

УДК 621.9.047

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МИКРОПОВЕРХНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

О.Б. Бавыкин, д.т.н., проф. / О.Ф. Вячеславова

Университет машиностроения

В настоящее время отсутствует методика оценки качества поверхности, сформированной электрофизическими и электрохимическими методами обработки (на примере размерной ЭХО) в нанодиапазоне, которая позволила бы осуществить технологический процесс изготовления деталей с тонкостенными перемычками с применением технологического процесса контроля качества поверхностного слоя на основе реализации метода фрактального анализа.

Согласно исследованиям, если для обработанной поверхности значение коэффициента асимметрии лежит в интервале 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 (при уровне значимости $Q = 5\%$ и объёме выборки $n = 5\,000$). Фрактальные свойства не проявляются и в том случае, когда $\sqrt{\beta} = 2$ и β_2 . Вычисление параметров $\sqrt{\beta_1}$ и β_2 производится в компьютерной программе Nova.

Толщина перемычек ячеистых конструкций изделий вафельного типа, которые изготавливаются размерной электрохимической обработкой (ЭХО) [1, 2] и применяются в авиационно-космической отрасли, соизмерима с глубиной изменённого слоя. Это затрудняет применение прямых физических измерений микронеровностей и вызывает опасение утраты прочностных показателей силовых вафельных изделий.

Для решения указанной проблемы необходимо применять нетрадиционные подходы в оценке качества микроповерхности на основе фрактального анализа, обладающего преимуществами перед традиционными методами [3].

В данной работе предлагается возможный вариант подобной методики. С её помощью определяется наличие фрактальных свойств у поверхности, осуществляется корректировка режима размерной ЭХО, а также устанавливаются взаимосвязи по параметру D (фрактальная размерность, размерность Хаусдорфа — Безиковича) между его характеристиками (температурой электролита T_3 , скоростью подачи катода V_k) и структурно-динамическими свойствами обработанной поверхности (скоростью образования микроуглублений F , толщиной оксидной плёнки H , шероховатостью поверхности по параметру R_a).

Структура методики следующая:

– область применения;

- методы измерений;
- средства измерений;
- условия измерений;
- выполнение измерений и обработка результатов измерений;
- практическая реализация;
- требования к персоналу;
- требования техники безопасности.

Методика основывается на методе фрактального анализа. Под фрактальным анализом понимают вычисление характеристик фрактала, прежде всего его фрактальной размерности (размерности Хаусдорфа — Безиковича, параметра D) и показателя Хёрста. Фрактал — это структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому. В данной работе в качестве фракталов рассматривается поверхность материала после электрохимической обработки, которая обладает статистическим самоподобием.

В работе [4] показано, что по значениям размерности Хаусдорфа — Безиковича можно судить о некоторых структурно-динамических свойствах поверхности, которые не поддаются описанию традиционными геометрическими параметрами шероховатости. Среди этих свойств можно выделить важную характеристику электрохимически обработанной поверхности — скорость образования микроуглублений, которая возрастает с ростом фрактальной размерности.

Для получения цифрового изображения микроповерхности и значения её фрактальной размерности в методике применяются сканирующий зондовый микроскоп и специальное программное обеспечение — программа Nova. Согласно проведённым исследованиям [5, 6], упомянутый программный продукт обладает рядом преимуществ и характеризуется высокой точностью вычисления параметра D . Кроме того, программное обеспечение Nova поставляется вместе со средствами измерений, прошедшими испытания с целью утверждения типа, что подтверждает достоверность получаемых результатов.

Стоит отметить, что фрактальный анализ эффективен лишь тогда, когда исследуемая структура проявляет фрактальность. В этом случае можно адекватно оценить структурно-динамические свойства поверхностного слоя по параметру D .

Для определения наличия фрактальных свойств у электрохимически обработанной поверхности разработаны и включены в методику специальные критерии [7], основанные на значениях коэффициента асимметрии (β_1) и кривизны (β_2).

Согласно исследованиям [8], если для обработанной поверхности значение коэффициента асимметрии лежит в интервале от -0,06 до 0,06 и при этом значение характеристики находится в диапазоне от 1,8 до 2,4 или от 2,89 до 3,12, то структура нефрактальна (при уровне значимости $Q = 5\%$ и объёме выборки $n = 5\,000$). Фрактальные свойства не проявляются и в том случае, когда $\beta_1 = 0$. Вычисление параметров и производится в компьютерной программе Nova.

