

УДК 533.69.046

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ
ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ НА ПАРАМЕТРЫ КРИВОЙ ЭББОТТА-
ФАЙРСТОУНА**

Беликова Е.В.

инженер-технолог-программист 1 категории,

ПАО «Калужский Турбинный Завод»,

Калуга, Россия.

Кузьмина Е.М.

ассистент,

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Калуга, Россия.

Суков Т.А.

ведущий инженер-технолог-программист,

ПАО «Калужский Турбинный Завод»,

Калуга, Россия.

Федоров В.А.

Кандидат технических наук, доцент,

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Калуга, Россия.

Аннотация

Представлены методика и результаты полного трехфакторного эксперимента по определению зависимости параметров кривой Эбботта-Файрстоуна от основных режимов резания: глубина, скорость резания и подача. Установлено, что наибольшее влияние на R_{pk} и R_{vk} оказывает скорость резания и её взаимодействие с глубиной резания, в то время как подача проявляет значимость лишь в комбинации с другими факторами. Полученные уравнения регрессии позволяют регулировать параметры R_{pk} и R_{vk} путем изменения технологических факторов

при токарной обработке, что сказывается на износостойкости поверхности.

Ключевые слова: кривая Эбботта-Файрстоуна, шероховатость, износостойкость, токарная обработка, режимы резания, трехфакторный эксперимент.

DETERMINING RATIONAL CUTTING PARAMETERS FOR SPECIAL TOOLS

Belikova E.V.

engineer-technologist-programmer of the 1st category,

Kaluga Turbine Works PJSC,

Kaluga, Russia.

Kuzmina E.M.

assistant,

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University,

Kaluga, Russia.

Sukov T.A.

lead engineer-technologist-programmer,

Kaluga Turbine Works PJSC,

Kaluga, Russia.

Fedorov V.A.

Candidate of Technical Sciences, docent,

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University,

Kaluga, Russia.

Annotation

The methodology and results of a complete three-factor experiment to determine the dependence of the Abbott-Firestone curve parameters on the main cutting modes: depth, cutting speed and feed are presented. It has been found that the cutting speed and its interaction with the cutting depth have the greatest influence on R_{pk} and R_{vk} , while feed is important only in combination with other factors. The obtained regression

equations make it possible to adjust the R_{pk} and R_{vk} parameters by changing technological factors during turning, which affects the wear resistance of the surface.

Keywords: Abbott-Firestone curve, roughness, wear resistance, turning, cutting modes, three-factor experiment.

Кривая коэффициента смятия профиля, или кривая Эбботта-Файрстоуна, показывает изменение коэффициента смятия (полноты профиля) в зависимости от выбранного уровня. Эта кривая позволяет оценить распределение материала по высоте профиля и определить его геометрические характеристики [1].

Для простоты расчетов кривую делят на три области, описываемые параметрами Rk (рис. 1):

Rpk - верхние значения параметров шероховатости поверхности, подверженной интенсивному износу в период приработки изделия.

Rk - средние значения параметров шероховатости для областей, обеспечивающих основной срок эксплуатации детали.

Rvk - нижние значения параметров шероховатости, характеризующие объем канавок с черновых операций [2].

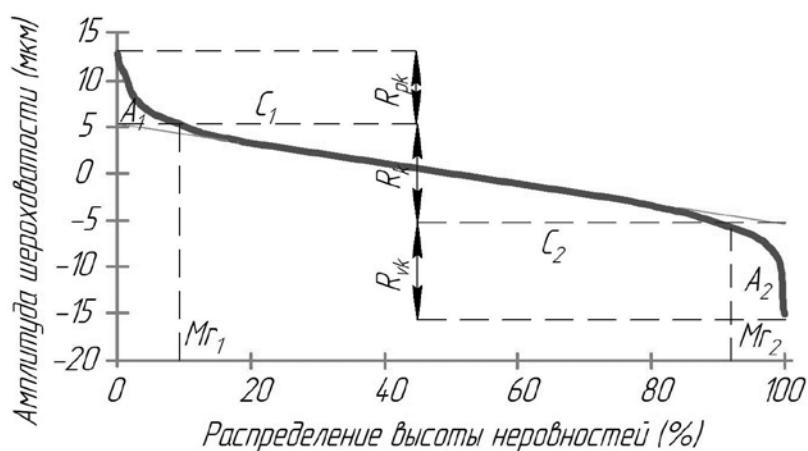


Рис. 1. Параметры кривой Эбботта-Файрстоуна

A_1 – площадь сплошных пиков, A_2 – площадь сплошных впадин, Mr_1 – минимальный порог опорной зоны, Mr_2 – максимальный порог опорной зоны,

C_1 – высота границы пиков, C_2 – высота границы впадин [3]

Кривая Эбботта-Файрстоуна позволяет сравнивать профили поверхностей в тех случаях, когда две поверхности имеют одинаковое значение высотных параметров шероховатости, например, Ra и Rq [4]. С помощью кривой можно описывать объемы пиков и впадин профиля, характеризующих топографию поверхности, что позволяет прогнозировать эффекты износа и процесс приработки поверхности [5].

