

Фрактальная многомерная шкала, предназначенная для управления режимом размерной ЭХО и оценки его выходных данных

77-48211/596038

07, июль 2013

Бавыкин О. Б.

УДК. 006.91

Россия, Москва, Университет машиностроения (МАМИ)

Ray86@list.ru

Применение новых технологий обработки деталей (методов модификации и упрочнения поверхности; методов, значительно снижающих трудоемкость сложного формообразования – размерной электрохимической обработки [1]) потребовало разработки и применения нового подхода в технологическом обеспечении изготовления деталей вафельной конструкции с заданными эксплуатационными свойствами.

Анализ методов оценки параметров поверхностного слоя с целью расширения возможности управления ими в процессе обработки показал, что все они базируются на понимании поверхности как статического объекта, являющегося «следом» инструмента на обрабатываемой поверхности [2].

Подход, основанный на современных представлениях о формировании поверхности как динамической структуры, позволяющей связать структурные и геометрические параметры поверхности через категорию фрактальности, призван решить проблемы традиционных методов оценки свойств поверхности [3].

Возможная реализация такого подхода заключается в создании фрактальной многомерной шкалы для комплексной оценки характеристик структуры на основе их взаимосвязи с параметром D. В работе [4] авторами предложен первый вариант подобной многомерной шкалы, которую в данной статье предлагается расширить и уточнить по результатам проведенных исследований.

Окончательный состав многомерной шкалы следующий:

- шкала коэффициента асимметрии закона распределения высот элементов ЭХО-поверхности ($\sqrt{\beta_1}$);
- шкала кривизны закона распределения высот элементов ЭХО-поверхности (β_2);

- шкала фрактальной размерности (D);
- шкала температуры электролита ($T_э$);
- шкала скорости подачи катода (V_k);
- шкала геометрического параметра шероховатости (R_a);
- шкала скорости растравливания по границам зерен (F);
- шкала толщины (наличия) оксидной пленки (L).

В работе [5] предложена методика оценки фрактальности объекта. Для удобства использования этой методики применительно к ЭХО-поверхности в многомерную шкалу включены шкалы коэффициента асимметрии ($\sqrt{\beta_1}$) и кривизны (β_2).

В соответствии с работой [5], поверхность не проявляет фрактальные свойства в том случае, когда закон распределения высот неровностей поверхности соответствует:

- нормальному распределению;
- экспоненциальному распределению;
- трапецеидальному распределению (с частными случаями равномерного и треугольного распределения).

Во всех остальных случаях поверхность, после размерной электрохимической обработки, относится к фракталам, так как вершины рельефа поверхности распределены по степенному закону.

Если подсчитанные значения параметра $\sqrt{\beta_1}$ попадают в интервал от -0,06 до 0,06 и при этом значение характеристики β_2 находится в диапазоне от 2,89 до 3,12, то характер поведения высот неровностей ЭХО-поверхности соответствует нормальному закону (при уровне значимости $Q=5\%$ и выборки $n = 5000$), и, следовательно, образец не проявляет фрактальных свойств.

Для равномерного распределения характерны следующие значения коэффициента асимметрии и кривизны:

- $\sqrt{\beta_1} = 0$;
- $\beta_2 = 1,8$.

Треугольное распределение (распределение Симпсона) обладает:

- $\sqrt{\beta_1} = 0$;
- $\beta_2 = 2,4$.

Стоит отметить, что коэффициент асимметрии ($\sqrt{\beta_1}$) для всех трапецеидальных распределений равен нулю, а кривизна (β_2) меняется от 1,8 до 2,4.

Для теоретического экспоненциального распределения параметры следующие:

- $\sqrt{\beta_1} = 2$;

- $\beta_2=9$.

Таким образом, если для ЭХО-поверхности значение коэффициента асимметрии лежит в интервал от -0,06 до 0,06 и при этом значение характеристики β_2 находится в диапазоне от 1,8 до 2,4 или от 2,89 до 3,12, то структура нефрактальна. Фрактальные свойства так же не проявляются и в том случае, когда $\sqrt{\beta_1} = 2$ и $\beta_2=9$.

Так как все виды трапецеидальных распределений относятся к редким частным случаям, то из шкал определения фрактальности исключен диапазон значений параметра β_2 для данного семейства законов распределения (β_2 1,8 ÷ 2,4).

