

Величина углового смещения определяется по известной формуле $\varphi = \varphi_0 \cos pt + \frac{\varphi_0^1}{p} \sin pt$, являющейся общим решением уравнения крутильных колебаний, что учитывается в аргументе ω дальнейших расчетов постоянной и переменной составляющей сил резания:

$$P_0 = P(\omega, v, h_0, \chi_1, \chi_2) \quad (2)$$

$$P_1 = \frac{\partial P(\omega, v, h_0, \chi_1, \chi_2)}{\partial \mathfrak{S}} \quad (3)$$

Таким образом, исследование влияния жесткостных и динамических характеристик элементов технологической системы комбинированной обработки позволяет определить пути дальнейшего усовершенствования конструкций инструмента и создания новых методов обработки.

Литература

1. Максимов Ю.В., Анкин А.В. Образование погрешности при комбинированной обработке нежестких валов. – «Автомобильная промышленность», 1995, № 9, с. 28-31.
2. Анкин А.В. Тангенциальные колебания при совмещении резания и поверхностного пластического деформирования нежестких валов. Реферируемый журнал «Известия МГТУ «МАМИ», № 2 (14), Т. 2, 2012, с. 7-10.
3. Анкин А.В., Максимов Ю.В., Матяш В.И. Математическое моделирование формообразования деталей класса нежестких валов. – «Вестник машиностроения», 1997, № 3, с. 27-30.
4. Максимов Ю.В., Логинов Р.В. Моделирование комбинированной обработки нежестких валов. «Химическое и нефтегазовое машиностроение», 1998, № 9-10, с. 61-63.
5. Максимов Ю.В., Анкин А.В. Theory and Practice of Technology for Machining Non-Rigid Smooth Shafts in Reconfigurable Production (Теория и практика обработки нежестких валов в реконфигурируемом производстве) Монография. Reconfigurable Manufacturing systems and transformable Factories. Под ред. А.И. Дащенко. Изд. «Springer-Verlag Berlin Heidelberg», 2006, с. 544-568.

Взаимосвязь свойств поверхности и ее фрактальной размерности

Бавыкин О.Б., д.т.н. проф. Вячеславова О.Ф.
 Университет машиностроения
 smis@mami.ru

Аннотация. В статье проведен анализ результатов исследований взаимосвязи фрактальной размерности поверхности объекта с ее свойствами и его функциональными параметрами. В результате анализа предложена таблица, описывающая характер взаимосвязи.

Ключевые слова: фрактальный анализ, фрактальная размерность, свойства поверхности, шероховатость

Изучение взаимосвязи свойств поверхности и ее геометрических характеристик имеет давнюю историю, однако проблемы качества поверхности продолжают существовать и, более того, приобретают особую актуальность в связи с созданием новых технологий обработки материалов.

Они отчетливо проявляются в области нанотехнологий, для которых шероховатость рассматривается не как вторичная характеристика, являющаяся «откликом» структуры поверхностного слоя на воздействие того или иного физического процесса, а как свойство самой структуры.

Кроме того, форма элементов шероховатости, возникающие на поверхности при воздействии на материал концентрированными потоками энергии, как правило, сильно отлича-

ется от традиционного представления шероховатости как о периодическом чередовании выступов и впадин, описываемых в рамках евклидовой геометрии [1].

В связи с этим актуальна задача разработки и применения новых подходов в оценке свойств поверхности. Одним из возможных направлений поиска таких подходов является использование теории фракталов и разработанного на ее основе фрактального анализа, а в качестве оценочного количественного параметра – фрактальной размерности D .

Это подтверждается рядом исследований. Одно из них [2] показало зависимость фрактальной размерности и триботехнических характеристик (в частности коэффициента трения) алмазоподобных покрытий после разного числа циклов трения. В то же время авторы не выявили корреляций между параметром шероховатости R_a и коэффициентом трения от числа циклов испытаний.

В работах [3, 4] в ходе экспериментальных исследований были получены зависимости фрактальной размерности поверхности полимерных образцов от вязко-упругих характеристик наполненного полимера (смолы ЭД-20) (рисунок 1). Кроме того, те же авторы исследовали корреляции фрактальной коразмерности и динамического модуля упругости E' смолы ЭД-20, наполненной ультрадисперсным порошком алмазографита УДП-АГ и порошком оксида алюминия Al_2O_3 (рисунок 2). Анализ зависимости ударной вязкости A_p от фрактальной размерности D наполненного полимера показывает, что для обеих систем ЭД-20+УДП-АГ и ЭД-20+ Al_2O_3 с ростом фрактальной размерности наблюдается падение ударной вязкости.

