

Выбор параметров шероховатости для оценки качества поверхности изделий после электроэрозионной обработки

О. С. БАШЕВСКАЯ, С. В. БУШУЕВ, А. А. НИКИТИН, Е. В. РОМАШ,
Ю. В. ПОДУРАЕВ

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
Москва, Россия, e-mail: bashevskaya@mail.ru

Выбраны параметры шероховатости поверхности после электроэрозионной обработки. Установлено, что высотный параметр шероховатости трехмерной поверхности позволяет получать наиболее информативную оценку ее качества после указанной обработки и коррелирует с профильным параметром.

Ключевые слова: параметры шероховатости, пространственные параметры, электроэрозионная обработка.

The surface roughness parameters after electroerosion machining were selected. It has been determined that altitude roughness parameter of 3D surface enables to obtain the most informative estimation of surface quality after. This machining and has a good correlation with the profile parameter.

Key words: roughness parameters, spatial parameters, electroerosion machining.

В настоящее время для изготовления высокоточных деталей из токопроводящих материалов применяют электроэрозионную обработку (ЭЭО), которая по частоте использования уступает лишь таким видам традиционной обработки, как фрезерование, точение и шлифование [1]. В процессе ЭЭО поверхностные слои изделий разрушаются под действием электрических разрядов, в зоне которых происходит нагрев, расплавление, частичное испарение и выбивание частиц материала. В стандарте [2] приведены основные термины и определения, характеризующие ЭЭО. При этой обработке поверхность изделия формируется на определенной площади, в отличие от механических способов. К твердым и сверхтвердым материалам, которые трудно обрабатывать резанием, применяют ЭЭО. Одним из основных преимуществ этого способа является высокое качество обработанных поверхностей, обусловленное физико-химическими и физико-механическими свойствами поверхностного слоя и шероховатостью. Шероховатость поверхности после ЭЭО зависит от свойств обрабатываемого материала, режимов обработ-

ки, площади поверхности и ряда других факторов [2—4]. Значительная степень неоднородности микрорельефа после ЭЭО (вследствие нерегулярного расположения микронеровностей) затрудняет оценку традиционными методами и определяет актуальность исследований, связанных с выбором параметров шероховатости.

Для проведения экспериментов в лаборатории технологий микрообработки МГТУ «СТАНКИН» на электроэрозионном проволочно-вырезном станке GF Agie Charmilles CUT 1000Oil Tech, обеспечивающем шероховатость поверхности 0,05 мкм и точность обработки линейных размеров детали 0,5 мкм, были изготовлены образцы из различных материалов — меди М1, стали 45, инструментальной стали 5ХНМ. Образцы обрабатывали проволокой AC Brass 900: для медной и стальной детали использовали проволоку диаметром 0,2 мм, а для детали из инструментальной стали — 0,1 мм.

Оценку качества поверхностей при ЭЭО проводили с помощью профилографа-профилометра Hommel Tester T-8000. По результатам измерений были построены 3D-модели поверхностей (рис. 1). Для определения степени их изотропности провели анализ направлений текстуры, при котором устанавливается зависимость угловой спектральной мощности от заданного направления. На поверхности образца из меди М1 после ЭЭО не выявили определенного направления текстуры (рис. 2), а изотропию определили на уровне 66,5 %. Выполненные исследования подтверждают, что поверхности деталей после ЭЭО имеют неперiodическую структуру и это необходимо учитывать при анализе.

В стандарте [5] регламентированы термины и определения, относящиеся к шероховатости поверхности. Основным принятым критерием оценки качества поверхности являет-

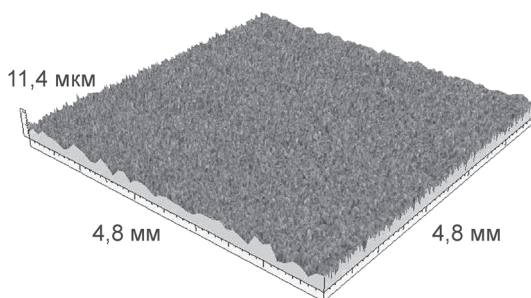


Рис. 1. Трехмерная модель измеренной поверхности образца из меди после электроэрозионной обработки

ся параметр R_a — среднее арифметическое отклонение профиля, определяемое по формуле

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx,$$

где y — отклонения профиля от средней линии; l — базовая длина участка поверхности, на котором проводят измерения.

В [1, 6] отмечено, что параметрический подход не дает объективной оценки исследуемого профиля поверхности, полученной с помощью ЭЗО. В качестве критериев оценки предложено использовать графическое изображение плотностей ординат и тангенсов углов наклона профиля, что является более сложной и трудоемкой процедурой. В соответствии с рекомендациями производителей станка, на котором изготавливали образцы для экспериментальных исследований, измерения шероховатости следует проводить согласно стандарту [7] по параметрам высоты неровностей профиля, причем базовую длину надо устанавливать в зависимости от типа профиля.

