Научная статья
Original article
УДК 621.01

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КРИВОЙ ЭББОТТА – ФАЙРСТОУНА

NUMERICAL METHOD FOR CALCULATION OF THE PARAMETERS OF THE ABBOTT-FIRESTONE CURVE

Мусохранов Марсель Владимирович, к.т.н., доцент, кафедра «Машиностроительные технологии», «Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана (национальный исследовательский университет)» (Калужский филиал)
Марочкин Владислав Вадимович, магистрант, кафедра «Машиностроительные технологии», «Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, (национальный исследовательский университет)» (Калужский филиал)

Musokhranov Marsel Vladimirovich, Ph.D., associate professor, Department of Mechanical Engineering Technologies, Moscow State Technical University named after V.I. N.E. Bauman (National Research University)" (Kaluga Branch)
Marochkin Vladislav Vadimovich, undergraduate, Department of Mechanical Engineering Technologies, Moscow State Technical University named after V.I. N.E. Bauman (National Research University)" (Kaluga Branch)

Аннотация. Проведен анализ численного метода для построения кривой Эбботта и расчет, связанный с параметрами кривой, определенные

стандартами DIN 4776 и ISO 13565. Учитывая ошибки дискретизации, сделан вывод, что для максимального точного расчета необходимо учитывать минимум 200 точек пересечения дискретных данных профиля. В работе исследовалась степень влияния подачи и скорости резания на профиль шероховатости поверхности. Также рассмотрен алгоритм построения кривой Эбботта и принцип нахождения параметров, описывающих кривую.

Annotation. The analysis of the numerical method for constructing the Abbott curve and the calculation associated with the parameters of the curve, defined by the DIN 4776 and ISO 13565 standards, was carried out. Considering the discretization errors, it was concluded that for the most accurate calculation it is necessary to take into account at least 200 points of intersection of discrete profile data. The paper investigated the degree of influence of feed and cutting speed on the surface roughness profile. The algorithm for constructing the Abbott curve and the principle of finding the parameters describing the curve are also considered.

Ключевые слова: режимы резания, шероховатость поверхности, кривая Эбботта – Файрстоуна, параметры кривой.

Key words: cutting conditions, surface roughness, Abbott-Firestone curve, curve parameters.

Постановка проблемы. В Российской Федерации, вступивший в действие стандарт ГОСТ Р ИСО 4287 - 2014 «Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры поверхности» [1], включающий множество параметров, оценивающих шероховатость поверхности. Среди всех параметров, имеется кривая Эбботта – Файрстоуна, которая требует более глубокого и полного изучения. С ее помощью возможно оценивать профиль шероховатости поверхности и при необходимости прогнозировать результат механической обработки.

Анализ исследований. Кривые Эбботта обычно используются для количественной оценки явлений износа, таких как влияние смазки, материалы

подшипников или текстура поверхности [1]. Параметры шероховатости, вычисленные по этим кривым определены нормой DIN 4776 и ISO 13565. Современное развитие методов (спектральный, фрактальный, вейвлет и др.) и их внедрение привело к подключению компьютера к профилометрам и измерению шероховатости с расчетом численных оценок параметров. Таким образом разработан алгоритм построения кривой Эбботта и вычисления параметров норм. Дискретизация кривых изучается и проверяется эффективность алгоритма на различных типах профилей [2].

Цель статьи – выявить влияние технологических параметров на профиль шероховатости поверхности и провести численный метод расчета параметров кривой.

Изложение основного материала. Распределение неровностей по высоте (AHD) – это соотношение (в процентах) между длиной, перекрываемой профилем шероховатости, и длиной сканирования L (рис.1) на заданной высоте, называемой c ($c \in Rmin, Rmax$), где Rmin - минимальная амплитуда профиля, а Rmax - максимальная), от опорной линии [3], которая является линией наименьших квадратов профиля:

$$AHD(c) = 100 \sum_i (\frac{L_i}{L})$$

Где $L_i(c)$ – все отрезки пересечения профиля y=f(x) с точкой пересечения y=c. Кривая Эбботта окончательно получается путем построения графика зависимости c от AHD(c). Например рис.2(а) показывается экспериментальный электроэродированный профиль и рис.2(б) соответствующую кривую Эбботта [4].