Для системы ЭД-20+УДП-АГ падение A_p можно объяснить тем, что с повышением параметра D происходит увеличение «возмущения» структуры, вызванное наличием агломератов, которые при ударных нагрузках будут являться концентраторами напряжений. Для системы ЭД-20+ Al_2O_3 большую роль будет играть форма частиц – чешуйка. Важным моментом будет расположение частицы, определяющее распределение напряжений.

Анализ зависимости динамического модуля упругости E' для систем ЭД-20+УДП-АГ и ЭД-20+ Al_2O_3 от фрактальной коразмерности D показывает, что с ростом параметра D значение модуля упругости увеличивается. Это объясняется тем, что с увеличением «изрезанности» структуры уменьшается гибкость статистической цепи, то есть затрудняется молекулярная подвижность.

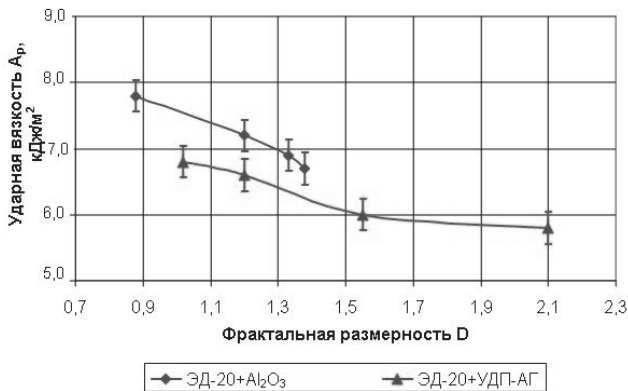


Рисунок 1. Зависимость ударной вязкости A_p от фрактальной размерности D наполненного полимера

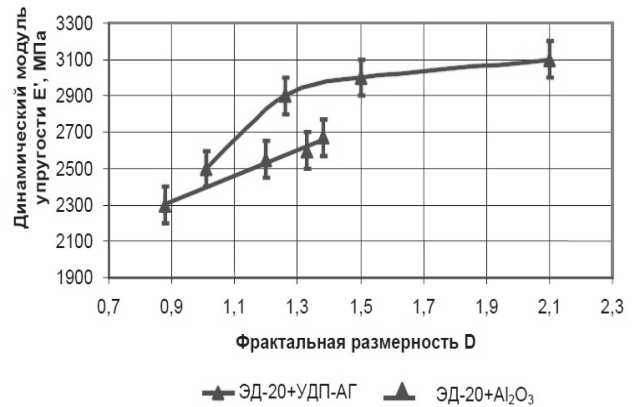


Рисунок 2. Зависимость динамического модуля упругости E' от фрактальной коразмерности D поверхности структур

В работе [5] выполнен фрактальный анализ поверхности вольфрама, которая была обработана процессом электрохимического растворения в системе вода - моноэтаноламин (МЭА) - хлорид натрия. При этом варьировалась концентрация МЭА, что позволило управлять степенью растравливания поверхности металла и тем самым получить различную шероховатость. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что при увеличении концентрации МЭА фрактальная размерность поверхности металла снижается, то есть скорость растравливания поверхности уменьшается. Авторы полученные данные качественно подтверждают ви-

дом соответствующих профилограмм, а также результатами измерения высот микронеровностей на поверхности вольфрама после его анодной обработки в растворах с различным содержанием моноэтаноламинами.

Таблица 1

Влияние концентрации МЭА в рабочем растворе на фрактальную размерность D поверхности вольфрама

Раствор	Фрактальная размерность D	R_z , мкм
1 M NaCl	2,548	2,80
1 M NaCl + 1M МЭА	2,227	0,38
1 M NaCl + 6M МЭА	2,156	0,18

В работе [6] для полимеров, синтезируемых в тлеющем разряде пониженного давления, было обнаружено, что величина фрактальной размерности и толщина формируемого полимера взаимосвязаны – снижение толщины характеризуется уменьшением значения параметра D .

В серии экспериментов [7] образцы мартенситной стали марки 300 были подвержены тепловой обработке при разной температуре. На следующей стадии измерялось количество энергии, которую необходимо вложить, чтобы разрушить образцы, и определялась фрактальная размерность поверхности разлома. На рисунке 3 представлены полученные результаты. Видно, что фрактальные размерности, заключенные в пределах 2,1-2,28, линейно зависят от вложенной энергии. Таким образом, увеличение значений фрактальной размерности способствует повышению долговечности металлов и сплавов ввиду того, что развитая «изрезанная» граница зерна распределяет нагрузку более равномерно, амортизируя её.