В публикациях [8, 9] утверждается, что микронеровности поверхности после ЭЗО носят случайный характер и их нельзя оценивать только амплитудными профильными параметрами. Основные характеристики, приведенные в [10], а также пространственные параметры шероховатости (амплитудные, шаговые, гибридные, эксплуатационные, а также площадь и объем) надо оценивать по участку поверхности.

В настоящей работе исследовано качество обработки и шероховатости поверхности деталей из различных материалов с использованием пространственных параметров текстуры, делящихся на две основные группы [11]:

параметры целого изображения, определяющиеся по всем точкам отфильтрованной поверхности, например среднее арифметическое значение абсолютной высоты поверхности S_a ;

параметры, которые находят по заданному подмножеству топологических элементов отфильтрованной поверхности, например по площади.

По пространственным характеристикам можно сделать выводы и о характере процессов, проходящих в зоне обработки и влияющих на формирование области реального контакта, по которой определяют эксплуатационные характеристики изделия. Процессы передачи тепловой или электрической энергии, в свою очередь, зависят от вида неровностей и потока энергии по площади контакта [12, 13].

Авторы сравнили результаты расчетов параметров шероховатости по двумерным профилям и трехмерным текстурам. Одним из высотных параметров, наиболее удобным для сравнения двумерных и трехмерных параметров [11], является среднее арифметическое абсолютной высоты поверхности [14].

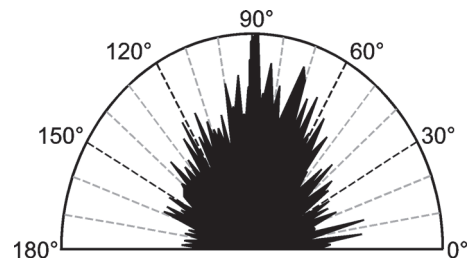


Рис. 2. Направление текстуры поверхности образца электроэрозионной обработки

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |z(x, y)| dx dy,$$

где A — базовая площадь; $z(x, y)$ — функция, описывающая текстуру трехмерной поверхности и представляющая отклонение реальной поверхности от средней плоскости.

В ходе исследований сравнивали качество обработки отдельных образцов поверхности и участков, выполненных при разных условиях ЭЗО. Для получения трехмерных параметров шероховатости использовали режим автоматических перемещений на 10 мкм столика поперечной подачи с последующим соединением измеренных профилей в единую поверхность.

Результаты определения параметров шероховатости и условия измерений представлены в табл. 1. В качестве R_a использовали среднее значение отклонений профиля. Базовую длину выбирали в соответствии с рекомендациями для измерений конкретных значений R_a : для образца стали — 2,5 мм, для остальных образцов — 0,8 мм [15], а длину трассирования, равную шестикратной базовой длине, находили в соответствии с [7]. Остальные условия измерений были одинаковыми для всех исследуемых образцов: скорость трассирования — 1 мм/с; дискретность отсчета — 1 мкм; дискретность поперечного смещения профилей — 10 мкм. Различия между значениями параметров R_a , S_a в среднем составили 11 %, а между R_a и его скорректированными в зависимости от углов наклона профиля значениями — 6 %. В процессе исследований двумерной поверхности до начала расчетов устраняли влияние наклона профиля, связанное с непараллельностью средней линии и линии измерений, что позволило достичь необходимого подведения измерительного щупа по нормали к поверхности. Однако возможен еще и неучитываемый наклон щупа, обеспечивающий третье измерение. При этом существует возможность получения уточненных двумерных параметров шероховатости после анализа трехмерных поверхностей, с пересчетом по новым значениям профилей и с учетом их наклона по всей поверхности (см. табл. 1).

Таким образом, только использование данных по всей поверхности может дать максимально точную оценку шероховатости при используемой методике измерений. Отметим, что как в отношении двумерных профилей, так и при трехмерном анализе шероховатости, существенную роль в оценке ее параметров играют фильтры, в качестве которых используют фильтры Гаусса [15, 16].