Рис.1 – Профиль шероховатости и описание метода построения кривой Эбботта согласно нормам DIN 4776 или ISO 13565.

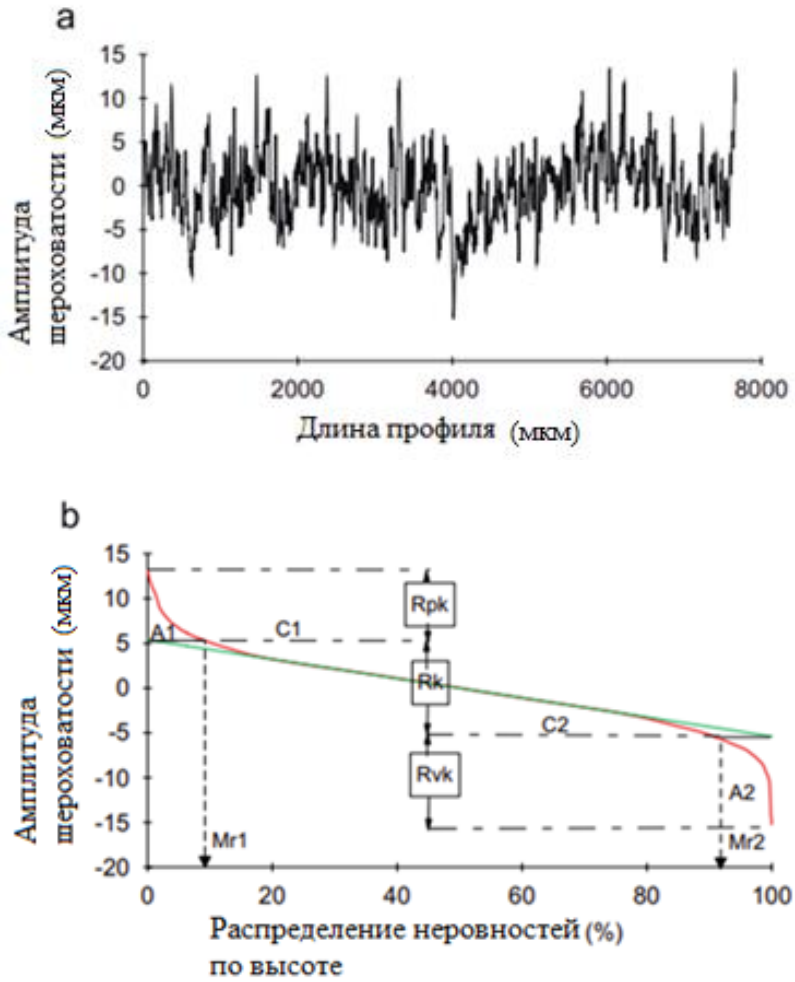


Рис.2 – Электроэродированный профиль, полученный с помощью тактильного профилометра (а), и соответствующая кривая с определением параметров (б).

Параметры кривой Эбботта

Параметры, рассчитанные по кривым Эбботта, представлены на рис.2(б). Пусть *F(x)* будет уравнением прямой, которое наилучшим образом

регулирует линейную часть кривой, и определим *c1* и *c2*, как *c1=F(0)* и *c2=F(100)*. Обозначим через *A(x)* уравнение кривой Эбботта и через $A^{-1}(x)$ его обратное положение. Параметры кривой определены в таблице 1 [11]. Все эти параметры зависят от уравнения *F(x)*, которое представляет собой линейной части *A(x)*. Основная проблема состоит в том, чтобы найти интервал [*a,b*], на котором *A(x)* можно рассматривать как линейную.