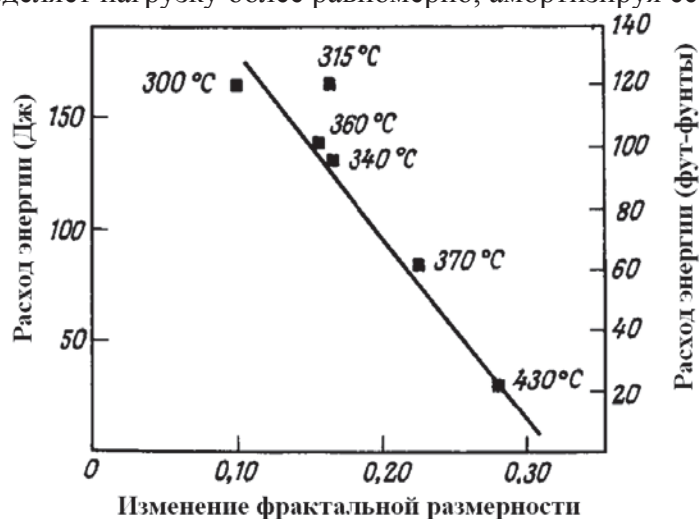


Рисунок 3. Связь измеренной фрактальной размерности поверхности разлома D и энергии, необходимой для разлома серии образцов мартенситной стали марки 300, закаленных при различных температурах

Анализируя все отмеченные выше взаимосвязи фрактальной размерности и свойств поверхности, можно выделить характер корреляции для каждого случая (таблица 2).

Заключение

Таким образом, в результате проведенного анализа научных работ можно заключить, что фрактальная размерность поверхности (параметр D) может использоваться для определения эксплуатационных свойств деталей. Такой подход особенно актуален для материалов, полученных нетрадиционными современными методами обработки [1, 8-10].

Отмеченный в таблице 2 характер корреляции фрактальной размерности и свойств поверхности дают основания для разработки многомерной шкалы [11, 12]. Это позволит, имея на выходе один параметр (фрактальную размерность), адекватно оценивать структурно-динамические характеристики поверхности и при необходимости менять параметры режима обработки в соответствии с заданными требованиями.

Зависимости фрактальной размерности и свойств поверхности

Свойство поверхности		Характер зависимости от параметра D
Триботехнические характеристики (коэффициента трения)		При уменьшении фрактальной размерности значение коэффициента трения увеличивается
Вязко-упругие характеристики	ударная вязкость	С повышением фрактальной размерности наблюдается падение ударной вязкости
	динамический модуль упругости	С ростом фрактальной размерности значение модуля упругости увеличивается
Физико-химические характеристики (степень растравливания)		При снижении параметра D происходит снижение скорости растравливания поверхности при обработке ее методами размерной ЭХО
Коррозионная стойкость		Увеличение значений фрактальной размерности обработанной поверхности приводит к снижению коррозионной стойкости
Долговечность		Рост значений фрактальной размерности способствует повышению долговечности
Качество поверхности		Повышение параметра D характеризует увеличение характеристик Ra , Rz .

Литература

1. Потапов А.А., Булавкин В.В., Герман В.А., Вячеслава О.Ф. Исследование микрорельефа обработанных поверхностей с помощью методов фрактальных сигнатур // ЖТФ. 2005. Т. 75, № 5. с. 28 – 45.
2. Киселевский О.С. Методика мультифрактального анализа поверхностей по данным атомно-силовой микроскопии // БелСЗМ, № 4, 2000. с. 31-40.
3. Рогалев А.В. Прогнозирование свойств композиционного материала, наполненного наноразмерными частицами в рамках фрактально-кластерного подхода / А.В. Рогалев, С.А. Хвостов, Е.С. Ананьева, В.Б. Маркин // Ползуновский вестник. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. №3. с. 98–104.
4. Рогалев А.В. Влияние ультрадисперсных частиц на формирование структуры и уровень эксплуатационных свойств КМ: автореф. дис. кан. техн. наук. – Барнаул, 2007. 18 с.
5. Носков А.В., Балмасов А.В., Козлова Н.Б., Лилин С.А. Фрактальные свойства поверхности вольфрама по данным импедансной спектроскопии границы раздела металл-раствор // Журн. физ. химии. 2003. Т. 77. с. 2081.
6. Сафонов А.А. Кинетика формирования и свойства нано- и микроструктур полимеров, синтезируемых в тлеющем разряде пониженного давления в парах адмантана и его производных: автореф. дис. кан. техн. наук. – Самара, 2012. 20 с.
7. Mandelbrot B.B., Passoja D.E., Paullay A.J., Fractal character of fracture surfaces of metals. Nature, v. 308, n. 19, April, p. 721-722, 1984.
8. Забельян Д.М., Рогов В.В., Митрюшин Е.А., Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П. Скоростная электроэрозионная обработка пазов системы охлаждения жаровой трубы камеры сгорания // Металлообработка, №3, 2012. с. 14–19.
9. Бавыкин О.Б., Вячеслава О.Ф. Формирование наименьшего значения шероховатости поверхности деталей машин на основе выбора оптимальных режимов размерной электрохимической обработки // Известия МГТУ «МАМИ». - 2010. - № 2 (10). с. 102-107.
10. Вячеслава О.Ф., Бавыкин О.Б. Применение фрактального анализа для описания и оценки стохастически сформированных поверхностей // Известия МГТУ «МАМИ». – 2012. - № 2 (14), Т. 2. с. 61-63.
11. Бавыкин О.Б. Оценка качества поверхности машиностроительных изделий на основе комплексного подхода с применением многомерной шкалы // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2012. Т. 1. № 1. с. 139-142.