Кроме того, на основе проведенных статистических исследований ЭХО-поверхностей установлено, что им свойственны значения кривизны лежащие в интервале от 1,8 до 2,74 [5]. Следовательно, закон распределения высот неровностей элементов рельефа ЭХО-образцов значительно отличается от экспоненциального ($\beta_2 = 9$) и учитывать его при определении фрактальности структуры не целесообразно. Для статистической обработки ЭХО-поверхностей наилучшим образом подходит специализированное программное обеспечение [6, 7].

В соответствии с теорией фракталов [8], значения параметра D для фрактальных поверхностей изменяется от 2 до 3. Однако проведенный фрактальный анализ установил, что для образцов, обработанных методом размерной электрохимической обработкой, характерен диапазон параметра D от 2,01 до 2,103, что было учтено в соответствующей шкале. Значение фрактальной размерности D=2,01 соответствует поверхности, полученной на оптимальном режиме обработки [9].

Из всех параметров размерной ЭХО, влияющих на качество обработанной поверхности, для построения фрактальной многомерной шкалы были отобраны:

- температура электролита (T_3);
- скорость подачи катода (V_k).

Выбор обусловлен интерпретацией результатов проведенного исследования [9], в котором было выявлено, что такие параметры размерной ЭХО как T_3 и V_k оказывают наибольшее влияние на качество поверхности (на параметр R_a).

Кроме того, в отмеченной выше работе, установлено значение параметра $R_a=0,04$ мкм, соответствующее оптимальному режиму размерной ЭХО, а так же установлены диапазон значений параметра R_a (R_a 0,04 ÷ 8 мкм).

Предложенный фрактально-кластерный механизм формирования поверхности детали при размерной ЭХО позволяет использовать в многомерной шкале значения фрактальной размерности в качестве индикатора протекания процесса «роста» или «разрушения». По результатам моделирования установлено, что если значения

фрактальной размерности лежат в интервале от 2,065 до 2,21, то на ЭХО-поверхности происходит образование кластера разрушения. В случае, когда параметр D принимает значения от 2,21 до 3,0, протекает процесс образования пленочных структур. Причем, чем больше значение фрактальной размерности, тем толще пленка (параметр H). Проведенный фрактальный анализ позволил скорректировать диапазоны значений фрактальной размерности, соответствующие процессу роста оксидной пленки на ЭХО-поверхности ($D\ 2,01 \div 2,04$) и процессу ее разрушения ($D\ 2,04 \div 2,103$).

В качестве динамического параметра поверхности, обработанной размерной ЭХО, выбрана скорость растравливания по границам зерен. Согласно результатам исследований [10], при снижении фрактальной размерности поверхности металла, обработанной электрохимическим растворением в системе вода - моноэтаноламин - хлорид натрия, происходит падение скорости растравливания.

Общий алгоритм применения многомерной фрактальной шкалы изображен на рисунке 1. Общий вид расширенной и уточненной многомерной шкалы представлен на рисунке 2.