Таблица 1- Определение параметров

	Определение	Формула
A1	Количество сплошных пиков	$A1 = \int_0^{A^{-1}(c1)} (A(x) - c1)dx$
A2	Количество сплошных впадин	$A2 = \int_{A^{-1}(c2)}^{100} \big(A(x) - A(100)\big)dx$
Mr1	Минимальный порог AHD	$Mr1 = A^{-1}(c1)$
Mr2	Максимальный порог AHD	$Mr2 = A^{-1}(c2)$
Rk	Глубина сердцевины и шер-ть	$Rk = c1 - c2$
Rpk	«Уменьшенная» амплитуда высоты пика	$Rpk = A(0) - c1$
Rvk	«Уменьшенная» амплитуда глубины впадины	$Rvk = c1 - A(100)$

Кривые Эбботта точно соответствуют функции 1-f(x), где f – кумулятивная функция плотности (CDF) высоты поверхности, при условии, что профили рассматриваются как непрерывная функция. Однако для дискретного профиля результаты могут отличаться в зависимости от метода, используемого для расчета длины, пересекаемой профилем шероховатости и длины пересечения *c*. Стандарт определяет, что прямая линия должна быть проведена к центральной линии PDF, соответствующей длине интервала 40% [7].

Чтобы получить линейную кривую Эбботта на всем интервале, означающую что A(x)=F(x)=a x+β $\forall \in$ [0,100], постоянный сигнал должен быть треугольным с математической точки зрения. Область линейного допущения затем может быть охарактеризована как диапазон амплитуд, в котором можно приблизиться к профилю шероховатости с помощью треугольного сигнала. Если мы предположим, что амплитудный сигнал принимает гауссов профиль PDF (наиболее актуальную PDF, встреченную в трибологии), то на кривой Эбботта не существует линейной части. Однако

линейное предположение может быть хорошим приближением в широком диапазоне [6]. Для визуализации результатов аппроксимации моделируется гуассов профиль (дискредитированный в 100000 точек), вычисляется CDF, а затем строится линейная часть в соответствии со стандартом ISO 13565. Центральная часть аппроксимирует реальную PDF на длине интервала 40%. Это приближение можно обосновать:

• линейная зависимость не является необоснованным приближением для центральных частей CDF [3].

• центральная часть представляет собой максимальную массу материала, и линейная зависимость может включать математическое упрощение моделей износа (или, в более общем смысле, физических моделей), основанных на взаимодействии поверхности с физическим процессом [4].

Материалы и методы. *В качестве образцов использовались вал из стали конструкционной стали 45 и вал из легированной стали 40Х. Была произведена токарная обработка заготовок на разных режимах резания, представленных в таблице 2,3. Было записано 24 профиля перпендикулярно впадинам профиля с помощью профилометра – профилографа модели АБРИС-ПМ7.*

Таблица 2 – Режимы резания для Стали 45 (Станок ИЖ250ИТП)

	Получистовая обработка		Чистовая обработка	
№ участка	S мм/об	V м/мин	S мм/об	V м/мин
I	0,075	115,6	0,025	144,5
II	0,05	184,9	0,015	231,2
III	0,075	184,9	0,025	231,2
IV	0,05	115,6	0,015	144,5

Таблица 3 – Режимы резания для Стали 40Х (Станок 16К20)

	Получистовая обработка		Чистовая обработка	
№ участка	S мм/об	V м/мин	S мм/об	V м/мин
I	0,6	35,64	0,15	87,96
II	0,4	45,24	0,075	137,44

III	0,6	45,24	0,15	137,44
IV	0,4	35,6	0,075	87,96

Результаты и обсуждение

Определение параметров. Принцип

Алгоритм, используемы для вычисления линейной части кривой Эбботта, F(x), можно описать пятью шагами:

(1) Для вычисления F(x) выбирается минимальный набор смежных точек A(x).

(2) Рассчитывается линейная поправка по методу наименьших квадратов.