12. Бавыкин О.Б. Фрактальная многомерная шкала, предназначенная для управления режимом размерной ЭХО и оценки его выходных данных // Известия МГТУ «МАМИ». – 2012. - № 2 (14), Т. 2. - с. 218-219.

Особенности расчета кулачково-зубчато-рычажных механизмов с упругим элементом и фиксированным выстоем выходного звена

доц. Балабина Т.А., проф. Мамаев А.Н., Симбирцев И.Н.
Университет машиностроения
8(495)2230523 – доб. 1390, tmm@mami.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности кулачково-зубчато-рычажных механизмов с упругим элементом, обеспечивающие фиксированный выстой выходного звена; в сжатом виде излагается методика кинематического и силового расчет таких механизмов.

Ключевые слова: зубчато-рычажный механизм, кинематический расчет, силовой расчет, упругий элемент, фиксированный выстой

Среди многообразия механизмов, применяемых для воспроизведения периодического поворота, особое место занимают зубчато-рычажные механизмы, обеспечивающие периодический поворот выходного звена с выстоем без разрыва кинематической цепи. Однако выстой в этих механизмах приближенный и сопровождается некоторым обратным поворотом выходного звена. Известные способы устранения или уменьшения угла обратного поворота не обеспечивают кинематически точного выстоя [1].

Между тем введение в состав механизма упругого элемента [2, 3, 4, 5] позволяет зафиксировать выходное звено на участке выстоя и таким образом получать точный выстой.

В работе [2] был предложен кулачково-зубчато-рычажный механизм, в котором для обеспечения фиксированного выстоя шатун ВС выполнен из двух частей 2 и 2', соединенных между собой упругим элементом. Причем упругий элемент - спиральная пружина сжатия - установлен таким образом, что как укорочение, так и удлинение шатуна по сравнению с его исходной длиной требует превышения силой, действующей вдоль линии шатуна, силы предварительного натяга пружины, т. е. предложенное устройство обеспечивает предварительный натяг двухстороннего действия.

В работах [3, 4, 5] предложены кулачково-зубчато-рычажные механизмы, в которых упругий элемент соединяет между собой кривошип и зубчатое колесо, свободно установленное на подвижном шарнире кривошипа [3]; зубчатые колеса, установленные на подвижном шарнире коромысла; зубчатое колесо и поворотный диск, свободно установленные на неподвижном шарнире коромысла.

В период движения выходных звеньев механизмов [3, 4, 5] силы взаимодействия звеньев, соединенных упругим элементом, меньше силы выбранного предварительного натяга упругого элемента, и поэтому эти звенья движутся как одно целое. В период выстоя принудительная остановка выходного звена приводит к превышению силы предварительного натяга упругого элемента, в результате происходит относительное движение звеньев, связанных упругим элементом, что позволяет механизмам продолжать движение при остановленном звене.

Специфика кинематического и силового расчета предложенных механизмов зависит от расположения упругого элемента. В тех случаях, когда он введен между зубчатыми колесами или зубчатым колесом и звеном рычажного механизма, не возникает затруднений и расчеты выполняются традиционными методами. Однако, когда упругий элемент введен в рычажную цепь механизма, такие расчеты в период выстоя выходного звена требуют применения нестандартных приемов, которые представляют интерес.

Последовательность кинематического расчета механизма, у которого при фиксированном выходном звене рычажная цепь имеет две степени свободы, и ее кинематика не может рассматриваться в отрыве от зубчатых передач, вносящих определенность в движение вышеле-