Для определения зависимости параметров кривой коэффициента смятия профиля от технологических факторов при токарной обработке был проведен полный трехфакторный эксперимент с двумя уровнями факторов. Исследования проводились на базе Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана в лаборатории кафедры «Машиностроительные технологии». В качестве оборудования применялся токарный станок ИЖ250ИТП, режущего инструмента - токарный проходной резец с материалом режущей части ВК8 и радиусом при вершине 0,25 мм. Для проведения эксперимента в качестве объекта исследования была выбрана предварительно обработанная заготовка (Сталь 45 ГОСТ 20295 – 85) диаметром 24,4 мм (рис. 2).



Рис. 2. Заготовка на станке (авторское фото)

Проанализировав литературные источники, были выбраны следующие режимы резания в зависимости от конфигурации станка: подача 0,075 и 0,15 мм/об; частота вращения заготовки 800 и 1000 об/мин; глубина резания 0,5 мм и

1 мм (табл. 1).

Рассчитывается скорость резания по формуле (1):

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \quad (1)$$

где D – диаметр заготовки, мм; n – частота вращения заготовки, об/мин.

Подставив значения, получается скорость резания $V_1=61,29$ м/мин, $V_2=76,62$ м/мин.

Таблица 1 – Факторы и интервалы их варьирования

	Нижний уро-вень (-)	Основной уровень (0)	Верхний уро-вень (+)	Интервал варьирования	Наименование фактора
x_1	0,5	0,75	1	0,25	t , мм
x_2	0,075	0,1125	0,15	0,0375	S , мм/об
x_3	61,29	68,955	76,62	7.665	V , м/мин

На основании выбранных факторов был составлен план эксперимента (табл.2).

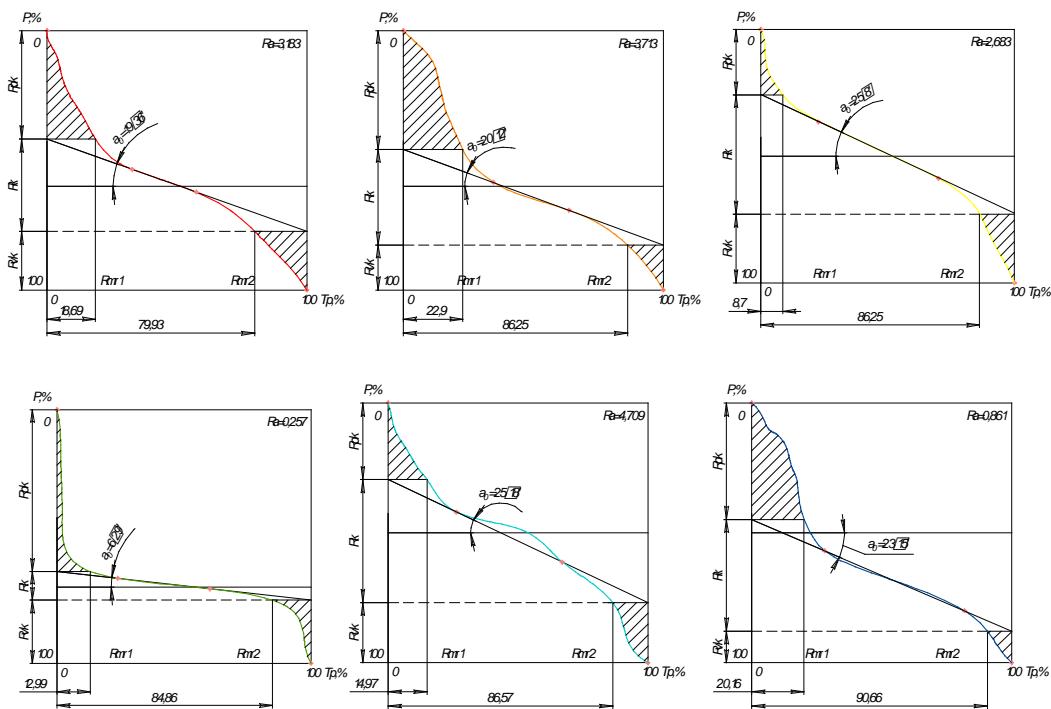
Таблица 2 – План эксперимента

Номер опыта	Матрица планирования							
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$
1	+	-	-	-	+	+	+	-
2	+	+	-	-	-	-	-	+
3	+	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	+	-	+	-	-	-
5	+	-	-	+	+	-	-	+
6	+	+	-	+	-	+	-	-
7	+	-	+	+	-	-	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+	+