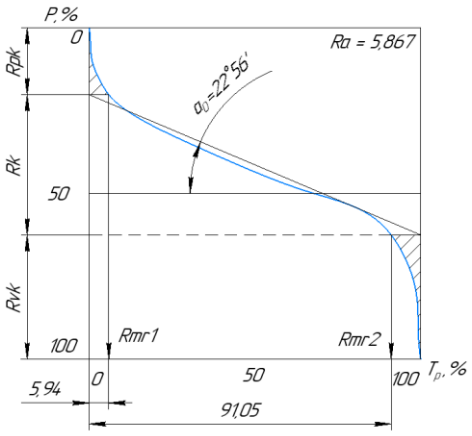
(3) Точность наклона определяется количественно с использованием соответствующего статистического метода (доверительный интервал Стьюдента).

(4) Добавляется соседняя точка и повторяются этапы (2) и (3).

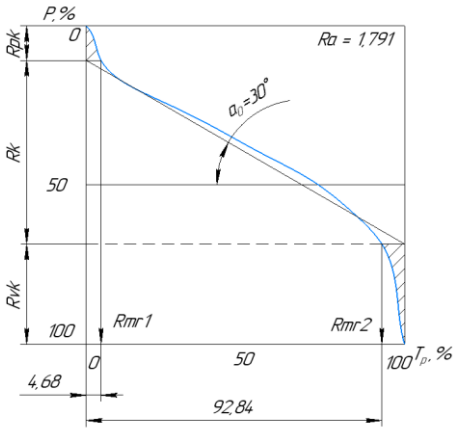
Все конфигурации тестируются, находится набор точек, который приводит к лучшему наклону коэффициента регресии.

(5) Рассчитываются параметры кривой [5].

Построены кривые Эбботта для получистовой и чистовой обработки. Базовая длина измерения 2,5 мм для получистовой и 0,8 мм для чистовой, длина оценки 7,5 мм для получистовой и 1,6 мм для чистовой соответственно.

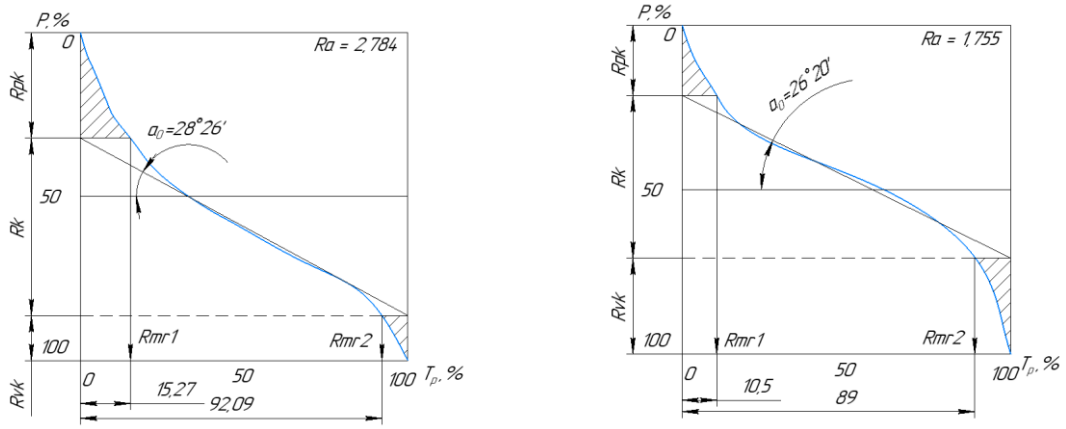


а)



б)

Рис.3 – а) получистовая обработка Стали 45; б)чистовая обработка Стали 45



а) б)

Рис.4 – а) получистовая обработка Стали 40Х; б) чистовая обработка Стали 40Х

Вывод. Все параметры кривой характеризуют параметры скорости подачи. Когда скорость подачи увеличивается, все параметры, характеризующие пики, увеличиваются, кроме Rvk. Увеличение скорости подачи с 0,1 до 0,35 увеличивает амплитуду шероховатости , ($R_{pk_{U_a}} + R_{k_{U_a}} + R_{vk_{U_a}}$, $R_{pk_{U_b}} + R_{k_{U_b}} + R_{vk_{U_b}}$) . Можно сделать вывод, что при уменьшении скорости подачи уменьшается пиковая амплитуда из – за трения между материалом и инструментом. Значения Mr1 подтверждают это гипотезу, как наиболее важный объем пиков для профилей A1.