Для выявления взаимосвязи параметров технологии размерной ЭХО и фрактальной размерности обработанной поверхности были выполнены исследования [8], которые показали следующие корреляции:

- линейная зависимость между T_3 и D : при увеличении температуры электролита с 293 до 313 К параметр D увеличивается с 2,01 до 2,103;
- нелинейная зависимость между V_k и D : при изменении значений V_k с 0,5 до 1 мм/мин происходит уменьшение параметра D с 2,03 до 2,01; при значениях V_k от 1 до 1,5 мм/мин параметр D увеличивается с 2,01 до 2,07.

Влияние размерности Хаусдорфа — Безиковича на толщину оксидной плёнки рассмотрено в работе [10]. Авторами приводится математическая модель процесса формирования электрохимически обработанной поверхности на основе фрактального анализа, учитывающая стадию плёнокообразования.

Начальные условия функционирования модели: известна геометрия электрохимически обработанной микроповерхности; структура микроповерхности фрактальна. Граничные условия: ячеистая конструкция типа вафельных углублений имеет стенки, которые без учёта микронеровностей не обеспечивают прочностных характеристик изделия в условиях эксплуатации.

Таблица 1. Фрактальные размерности фрактальных кластеров

Вид обработки	Модель пуассоновского распределения
С образованием кластеров разрушения	2,065
С образованием плёночных структур	2,21

Предлагаемая математическая модель позволяет определить:

- число кластеров;
- число элементов в одном кластере;
- общее число элементов;
- распределение кластеров по размерам;
- распределение групп кластеров с одинаковым числом элементов.

Моделирование дало возможность получить значения параметра D , соответствующие разным состояниям механизма образования электрохимически обработанной поверхности (табл. 1), которые включены в предлагаемую методику.

Для удобства применения критериев фрактальной оценки по параметру D структурно-динамических свойств поверхности и определения направления корректировки режима размерной ЭХО разработана многомерная шкала [8, 9].

Состав многомерной шкалы следующий:

- шкала коэффициента асимметрии закона распределения высот элементов электрохимически обработанной поверхности;
- шкала кривизны закона распределения высот элементов электрохимически обработанной поверхности;
- шкала фрактальной размерности (D);
- шкала температуры электролита (T_3);
- шкала скорости подачи катода (V_k);
- шкала геометрического параметра шероховатости (R_a);
- шкала скорости образования микроуглублений (F);
- шкала толщины (наличия) оксидной плёнки (H).

Назначение шкалы	Вид шкалы	Измеряемая характеристика	Результат оценки и заключение
Определение фрактальности обработанной поверхности		Коэффициент асимметрии	$\sqrt{\beta_1} =$ $\beta_2 =$ Поверхность фрактальна (нефрактальна)
		Кривизна	
Выбор параметров корректировки технологии размерной ЭХО		Скорость подачи катода	Корректировка режима РЭХО не требуется (требуется; $V_k = \dots, T_3 = \dots$)
		Температура электролита	
Оценка фрактальной размерности образца		Фрактальная размерность	$D = \dots$ значение соответствует (не соответствует) заданному
Оценка структурно-динамических характеристик образца		Шероховатость	$R_a = \dots$
		Толщина (наличие) оксидной плёнки	$H = \dots$
		Скорость образования микроуглублений	$F = \dots$

Рисунок 1. Форма представления результатов применения многомерной шкалы

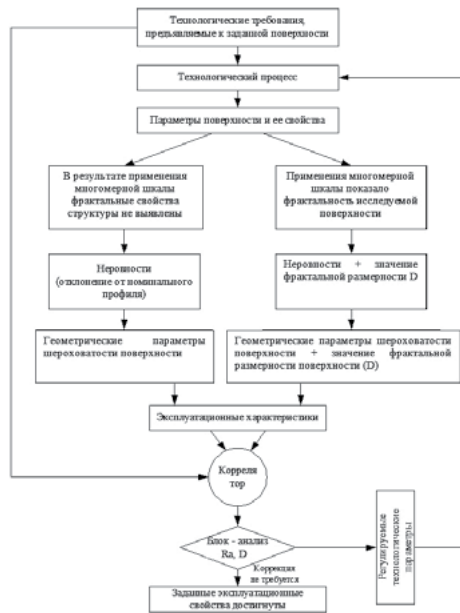


Рисунок 2. Структурная схема установления взаимосвязи между эксплуатационными свойствами и технологическими параметрами