Обработка осуществлялась на восьми участках. На каждом участке

менялись режимы резания: - I участок – $t=0,5$ мм, $S=0,075$ мм/об, $n=800$ об/мин; II участок – $t=1$ мм, $S=0,075$ мм/об, $n=800$ об/мин; III участок – $t=0,5$ мм, $S=0,15$ мм/об, $n=800$ об/мин; IV участок – $t=1$ мм, $S=0,15$ мм/об, $n=800$ об/мин; V участок – $t=0,5$ мм, $S=0,075$ мм/об, $n=1000$ об/мин; VI участок – $t=1$ мм, $S=0,075$ мм/об, $n=1000$ об/мин; VII участок – $t=0,5$ мм, $S=0,15$ мм/об, $n=1000$ об/мин; VIII участок – $t=1$ мм, $S=0,15$ мм/об, $n=1000$ об/мин.

После выполнения эксперимента было произведено измерение шероховатости поверхности каждого участков. Измерение проводилось при помощи установки профилографа-профилометра модели АБРИС – ПМ7. Затем для каждого из участков была получена профилограмма поверхности, а также кривая коэффициента смятия профиля. Были построены кривые коэффициента смятия профиля (рис.3). Базовая длина измерения 0,8, длина оценки 2,4 мм.



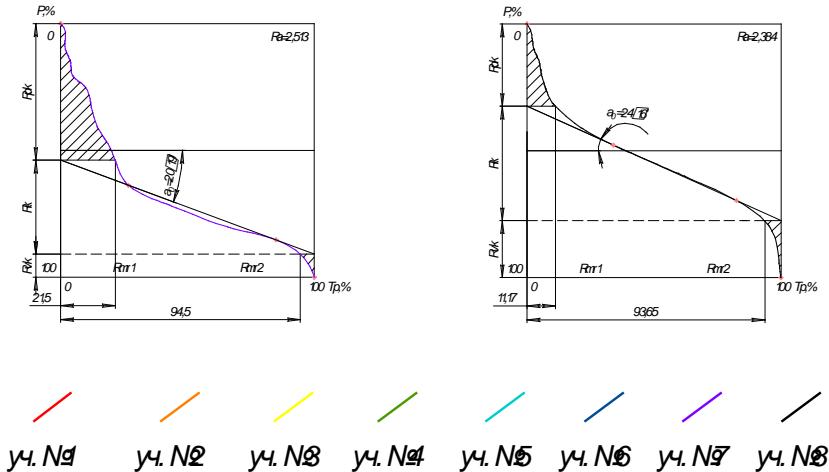


Рис. 3. Кривые коэффициента смятия профиля для каждого опыта
 P -полнота профиля (в %), Tp – распределение высоты неровностей (в %), $Rmr1$ – минимальный порог опорной зоны, $Rmr2$ – максимальный порог опорной зоны, α_0 – угол наклона линейной части кривой (авторская разработка)

Проведем ПФЭ³ для анализа параметра Rpk . Для этого снимаем показания с полученных кривых Эбботта-Файрстоуна и проводим расчет (табл. 3).

Таблица 3 - Значение параметра Rpk

N	t , мм	S , мм/об	V , м/мин	Rpk_1	Rpk_2	Rpk_3	\overline{Rpk}
1	0,5	0,075	61,29	43,256	40,891	41,325	41,824
2	1	0,075	61,29	37,271	52,415	47,585	45,757
3	0,5	0,15	61,29	27,625	23,587	26,413	25,875
4	1	0,15	61,29	60,249	71,331	59,751	63,777
5	0,5	0,075	76,62	28,617	28,641	33,159	29,539
6	1	0,075	76,62	39,854	40,146	47,905	42,635
7	0,5	0,15	76,62	27,383	31,587	38,413	32,461
8	1	0,15	76,62	54,731	53,458	52,952	53,851

После проведенных расчетов получается уравнение регрессии для параметра Rpk , имеющее следующий вид:

$$y = 38,455 + 2,529x_1 - 1,634x_2 - 5,854x_3 + 1,773x_1x_2 - 4,579x_1x_3 - 2,152x_2x_3 - 6,719x_1x_2x_3. \quad (2)$$

После проверки коэффициентов на статистическую значимость были отброшены коэффициенты b_2, b_{12}, b_{23} и уравнение регрессии принял вид:

$$y = 38,455 + 2,529x_1 - 5,854x_3 - 4,579x_1x_3 - 6,719x_1x_2x_3.$$

Воспользовавшись формулами перехода, получается уравнение регрессии в натуральном масштабе:

$$y = 503,968 - 540,426t - 6,861V + 8,13tV + 6447,43tS + 70,125VS - 93,5tVS.$$

Аналогичным образом проводим регрессионный анализ параметра R_{vk} . Для этого снимаем показания с полученных кривых коэффициента смятия профиля и проводим расчет (табл. 4).