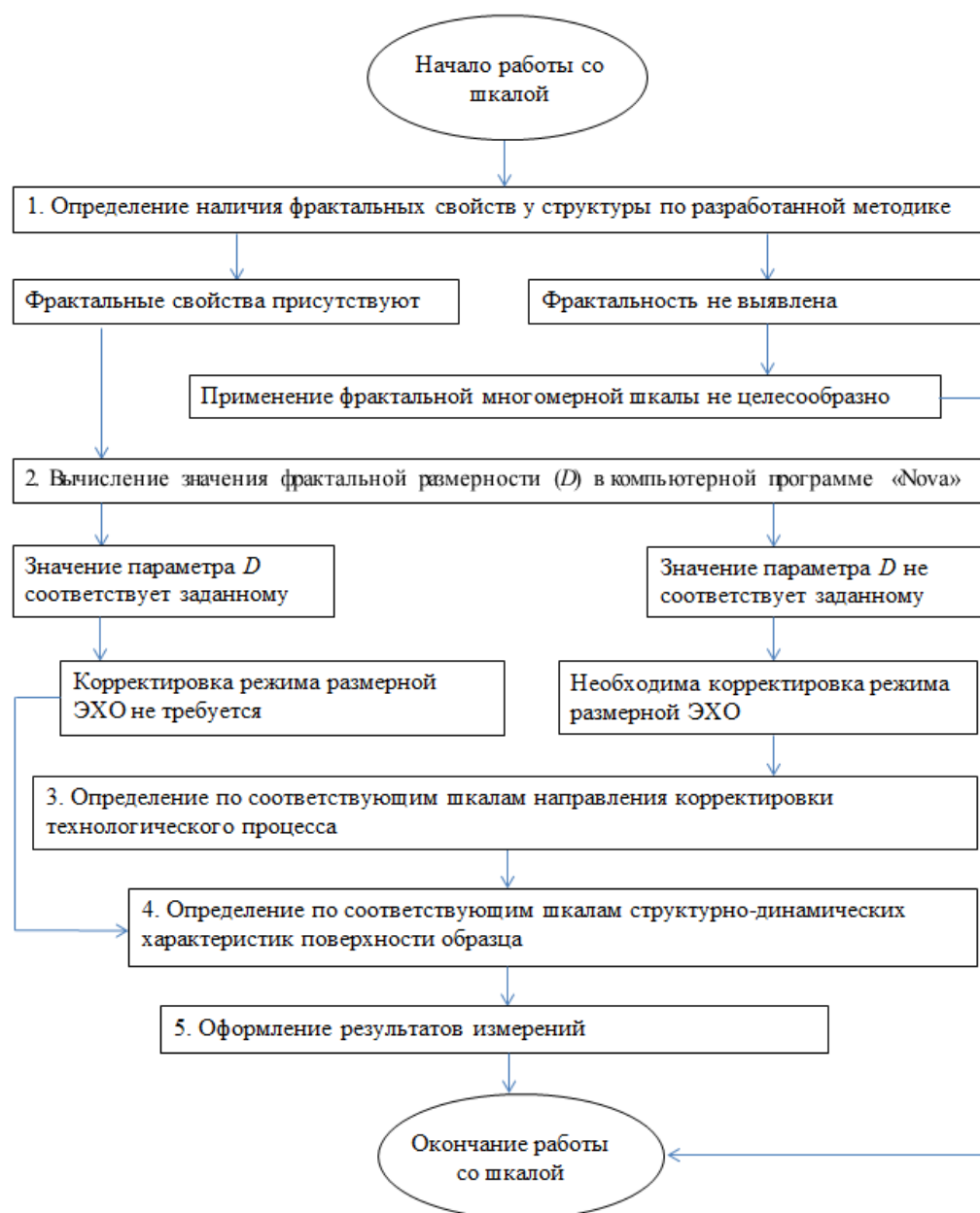


Рисунок 1 - Общий алгоритм применения многомерной шкалы

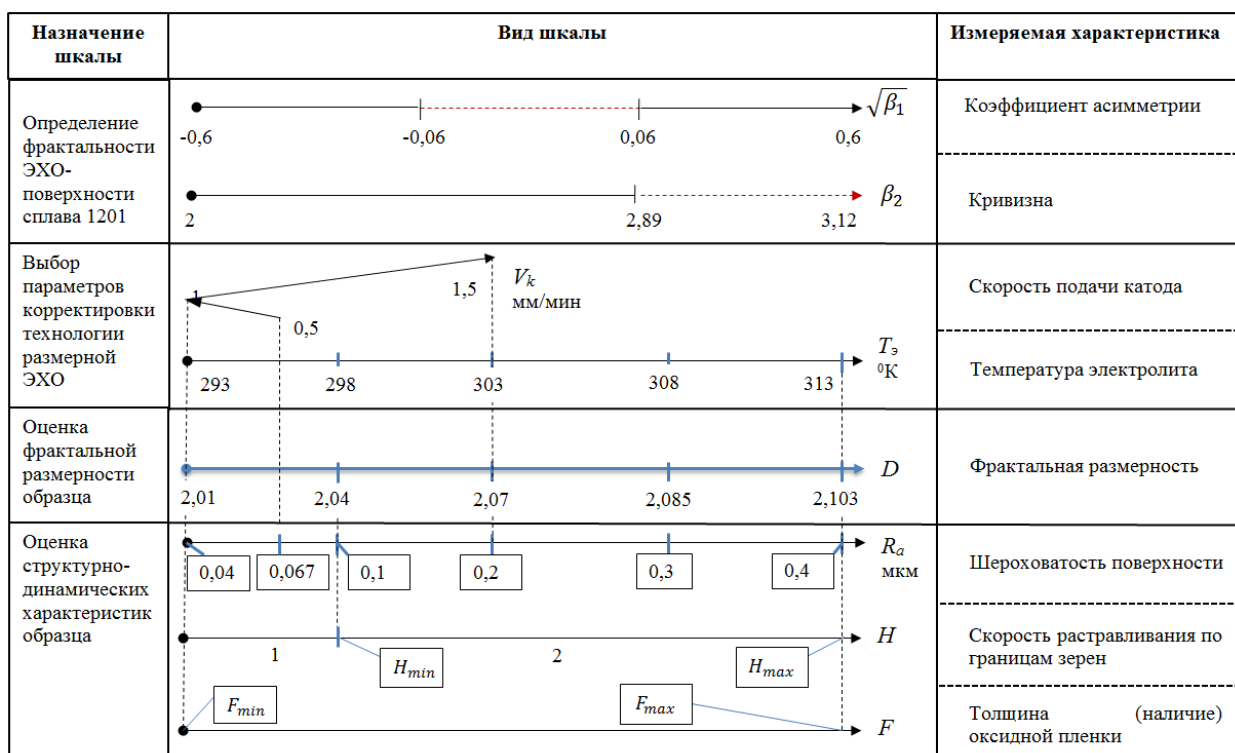


Рисунок 2 - Уточненный вид многомерной шкалы ($T_э$ - температура электролита; V_k - скорость подачи катода; D – фрактальная размерность ЭХО-поверхности; R_a – геометрический параметр шероховатости поверхности; F – скорость растравливания по границам зерен; H – толщина (наличие) оксидной пленки; участок 1 – процесс образования кластера разрушения; участок 2 - процесс образования пленочных структур)

Заключение

Предлагаемая фрактальная многомерная шкала позволяет решить проблему обеспечения изготовления деталей вафельной конструкции с заданными эксплуатационными свойствами.

Разработанная многомерная шкала базируется на глобальной оценочной характеристики структуры – фрактальной размерности D , а так же включает в себя шкалы определения фрактальности, основанные на свойствах фундаментального метода Херста. Это делает многомерную шкалу универсальной и, при соответствующей адаптации, она может использоваться для оценки свойств любых фрактальных поверхностей.

Представленное расширение многомерной шкалы новыми параметрами и уточнение метрологических характеристик отдельных шкал позволяет использовать шкалу в технологическом процессе в качестве инструмента контрольной операции.

Список литературы

1. Потапов А.А. Исследование микрорельефа обработанных поверхностей с помощью методов фрактальных сигнатур / А.А. Потапов, В.В. Булавкин, В.А. Герман, О.Ф. Вячеславова // ЖТФ. 2005. Т. 75, № 5. С. 28 – 45.