Шкалы, по которым измеряются параметры T_z , V_k и R_a , относятся к шкалам отношений. Шкалы измерения фрактальной размерности, коэффициента асимметрии и кривизны являются абсолютными шкалами. Измерение параметров F и H осуществляется по шкале порядков.

На основе проведённых статистических исследований образцов электрохимически обработанной поверхности было установлено, что им свойственны значения кривизны, лежащие в интервале от 1,8 до 2,74 [7]. Следовательно, закон распределения высот неровностей элементов рельефа образцов значительно отличается от экспоненциального (и учитывать его в многомерной шкале при определении фрактальности структуры нецелесообразно).

Регистрация результатов применения многомерной шкалы осуществляется в специальной форме (рис. 1).

Практическая реализация методики заключается в реализации технологического процесса контроля качества фрактальной микроповерхности металлических деталей после размерной ЭХО. На рис. 2 представлена структурная схема установления взаимосвязи между эксплуатационными свойствами и технологическими параметрами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена методика оценки качества микроповерхности после размерной ЭХО с использованием фрактального анализа. Методика позволяет реализовать технологический процесс контроля качества фрактальной микроповерхности металлических деталей после размерной ЭХО.

В основе методики лежит многомерная шкала, содержащая восемь шкал и позволяющая уточнить оценку выходных данных размерной ЭХО (по параметру D) и структурно-динамических свойств поверхности (скорости локального растворения границ зёрен, толщины оксидной плёнки и шероховатости поверхности по параметру R_a), а также определить наличие фрактальных свойств у обработанной поверхности и направление корректировки режима размерной ЭХО.

Практическая реализация разработанной методики снизит риск утраты прочностных показателей силовых вафельных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Саушкин Б.П., Шандров Б.В., Моргунов Ю.А. Перспективы развития и применения физико-химических методов и технологий в производстве двигателей // Известия МГТУ «МАМИ». — 2012. № 2 (14). — Т. 2. — С. 242–248.
- 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. 103–108.
- Исследование микрорельефа обработанных поверхностей с помощью методов фрактальных сигнатур / А.А. Потапов, В.В. Булавкин, В.А. Герман, О.Ф. Вячеслава // ЖТФ. — 2005. — № 5. — Т. 75. — С. 28–45.
- Бавыкин О.Б., Вячеслава О.Ф. Взаимосвязь свойств поверхности и её фрактальной размерности // Известия МГТУ «МАМИ». — 2013. — № 1 (15). — Т. 1. — С. 14–18.
- Бавыкин О.Б. Применение в образовании специализированных компьютерных программ Nova и MyTestX // IDO Science. — 2011. — № 1. — С. 10–11.
- Потапов А.А., Вячеслава О.Ф., Бавыкин О.Б. Исследование возможностей применения компьютерной программы Nova для фрактальной обработки информации // Волновая электроника и её применение в информационных и телекоммуникационных системах: матер. междунар. молодёж. конф. — Воронеж, 2012. — С. 119–123.
- Бавыкин О.Б., Вячеслава О.Ф. Определение интенсивности фрактальных свойств поверхностей конструкционных материалов по данным статистического анализа // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: труды 77-й междунар. науч.-техн. конф. — М., 2012. — С. 12–21.
- 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. 218–222.
- Бавыкин О.Б. Оценка качества поверхности машиностроительных изделий на основе комплексного подхода с применением многомерной шкалы // Известия МГТУ «МАМИ». — 2012. — № 1 (13). — С. 139–142.
- Вячеслава О.Ф., Назаров Ю.Ф., Иванов С.А. Фрактальная модель формирования поверхности физическими методами // Обзорные прикладной и промышленной математики. — 2002. — № 3. — Т. 9. — С. 598.