Таблица 4 - Значение параметра R_{vk}

N	t, мм	S мм/об	V м/мин	Rvk_1	Rvk_2	Rvk_3	\overline{Rvk}
1	0,5	0,075	61,29	23.713	20.528	23,472	22.571
2	1	0,075	61,29	17,255	12.344	22.745	17.448
3	0,5	0,15	61,29	26.785	23,587	23,215	27.065
4	1	0,15	61,29	24.256	25.114	25.36	24.91
5	0,5	0,075	76,62	26.841	23.159	19.519	23.173
6	1	0,075	76,62	36.356	30,474	39.526	35.452
7	0,5	0,15	76,62	24,381	17.305	25,619	22.435
8	1	0,15	76,62	31,256	28,744	27,132	29.044

После проведенных расчетов получается уравнение регрессии для параметра R_{vk} , имеющее следующий вид:

$$y = 24,945 - 1,827x_1 + 0,284x_2 + 2,581x_3 - 0,021x_1x_2 + 2,954x_1x_3 - 2,071x_2x_3 - 1,397x_1x_2x_3. \quad (3)$$

После проверки коэффициентов на статистическую значимость были отброшены коэффициенты b_2, b_{12}, b_{123} и их можно убрать из уравнения регрессии. Тогда уравнение регрессии примет вид:

$$y = 24,945 - 1,827x_1 + 2,581x_3 + 2,954x_1x_3 - 2,071x_2x_3.$$

Воспользовавшись формулами перехода получается уравнение регрессии в натуральном масштабе:

$$y = 20,081 - 113,636t - 0,008V + 496,82S + 1,542tV - 7,205SV.$$

Из уравнения (2) следует, что при точении стали 45 резцом ВК8 на станке ИЖ250ИТП влияние на параметр Rpk в большей степени (2,3 раза) оказывает скорость резания, чем глубина. Подача практически не оказывает влияния, за исключением, при одновременном действии трех факторов. Совместное влияние глубины и скорости резания на шероховатость в 1,81 раза выше, чем воздействие глубины резания и в 1,27 раза меньше чем воздействие скорости резания. Совместное влияние всех факторов в 1,47 раз выше чем совместное влияние глубины и скорости, в 1,15 раз выше влияния скорости, в 2,66 раз выше влияния глубины резания. С уменьшением скорости резания значение Rpk будет уменьшаться.

Из уравнения (3) следует, что при точении стали 45 резцом ВК8 на станке ИЖ250ИТП влияние на параметр Rvk в большей степени (1,41 раза) оказывает скорость резания, чем глубина. Подача практически не оказывает влияния. Совместное влияние глубины и скорости резания на шероховатость в 1,62 раза выше, чем воздействие глубины резания и в 1,14 раза больше чем воздействие скорости резания. Совместное влияние подачи и скорости в 1,13 раз выше чем влияние глубины резания, в 1,25 раз меньше влияния скорости резания, в 1,43 раз меньше совместного влияния скорости и глубины резания. С уменьшением глубины резания, значение Rvk будет уменьшаться.

Применение кривой коэффициента смятия профиля позволяет оценивать

полноту пиков и впадин, что может быть полезным эффектом при оценке износостойкости изделия. Регулирование параметров этой кривой через изменение основных режимов резания позволяет оценить изменение скорости изнашивания поверхностей и получить поверхность с требуемыми свойствами по износостойкости.

Библиографический список:

1. ГОСТ Р ИСО 4287-2014. Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры.
2. Табенкин А.Н., Тарасов С.Б., Степанов С.Н., Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт/ Под редакцией канд.техн.наук Н.А. Табачниковой. СПб.: Изд-во Политехн.ун-та, 2007, 136 с.
3. Филиппова А.В., Тимофеев М.В., Прокофьев М.А., Исследование влияния режимов резания на шероховатость поверхности при обработке точением/Пермь: 2014, 67 с.
4. Шнейдер Ю.Г., Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю. Г. Шнейдер. - 2-е изд., перераб. и доп. Машиностроение : Ленингр. отделение, 1982. 248 с.
5. Stamboliska Z., Kuzinovski M., Analysis and Mathematical Interpretation of Parameters That Describe the Microstereometry of Machined Surfaces. 3th Inter. Conf. of Tribology, Balkantrib'99, vol. I, 1999, Sinaia (Romania), pp. 21-28.