2. Вячеславова О.Ф. Современные технологии обработки материалов в свете теории фракталов и ее практического приложения // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. № 2. С. 34-43.
3. Бавыкин О.Б. Взаимосвязь свойств поверхности и ее фрактальной размерности / О.Б. Бавыкин, О.Ф. Вячеславова // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. Т. 1. № 1 (15). С. 14-18.
4. 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.
5. Бавыкин О.Б. Определение интенсивности фрактальных свойств поверхностей конструкционных материалов по данным статистического анализа / О.Б. Бавыкин, О.Ф. Вячеславова // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: тез. междунар. науч. конф. М., 2012. С. 12-21.
6. Бавыкин О.Б. Применение в образовании специализированных компьютерных программ «NOVA» и «MYTESTX» / О.Б. Бавыкин // IDO Science. 2011. № 1. С. 10-11.
7. Бавыкин О.Б. Комплексная оценка качества поверхности и эксплуатационных свойств изделий из наноматериалов / О.Б. Бавыкин, О.Ф. Вячеславова // Автомобильная промышленность. 2012. № 3. С. 36-37..
8. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. N. Y.: Freeman. 1982. 468 p.
9. Бавыкин О.Б. Формирование наименьшего значения шероховатости поверхности деталей машин на основе выбора оптимальных режимов размерной электрохимической обработки / О.Б. Бавыкин, О.Ф. Вячеславова // Известия МГТУ «МАМИ». 2010. № 2 (10). С. 102-107.

10. Носков А.В. Фрактальные свойства поверхности вольфрама по данным импедансной спектроскопии границы раздела металлраствор / А.В. Носков, А.В Балмасов., Н.Б. Козлова, С.А. Лилин // Журн. физ. химии. 2003. Т. 77. С. 2081.