Таблица 1

Литература

Сравнение параметров шероховатости на медном, стальном и твердосплавном образцах

Образец	Участок исследования	Условия измерений					
		длина трассирования, мм	базовая длина, мм	количество измеренных профилей	R_a по 2D-профилям, мкм	S_a по 3D-профилям, мкм	R_a по 3D-профилям, мкм
Медь	1	4,8	0,8	481	1,802	1,680	1,730
	2	4,8	0,8	481	0,915	0,911	0,876
	3	4,8	0,8	481	1,582	1,520	1,510
Сталь	1	15,0	2,5	501	2,920	2,580	2,890
	2	15,0	2,5	501	3,313	3,000	3,280
	3	15,0	2,5	501	2,854	2,490	2,850
Твердый сплав	1	4,8	0,8	481	0,088	0,0656	0,067

Результаты сравнения площади поверхности замкнутых лунок и холмов [11] (табл. 2) при отсчете от средней плоскости поверхности позволяют в общих чертах оценить параметры островершинности и равномерности распределения материала по толщине поверхности. В табл. 2 представлено сравнение обработанных поверхностей медного (на участке 2) и стального образцов (на участке 1).

Таблица 2

Сравнение текстурных особенностей обработанных медных и стальных поверхностей

Исследуемая поверхность	Площадь замкнутых		Объем замкнутых	
	холмов, мм ²	лунок, мм ²	холмов, мм ³	лунок, мм ³
Медь	10,8	11,6	0,012	0,014
Сталь	35,9	39,0	0,139	0,152

Из табл. 2 следует, что вне зависимости от качества обработки соотношение лунок и холмов при ЭЗО остается практически одинаковым и имеет некоторую асимметрию в область лунок.

Проведенные исследования свидетельствуют о достаточной корреляции профильного параметра R_a с параметром высоты трехмерной поверхности S_a , что подтверждает возможность его применения для оценки качества поверхности после ЭЗО. Использование R_a , в том числе и для случаев традиционной механической обработки, целесообразно после проведения анализа текстуры трехмерной поверхности с учетом ориентации средней поверхности относительно плоскости измерения профилографа-профилометра. Для оценки качества поверхности ответственных прецизионных деталей следует использовать параметр S_a , позволяющий получать более информативную оценку качества.

Работа проведена на оборудовании Центра коллективного пользования МГТУ «Станкин» при поддержке Минобрнауки РФ в рамках гос. задания № 9.2545.2014/К, соглашение № 14.593.21.0004 от 04.12.2014 г., уникальный идентификатор RFMEFI 59314X0004.

1. Григорьев С. Н., Власов В. И. Электроэрозионная и электрохимическая обработка, М.: ИТО, 2010.

2. ГОСТ 25331—82. Обработка электроэрозионная. Термины и определения.

3. Григорьев С. Н., Синопальников В. А., Терешин М. В., Гурин В. Д. Контроль параметров процесса резания на основе диагностирования инструмента и заготовки // Измерительная техника. 2012. № 5. С. 46—48.

4. Серебренский П. П. Современные электроэрозионные технологии и оборудование. СПб: Лань, 2013.

5. ГОСТ 25142—82. Шероховатость поверхности. Термины и определения.

6. Уайтхаус Д. Метрология поверхностей. Принципы, промышленные методы и приборы: Научное издание. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2009.

7. ИСО 4288—1996. Текстура поверхности. Профильный метод. Правила и процедура оценки текстуры поверхности.

8. Асташенков А. И., Лукьянов В. С., Лысенко В. Г. Вероятностные характеристики дискретных трехкоординатных методов измерений параметров микрогеометрии поверхности // Законодательная и прикладная метрология. 1996. № 4. С. 17—21.

9. Лысенко В. Г. Концептуальные основы обеспечения единства координатных измерений геометрических параметров обработанных поверхностей // Законодательная и прикладная метрология. 2005. № 5. С. 7—13.

10. ИСО 4287—1997. Текстура поверхности. Профильный метод. Терминология, определения и параметры текстуры поверхности.

11. Башевская О. С., Гулиева Р. М., Ромаш Е. В., Мельниченко Е. А. Исследование температурных деформаций концевых мер длины // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2014. № 4 (31). С. 36—40.

12. Башевская О. С., Кайнер Г. Б., Ромаш Е. В. Комплексная оценка тепловизионным методом состояния доведенных поверхностей в машиностроении // Контроль. Диагностика. 2012. № 2. С. 36—41.

13. ГОСТ Р ИСО 25178-2—2014. Геометрические характеристики изделий. Структура поверхности. Ареал. Ч. 2. Термины, определения и параметры структуры поверхности.

14. Табенкин А. Н., Тарасов С. Б., Степанов С. Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт / Под ред. Н. А. Табачниковой. СПб.: Изд-во Политехнического университета. 2007.

15. Башевская О. С., Никитин А. А., Бушуев С. В. Метрологическое исследование микропрофиля и параметров шероховатости прецизионных деталей после электроэрозионной обработки // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2015. № 1. С. 58—64.

Дата принятия 27.05.2015 г.