Литература:

1. ГОСТ Р ИСО 4287-2014. Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры.
2. Abbott EJ, Firestone FA. Specifying surface quality. Mech Eng 1933;59:569–72.
3. Torrance AA. A simple datum for measurement of the Abbott curve of a profile and its first derivative. Tribol Int 1997;30(3):239–44.

4. Lacey P, Torrance AA, Fitzpatrick JA. The relation between the friction of lubricated surfaces and apparent normal pressure. ASME J Tribol 1989;111:260–4.
5. Lacey P, Torrance AA. The calculation of wear coefficients for plastic contacts. Wear 1991;145:367–83.
6. Gruber MHJ. Regression estimators, a comparative study, in statistical modeling and decision science. Boston: Academic Press Inc.; 1990.
7. Ganti S, Bhushan B. Generalized fractal analysis and its applications to engineering surfaces. Wear 1995;180:17–34.
8. Dong WP, Sullivan PJ, Stout KJ. Comprehensive study of parameters for characterizing three dimensional surface topography. III parameters for characterizing amplitude and some functional properties. Wear 1994;178:29–43.
9. ISO 4287:1997 Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Terms, definitions and surface texture parameters
10. Zdenko LIPA, Dagmar TOMANÍČKOVÁ/ Utilisation of Abbott-Firestone curves characteristics for the determination of turned surface properties/ Slovak University of technology in Bratislava, 2011 г, 4с.
11. Corral I B, Calvet J V and Salcedo C M 2010 Use of roughness probability parameters to quantify the material removed in plateau-honing Int J Mach Tool Manu, 8с.
12. M. Bigerellea, A. Iostb, A numerical method to calculate the Abbott parameters: A wear application, 16с.

Literature:

1. GOST R ISO 4287-2014. Geometrical characteristics of products (GPS). Surface structure. Profile method. Terms, definitions and structure parameters.
2. Abbott EJ, Firestone FA. Specifying surface quality. Mech Eng 1933;59:569–72.
3. Torrance AA. A simple datum for measurement of the Abbott curve of a profile and its first derivative. Tribol Int 1997;30(3):239–44.

4. Lacey P, Torrance AA, Fitzpatrick JA. The relation between the friction of lubricated surfaces and apparent normal pressure. ASME J Tribol 1989;111:260–4.
5. Lacey P, Torrance AA. The calculation of wear coefficients for plastic contacts. Wear 1991;145:367–83.
6. Gruber MHJ. Regression estimators, a comparative study, in statistical modeling and decision science. Boston: Academic Press Inc.; 1990.
7. Ganti S, Bhushan B. Generalized fractal analysis and its applications to engineering surfaces. Wear 1995;180:17–34.
8. Dong WP, Sullivan PJ, Stout KJ. Comprehensive study of parameters for characterizing three dimensional surface topography. III parameters for characterizing amplitude and some functional properties. Wear 1994;178:29–43.
9. ISO 4287:1997 Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Terms, definitions and surface texture parameters
10. Zdenko LIPA, Dagmar TOMANÍČKOVÁ/ Utilization of Abbott-Firestone curves characteristics for the determination of turned surface properties/ Slovak University of Technology in Bratislava, 2011, 4c.
11. Corral I B, Calvet J V and Salcedo C M 2010 Use of roughness probability parameters to quantify the material removed in plateau-honing Int J Mach Tool Manu, 8c.
12. M. Bigerellea, A. Iostb, A numerical method to calculate the Abbott parameters: A wear application, 16s.

© Мусохранов М.И. Марочкин В.В., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.

Для цитирования: Мусохранов М.И. Марочкин В.В. ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КРИВОЙ ЭББОТТА – ФАЙРСТОУНА// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.