначена для измерений параметров шероховатости поверхностей изделий, сечение которых в плоскости измерения представляет прямую линию (образующие цилиндрических поверхностей; отверстия; плоские поверхности).

Область применения прибора – цеха и лаборатории промышленных предприятий различных отраслей машиностроения, научно-исследовательские институты, метрологические центры.

Прибор представляет собой контактное устройство для измерений параметров шероховатости поверхности. На гранитной плите смонтирована массивная колонна с высокоточными направляющими, на которой крепится привод с установленным в нем датчиком. Деталь крепится на специальной столике или непосредственно на плите. Компьютер подключен к датчику, приводам и элементам управления перемещениями. Управление всеми автоматизированными перемещениями осуществляется при помощи меню на экране монитора с «подсказками» и мышки.

Действие прибора основано на принципе ощупывания неровностей исследуемой поверхности алмазной иглой (щупом) и преобразования возникающих при этом механических колебаний щупа в изменения напряжения, пропорциональные этим

³ Инженерный вестник Дона, №2 (2017) Бавыкин О.Б. «Исследование точности фрактальной обработки данных в компьютерной программе Fractan»
http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_108_bavykin.pdf_99b786585e.pdf

колебаниям, которые усиливаются и преобразуются в микропроцессоре. Результаты измерений выводятся на монитор компьютера для выполнения дальнейших расчетов.

Измерительный преобразователь прибора представляет собой индуктивный датчик. Для расширения области использования прибор снабжен набором щупов, которые различаются размером, формой удлинителя, что позволяет измерять шероховатость в отверстиях диаметром от 3 мм, в канавках, на профилях зубчатых колес.

Последовательность выполнения действий при исследованиях стальных образцов в программах MarWin и Fractan показана в линейном алгоритме.

Чтобы реализовать идею совместного использования MarSurf XR20 и Fractan, необходимо сохранить результаты измерения профиля в виде значений временного ряда. Для этого нужно выбрать текстовый формат сохранения результатов.

Прежде чем импортировать полученные результаты во Fractan, их формат следует преобразовать в программном продукте Microsoft Excel.

По инструкции, разработанной Зайцевым С.А., Бавыкиным О.Б., Вячеславовой О.Ф. и Плаксиным С.В. в рамках методологии выполнения лабораторной работы по дисциплинам «Методы и средства измерения и контроля», в программе MarWin создается алгоритм проведения измерений параметров шероховатости поверхности. Алгоритм программируется таким образом, чтобы итоговый отчет содержал информацию об исследуемой детали. Необходимыми параметрами алгоритма являются: оцениваемые параметры шероховатости, допуски, скорость измерения и длина трассирования. Программа позволяет настраивать, проводить измерения, а также обрабатывать и представлять результаты в рамках работы установки MarSurf XR20.

Литература

1. *Бавыкин О.Б.* «Исследование точности фрактальной обработки данных в компьютерной программе Fractan», Инженерный вестник Дона. – №2. – 2017.
2. *Бавыкин О.Б., Плаксин С.В., Вячеславова О.Ф.* Фрактальный анализ профиля поверхности деталей машин с применением измерительной установки Marsurf XR20 Известия Московского государственного технического университета МАМИ, 2014
3. *Бельков Д.В.* Методы определения фрактальной размерности рельефа обработанной поверхности. URL: <http://ptsm.donntu.org/arhiv%20nambe/37%20pdf/014-019.pdf>
4. *Овсянников В.Е., Губанов В.Ф., Марфицын В.В.* Инновации при выглаживании с жестким закреплением индентора: Монография. - Lambert academic publishing, Germany, Saabrucken, 2012. – 224 с.
5. *Овсянников В.Е., Остапчук А.К.* Научные основы обеспечения шероховатости поверхности на базе анализа случайных процессов: монография. - Курган, изд-во Курганского гос. ун-та. – 2012. – 252 с.